

Ulrich van LAAK*

* Medical Direktor für Deutschland & Österreich, DAN Europe Foundation

uvanlaak@daneurope.org

Der Tauchunfall als misslungene Prävention: Ergebnisse aus der DAN Europe Feldforschung

Zusammenfassung

Die DAN Europe Foundation befasst sich seit mehr als 30 Jahren mit der Prävention von Unfällen beim Tauchen. Hierzu wurden unterschiedliche Programme aufgelegt. Der Ansatz ist dabei vergleichbar mit dem präventiven Auftrag einer Berufsgenossenschaft. Die Bedeutung der Prävention ist mit Spezialisierung und Technisierung, hier insbesondere auch beim Sporttauchen, gewachsen und fokussiert auf der maximalen Reduktion der Entstehung von Inertgasbläschen und deren Auswirkungen – „lessbubbles, lesstroubles“ – oder auch traditionell nach Galen: die Dosis macht das Gift.

1 Der tauchmedizinische Notfall

Tauchmedizinische Notfälle sind eher seltene Ereignisse. Insbesondere die schweren Tauchunfälle abseits aller Verkehrsverbindungen, wie zum Beispiel auf See, stellen aber große Herausforderungen dar. Dann dauert es oft länger als 4 Stunden, bis eine Druckkammer erreicht wird, was für einen günstigen Behandlungsausgang eine schlechtere Ausgangslage als die relative Sofortbehandlung ist. Es sind meistens, aber keineswegs immer, die tauchtypischen Dekompressionsunfälle jeden Ausprägungstyps, gefolgt vom Ertrinkungsunfall, durchaus auch aus anderen gesundheitlichen Gründen, dem davon abzugrenzenden Taucherlungenödem, zunehmende Zwischenfälle beim Freitauchen (ohne Gerät) und bisweilen auch einmal ein Tauchunfall auf Reiseflughöhe, wenn das Mindestintervall von 24 Stunden nach dem letzten Tauchgang nicht eingehalten worden ist. Barotraumata im HNO-Bereich sind viel dagegen häufiger, in aller Regel aber nur leichtere Notfälle.

Tauchen allgemein hat eine enorme professionalisierende Entwicklung genommen, mit Technologien, die früher nur Spezialisten aus dem beruflichen Tieftauchen zur Verfügung standen, mit innovativen Ansätzen, ständigem Streben nach mehr, aber durchaus auch mit gewachsenem tauchphysiologischem Verständnis mit dem erklärten Ziel der Tauchunfallvermeidung.

Weniger verbreitet sind Sensibilität und Selbstverständlichkeit im direkten Umgang mit tauchbedingten gesundheitlichen Problemen, denn sämtliche gesundheitlichen Auffälligkeiten nach dem Tauchen müssen zunächst ernst genommen und

lieber einmal zu früh, als einmal zu wenig durch einen Taucherarzt im Nahbereich oder über eine Tauchunfall-Hotline fachlich abgegrenzt werden. Ziel muss es dabei immer sein, manifeste von fraglichen oder nur minimalen Symptomen eines Dekompressionsunfalls differentialdiagnostisch möglichst sicher abzugrenzen. Dies setzt signifikantes Expertenwissen und viel Erfahrung mit Tauchunfällen aller Art voraus. Von großer Hilfe ist dabei der Kurz-Neurocheck, der unter Anleitung in kürzester Zeit von Mittauchern vor Ort durchgeführt werden kann.

Die wichtigste Maßnahme, die ausnahmslos immer sofort nach möglicherweise zuvor erforderlicher Stabilisierung folgen muss, ist die maximal dosierte Sauerstoffatmung mit dem Ziel $FiO_2 = 1$ (100 % O_2 erreichen die Lungenalveolen). Sauerstoff steht an Tauchorten fast immer zur Verfügung. Er muss dort zur Abmilderung eines aufkommenden Tauchunfalls ohne jeden Verzug eingeleitet werden. Das erfolgt aber leider nur in etwa der Hälfte der Fälle. Hier, ganz zu Anfang eines tauchmedizinischen Notfalls, besteht nach wie vor eine eigentlich leicht abzustellende signifikante Sicherheitslücke.

Zu den größten Herausforderungen zählen die schweren Dekompressionsunfälle. Mit einer Inzidenz von ca. 1/15 000 Tauchgängen ist das ein seltenes Ereignis, das sich im Eintrittsfall vor allem durch progrediente neurologische Ausfälle bedrohlich entwickeln kann und dann in möglichst kurzer Zeit die spezifische tauchmedizinische Therapie (Ziel maximal 4 h) mit hyperbarem Sauerstoff in einer Druckkammer erforderlich macht.

Viele Taucher geraten indes schon bei banalen Auffälligkeiten massiv in Panik, neigen andererseits aber leider zur Verniedlichung robuster Symptome eines Tauchunfalls. Hierdurch kommt es sowohl zu Überbehandlungen, viel schlimmer aber zunehmend zu hausgemachten erheblichen Verzögerungen bis zur definitiven Notfallbehandlung manifester Tauchunfälle in einem Druckkammerzentrum. Diese folgt international vergleichbaren Leitlinienvorgaben.

Für die Beurteilung eines Tauchunfalls sind Entwicklung, Manifestation, Eintrittszeit, Belastung mit Inertgas und Wahrscheinlichkeit für eine Überdehnung der Lungen von höchster Bedeutung. Deswegen müssen im Notfall auch Daten und Profile der letzten Tauchgänge sowie weitere abzufragende Information bereitgehalten werden.

Einige wenige zielgerichtete Hinweisen tragen bei Beachtung dazu bei, die tauchmedizinische Sicherheit deutlich zu erhöhen:

- Konsequente Hydrierung mit etwa einem Liter Wasser vor dem Tauchgang.
- Optimaler Kälteschutz zur Vermeidung schon geringster Unterkühlung.
- Keine körperliche Belastung bis zu 90 Minuten nach dem Tauchgang.
- 24 bis 36 Stunden Intervall vor Rückflug oder Höhenexposition.
- Sicherheitscheck bezüglich Notfallsauerstoff und Möglichkeiten der definitiven hyperbaren Sauerstofftherapie.
- Tauchunfallversicherung mit 24/7 Zugriff auf eine leistungsfähige Hotline.

2 Tauchsicherheitskampagnen

Mit jährlichen Sicherheitskampagnen wird angestrebt die Taucher-Community über vermeidbare Risiken umfassend aufzuklären. Hierzu gehören Programme zur Vermeidung einer Deko-Unfall förderlichen Exsikkose, Techniken zum Druckausgleich

zur Vermeidung von Barotraumata oder etwa Sicherheitshinweise für ältere Taucher. Eigene Forschungsprojekte haben ebenfalls die Erhöhung der Tauchsicherheit zum Ziel, wie beispielsweise Untersuchungen zur Gasbläschenbildung in Flugzeugen nach dem Rückflug aus typischen Urlaubstauggebieten oder den Erkenntnisgewinn über das Risiko körperlicher Belastung unmittelbar vor oder nach einem Tauchgang.

Solche Kampagnen sind erforderlich, um den aktuellen tauchmedizinisch zu begleitenden Entwicklungen im Sporttauchen Rechnung zu tragen. Im Vordergrund steht dabei eine fortschreitende Technisierung des Tauchens, die zuweilen eine Scheinsicherheit bedingt, aber auch das Freitauchen als aktueller „Hype“ mit seinen assoziierten Hypoxierisiken sowie das Tauchunfallmanagement in abgelegenen Destinationen.

3 Tauchmedizinische Forschung für die Tauchsicherheit

DAN Europe Forschung wurde vom DAN Gründer Professor Alessandro Marroni bereits vor 40 Jahren für den bekannten Apnoeopionier Jacques Mayol auf 86 m durchgeführt, indem der Taucherarzt den Freitaucher zur Pulsfeststellung einfach mal mit Tauchgerät begleitete. Wirklich einfach mal so? Bei 86 m mit Luft sicher ein harter Einsatz für die Wissenschaft.



Abb. 1: Pulsfrequenzbestimmung bei J. Mayol durch den Taucherarzt „persönlich“ auf 86 m.

Aktuell stehen für die Tauchsicherheit Telemonitoring und Telemedizin unter Wasser im Fokus der DAN Forschung. Dabei geht es nicht nur um Herz- und Atemfrequenz, sondern um weitere wichtige ableit- und übertragbare Daten, wie z. B. der Blutzuckerwert. Auf diesem Weg wird auch die Vision verfolgt Online Daten zu erheben, aufzuzeichnen und sogar zu übertragen. Dies hilft enorm dabei Abweichungen der Körperfunktionen durch das Tauchen und Zwischenfälle beim Tauchen besser zu verstehen.

Auch das Gebiet des Technischen Tauchens wird von der DAN Europe Forschung „2020 plus“ profitieren können. Mit den Zielen, das Deko-Risiko und die Gastoleranzen besser abschätzen zu können, laufen entsprechende Forschungsprojekte an. Diesbezügliche Datensammlungen werden wieder als „Citizen Science“ erhoben, so, wie es schon beim EU-geförderten „Green Bubbles“ Projekt bereits der Fall gewesen ist. Die Datenerhebung erfolgt sowohl durch die Taucher, wie auch durch Mithilfe interessierter medizinischer Laien. Die Tauchgänge werden elektronisch gespeichert, Beobachtungen protokolliert, weitere Messdaten erfasst und alle Datensätze zentral wissenschaftlich ausgewertet.

4 Erkenntnisgewinn für die Tauchmedizin durch Feldforschung

„Spende Deinen Tauchgang“ – dieser durch Fürsorgegedanken geprägte Ansatz schlägt sich insbesondere in der DAN Europe Forschung nieder, die parallel zur universitären Forschung und durch diese unterstützt, obwohl sie sich nur selten offensiv für das Sporttauchen interessiert, versucht, Antworten auf die brennenden tauchmedizinischen Fragen unserer Zeit zu finden. Wie es von einer Mitgliederorganisation zu erwarten ist, steht hierbei „das DAN Mitglied“ im Fokus. Man könnte es so formulieren: der Schwarm der Mitglieder spendet seine Daten für die Allgemeinheit.

Zwei plakative Beispiele hierfür sind die Projekte „DAN Safety Laboratory (DSL)“ und „Flying Bubbles“.

5 Lessbubbles, lesstroubles

Für eine medizinische Tauchsicherheitsorganisation kann der Eindruck nicht als akzeptabel hingenommen werden, dass die Mehrzahl der betreuten verunfallten Taucher keine nachweislichen Fehler gemacht, mithin eine sogenannte „unverdiente“ Dekompressionskrankheit (DCI – Decompression Illness) erlitten haben.

DAN Europe unterhält als integrativen Baustein des Projekts „DivingSafety Laboratory“ (DSL) eine Datenbank digital aufgezeichneter Sporttauchgänge, die durch parallele Abfrage wesentlicher Begleitparameter flankiert wird. Die Evolution des Projekts resultiert in der speziellen Software „DiverSafety Guardian“ (DSG) mit eingebetteter Funktion einer Risikoanalyse von Tauchprofilen in Echtzeit „DecoRisk Analysis“ (DRA). Die Besonderheit des Projekts ist die Online Aufzeichnung tatsächlich durchgeführter Sporttauchgänge, die mit der ad-hoc Erhebung tauchphysiologischer und weiterer Daten kombiniert ist:

- Tauchgangs-Daten
- Biometrische Daten
- Bioimpedanz
- Hämoglobin, Hämatokrit
- Urindichte
- Blutzucker
- Thermographie (Kamera)
- Dopplersonographie trocken / nass
- Echokardiographie
- Hinweise auf Dekompressionsunfall

Bei der freiwilligen Teilnahme am Programm erlauben es die Taucher, dass ihre ohnehin geplanten Tauchgänge aufgezeichnet und weitere Daten erhoben werden. Die Taucher tauchen nicht zu Studienzwecken, sondern die Daten der Tauchgänge fließen zum Erkenntnisgewinn in eine Datenbank ein.



Abb. 2: Gefäßdoppler zur Detektion von Gasbläschen bereits am Tauchplatz.

Gegenwärtig wird bei DAN Europe nach Auswertung der bisherigen Daten eine aktualisierte Version des DSG entwickelt, die auf eine zukünftige erweiterte Datensammlung ausgerichtet sein wird.

Im bisherigen Ergebnis konnte gezeigt werden, dass es eine signifikante Beziehung zwischen vielen Bläschen und dem BMI (Body Mass Index), Körperfett, Lebensalter sowie Tauchprofil gibt. In Bezug auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Dekompressionskrankheit konnten weibliches Geschlecht, starke Strömung und körperliche Anstrengung als auffällige Risikofaktoren identifiziert werden. Die überwiegende Mehrzahl der aufgezeichneten Symptome, die auf eine Dekompressionskrankheit schließen lassen, entsprach nicht den Erwartungen, wie sie sich mathematisch aus den etablierten Rechenmodellen ableiten ließen. Es handelte sich somit definitionsgemäß um „unverdiente Ereignisse“. Innerhalb der jeweils als sicher geltenden Korridore wären sie nicht zu erwarten gewesen.

Diese Analyse der DAN Europe DSL Datenbank unterstreicht frühere Beobachtungen, dass Sporttauchgänge, die innerhalb von als absolut sicher geltenden Bereichen durchgeführt wurden, nicht automatisch sicher sind. Es besteht eine Grauzone mit einem erhöhten Risiko, die nicht mit den akzeptierten Dekompressionsberechnungen erklärt werden können, wahrscheinlich aber mit anderen Risikofaktoren, die individuell und wahrscheinlich auch interindividuell unterschiedlich sind.

Solche individuellen Risikofaktoren, die Gegenstand der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion sind, wären zum Beispiel die Reaktion auf oxydativen Stress durch den erhöhten Sauerstoffpartialdruck und hydrophobe arteriosklerotische Mikroareale oder Plaques (Kalkablagerungen) an der Gefäßinnenhaut (Intima). Weil solche Intima-Veränderungen altersbedingt zunehmen, könnte dies eine mögliche Erklärung für ein steigendes DCI-Risiko im Alter sein.



M-Werte erklärt

- Maximal zulässiger Wert für Inter gas-Überdruck (Gewebe)
- Bei 2 Inertgasen (z.B. N₂ / He) „Mittelwertbildung“
- M-Wert **theoretisches Gewebe** immer ↑ als Umgebungsdruck
- Bei Dekompression Ausgasen von M-Wert zu M-Wert
- M-Werte ↑ → DCI ↑↑ / M-Werte ↓ → DCI sehr selten
- Vorsicht! **Mathematik ./. individuelle Faktoren!!**



GF erklärt

- M-Werte dürfen also nicht „ausgereizt“ werden
- GF (Gradient Faktor) = 1 → ist exakter M-Wert
- GF = 0 → **theoretisches Gewebe** auf Umgebungsdruck
- Basis zumeist Bühlmann ZH L-16 Limite
- „Koordination der Limite“ – Dekompression z. B. von GF 0,3 (aus Tiefe) auf 0,8 (auf Sicherheits-Stopp)
- Werkseinstellung Tauchcomputer oft **30/80**



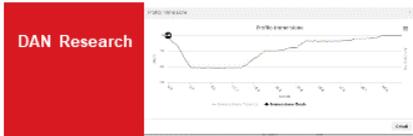
GF (Baker EC, 1998)

- **GF Low**
M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, das den ersten (tiefsten) Stopp bestimmt
- **GF High**
M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, während Aufstieg und Dekompression



GF Tauchcomputer

- 30 / 70** konservativ für „empfindliche“ Taucher
- 30 / 80** oft Standardeinstellung
- 25 / 85** mittlere Einstellung
- 15 / 90** sehr **aggressive** Einstellung
- 10 / 100** **Russisch-Roulette am Bühlmann-Limit**



GF & M-Werte

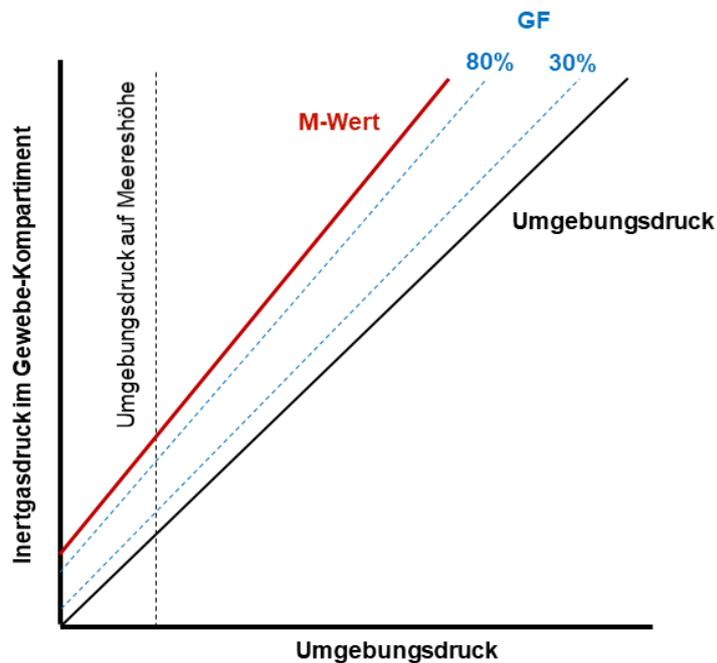


Abb. 3: Erklärung der M und GF-Werte. (Gradient Factor). Der M-Wert beschreibt die maximale Inertgassättigung eines gewissen Gewebekompartiments, ohne dass Symptome eines Dekompressionsunfalls entstehen.

Der DAN Europe Datenpool ermöglichte eine genauere Bewertung der allgemeinen Tauchrisiken und insbesondere der individuellen Prädisposition für dekompressionsbedingte Gesundheitsprobleme. Die Mittelwerte von Tauchtiefe und Gradient Factor (GF) der aufgezeichneten Tauchgänge betragen 27,1 m bzw. 0,66. Die Auswertung zeigte, dass es unterhalb des M-Werts von 1,0 eine erhebliche Grauzone der Unsicherheit gibt, somit bislang als perfekt tolerierbar eingeschätzte Tauchprofile betroffen sind und sich der Gasbläschengipfel 30 bis 45 Minuten nach einem einfachen Tauchgang bestätigt.

Die überwiegende Mehrzahl der aufgezeichneten DCI-Fälle entspricht nicht den Erwartungen, wie sie sich mathematisch aus den angewandten und etablierten Algorithmen berechnen ließen. Es handelte sich definitionsgemäß um unverdiente Ereignisse. Innerhalb der jeweils als sicher geltenden GF Korridore wären sie nicht zu erwarten gewesen.

Für die Deko-Krankheit scheinen also Frauen, ältere und korpulentere Personen etwas gefährdeter zu sein.

Diese Analyse der DAN Europe DSL Datenbank unterstreicht frühere Beobachtungen, dass Sporttauchgänge, um die es sich hier ausschließlich handelte, die innerhalb von als absolut sicher geltenden Bereichen durchgeführt wurden, gleichwohl mit einem erhöhten Risiko im Sinne einer kalkulatorischen Grauzone verknüpft sind, die nicht mit den akzeptierten Dekompressionsalgorithmen, wahrscheinlich aber mit anderen individuellen Risikofaktoren erklärt werden können. Diese beeinflussen die Wahrscheinlichkeit, einen Dekompressionsunfall zu entwickeln, möglicherweise unabhängig von einer direkten Beeinflussung der Gasbläschenbildung, sondern im Sinne einer Verstärkung der gasbläschenbedingten Effekte.

6 Fliegen nach dem Tauchen: endlich Fakten

„Bubble detection“, also Ultraschalluntersuchungen auf Intergasbläschen im strömenden Blut bei Rückkehrern aus dem Tauchurlaub im Verkehrsflugzeug – das war der Plan. Bisherige Daten basierten auf simulierten Expositionen in Druck- und Unterkammern. Sich auf dieses Unterfangen einzulassen, war schwierig, fast unmöglich, besonders aufgrund der vielen behördlichen Auflagen. Um die EMI-Zertifizierung zu erhalten (EMI steht für Elektromagnetische Interferenz), die für den Einsatz des Ultraschalls während des Fluges erforderlich ist, mussten Techniker und Forscher von DAN Europe viele Stunden auf dem Flughafen Malpensa in Mailand verbringen. Letztlich war auch diese Hürde genommen und zum allerersten Mal war es möglich, zu sehen, was wirklich im Körper eines Tauchers während des Fluges geschieht.

Die Methode der „bubbledetection“ im Projekt „flying after diving“ bestand aus vier Kontrollphasen.

Die erste Phase fand auf dem Hinflug statt, wenn die Taucher für mindestens 48 Stunden nicht getaucht hatten. Diese ersten Tests sind notwendig um bei den hyperbar unbelasteten Tauchern unter anderem das sogenannte Ultraschallfenster sowie mögliche Gasbläschen durch die hypobare Exposition parallel zu einer präzisen Messung des Kabinendrucks alle 15 Minuten zu bestimmen.

In einer zweiten Phase wurden über die Dauer einer Woche auf einem Tauchsafariboot Ultraschalluntersuchungen und andere Tests nach jedem Tauchgang durchgeführt. Die Tauchprofile wurden mit dem Computer überprüft und für die

nachfolgenden Tests heruntergeladen. Alle Tauchgänge fanden innerhalb der Sicherheitsgrenzen statt. Auftauchen bei korrekter Geschwindigkeit mit Sicherheitsstopp von 3 Minuten bei 5 Meter Tiefe wurde immer eingehalten. Keiner der Taucher hatte Symptome eines Dekompressionsunfalls.

Die dritte Kontrollphase fand vor dem Heimflug im Flughafen statt, wo Herzultraschallsignale der Taucher unmittelbar vor dem Besteigen des Flugzeuges nach einem 24-Stunden-Oberflächenintervall aufgezeichnet wurden.

In der letzten Phase, auf dem Heimflug, wurden alle Taucher genau 30, 60 und 90 Minuten nach Erreichen der Reiseflughöhe des Flugzeuges mit Herzultraschall und Doppler kontrolliert.

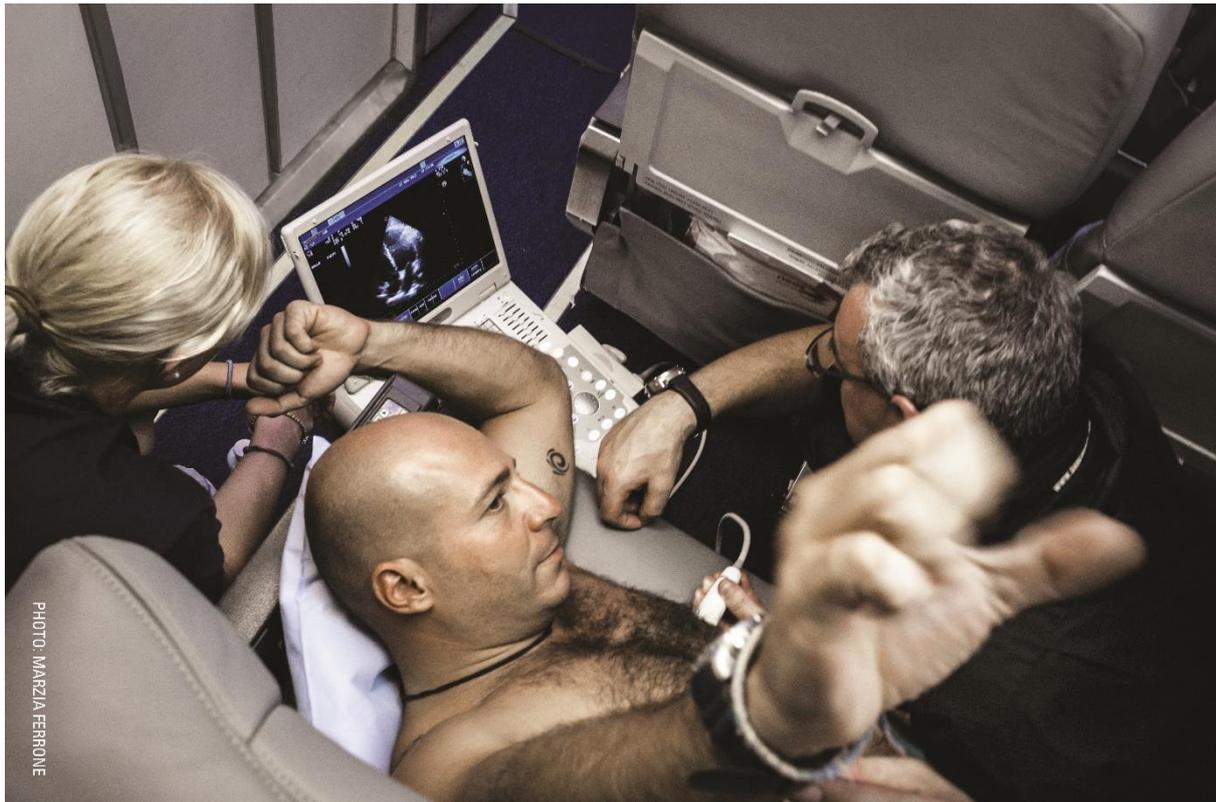


Abb. 4: Herzultraschalluntersuchung auf Reiseflughöhe.

Bei keinem der an der Studie teilnehmenden Taucher wurden auf dem Hinflug Bläschen beobachtet. Dieser Ausgangsbefund schloss aus, dass detektierte Gasbläschen auf dem Rückflug nicht durch den Flug selbst, sondern durch den kombinierten Effekt von Tauchen und folgendem Druckabfall während des Fluges verursacht worden wären.

Entgegen der bisherigen Annahmen, dass auf Langstreckenflügen hinsichtlich der Dekompressionskrankheit ein größeres Risiko bestünde als auf Mittelstreckenflügen, zeigte die Studie das Gegenteil. Das hängt höchstwahrscheinlich damit zusammen, welcher Kabinendruck in der Höhe erreicht wird: ungefähr 1500–1800 Metern über dem Meeresspiegel für die Reise Malediven und bei 2400 Metern über dem Meeresspiegel (erlaubtes Maximum) für nähere Reiseziele.

Ganz eindeutig bilden einige Taucher mehr Bläschen als andere, selbst bei sehr ähnlichen Tauchprofilen. Die Untersuchungen während der Woche auf dem Tauchsafariboot führten zur Einteilung der Taucher in drei Kategorien:

- Taucher, die keine Bläschen bilden,
- Taucher, die manchmal Bläschen bilden, sowie
- Taucher, die geradezu „Bläschen-prädestiniert“ sind, also nach jedem Tauchgang Bläschen bilden („bubble-prone“).

Um einen konsistenten Vergleich zu erhalten, durften die Tauchprofile nur einen geringen Einfluss auf die Kategorisierung haben, denn es ist offensichtlich, dass ein belastendes Profil mehr Bläschen erzeugen kann als ein leichtes.

Die Analyse auf dem Rückflug hat gezeigt, dass die meisten Taucher bei Einhaltung eines 24-Stunden-Intervalls nach dem letzten Tauchgang keine Bläschen bildeten, abgesehen von den „Bläschen-prädestinierten“ Tauchern. Daher ist es ratsam, dass diejenigen, die in diese Kategorie fallen, ihre Wartezeit vor einem Flug verlängern sollten. Während der Woche erwiesen sich zwei Taucher als „super-prädestinierte Bläschenbildner“ („super bubble-prone“). Deswegen rieten wir ihnen von ihrem letzten Tauchgang ab, damit die Wartezeit vor dem Flug 36 Stunden betrug. Es ist für die Studie von besonderer Bedeutung, dass keiner der Taucher während des Rückfluges Bläschen bildete. Für die super-prädestinierten Taucher ist eine Wartezeit von über 24 Stunden angebracht. Alternativ empfiehlt DAN Research die präventive Atmung von normobarem Sauerstoff vor dem Flug.

Die höchsten Bläschengrade wurden 30 Minuten nach Erreichen der Reise Flughöhe gemessen. In der dann folgenden 60- bis 90-Minutenphase nahmen die Bläschengrade ab.

Im Grunde ist das ähnlich wie beim Auftauchen nach einem Tauchgang. Andererseits wirkt eine Druckerniedrigung wie Auftauchen selbst und hat die gleiche Wirkung. Mit zunehmender Zeit in der Höhe entsättigt der Körper und die Bläschen nehmen ab. Es gibt eine weitere mögliche Erklärung: die kleinen Bläschen befinden sich bereits im Blut, sind jedoch so klein, dass sie mit einem normalen Herzultraschallgerät nicht entdeckt werden können. Die Erniedrigung des Druckes könnte ihre Dimensionen vergrößern und sie dadurch besser sichtbar machen.

Was können diese Studienergebnisse zukünftig für Taucher bringen?

Die Zukunft wird sein, dass die individuelle Komponente das mathematische Deko-Modell richtungsweisend beeinflusst. Der neue Weg ist deswegen faszinierend, weil auf unseren Organismus abgestimmte Parameter in mathematische Modelle integriert werden. Damit steht dann wohl nicht mehr der Tauchcomputer, sondern sein Träger, also der tauchende Mensch, im Fokus.

7 Reduktion von Gasbläschen und Shunteffekten

Das individuelle Tauchverhalten kann bei vermutetem oder bekannt erhöhtem Risiko für vermehrte Bildung von Inertgasbläschen durch sogenannte „Regeln für das sichere Tauchen“ positiv beeinflusst werden. Hierbei werden zwei Schutzziele verfolgt: geringere Bläschenbildung („lowbubbldiving“) und der Übertritt venöser Gasbläschen ins arterielle System über sogenannte „Shunts“. Solche Verbindungen können auf

Herz- und Lungenebene vorkommen: offenes Foramen ovale (PFO, Herzvorhöfe) oder venös-arterielle Kurzschlüsse (Lungen).

Das erste Schutzziel geringer Gasbläschenproduktion wird unter anderem durch konsequenten Sicherheitsstopp, ab 10 m reduzierte Aufstiegsgeschwindigkeit, 4 h Oberflächenintervall für Folge-TGe, mindestens 2 h Wartezeit bei Höhenwechsel, Vermeidung von milder Unterkühlung und Flüssigkeitsmangel, Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen und den Sicherheitsmodus des Tauchcomputers erreicht, was insbesondere für Taucher von Bedeutung ist, die als „Bläschenbildner“ schon einmal auffällig geworden sind.

Das zweite Schutzziel, die Verhinderung von Rechts-Links-Shunts, umfasst die Vermeidung von JoJo-Tauchgängen und jedweden Anstrengungen im 10 m Bereich des Aufstiegs sowie über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...) und ein absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (Husten!).

Nachdem über die Hälfte aller Deko-Unfälle auf den ersten Blick keine wirklichen Fehler erkennen lassen, sind es bei näherer Analyse dann doch oft einzelne Punkte aus dem Schutzzielkatalog.

Die 15 Regeln des sicheren Tauchens (lowbubbling) sind, angepasst nach GTÜM & ÖGTH (2014):

- Tauchgang mit größter Tiefe beginnen
- keine JoJo-Tauchgänge im 10 m Bereich
- Aufstiegsgeschwindigkeit ab 10 m auf $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Sicherheitsstopp 3 bis 5 m Tiefe > 5 bis 10 min
- „Nullzeit“ nicht ausreizen, keine „Deko-TGe“
- mindestens 4 h Oberflächenintervall Folge-TG
- maximal 2 TGe pro Tag
- mindestens 2 h Wartezeit bei geographischem Höhenwechsel
- nach TG keine starke Hauterwärmung
- (Haut-) Kälte, Flüssigkeitsmangel vermeiden
- Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen
- Sicherheitsmodus Tauchcomputer
- keinerlei Anstrengungen letzte 10 m des TGs
- keine Anstrengungen über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...)
- absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (kein Husten und forcierter Druckausgleich ...)

8 Taucherlungenödem

Das Taucherlungenödem ist erstaunlicherweise erst in den vergangenen zwei Jahrzehnten in seiner Bedeutung als Notfall Unterwasser erkannt worden. Es ist eine Form des „immersionpulmonaryedema“ (IPE) und zeigt sich durch Husten (auch unter Wasser), Thorax-Druck oder Engegefühl, blutig gefärbten Auswurf, Eisengeschmack im Mund und Rachen sowie mehr oder weniger ausgeprägte Atemnot. Verursacht und somit zum Teil vermeidbar wird das Taucherlungenödem durch die Kombination von

zentraler Flüssigkeitsverlagerung durch den Immersionseffekt, zu viel Flüssigkeitszufuhr unmittelbar vorm Tauchen, peripherer Unterkühlung, (belastungsbedingtem) hohem Blutdruck, physischem und psychischem Stress und der Atemarbeit am Lungenautomat.

Die Soforttherapie durch medizinische Laien besteht in der normobaren Sauerstofftherapie mit 100 % in der Einatmung, Oberkörper Hoch- und Beine Tieflagerung sowie Verzicht auf jegliche Flüssigkeitsgabe.

9 Sport vor dem Tauchen?

Die Frage nach submaximaler sportlicher Betätigung vor dem Tauchen konnte von DAN Europe dahingehend beantwortet werden, dass dies sogar eine Prä-Konditionierung darstellt, indem durch die mit dem Sport einhergehenden Vibrationen Mikro-Blasenkerne, die Voraussetzung für die Bildung manifester Gasbläschen sind, aus dem venösen System ausgeschüttelt werden und dann gemäß „goodvibrations – lessbubbles, lesstroubles“ wirken. Der Grad der nachweisbaren manifesten Gasblasen in der vulnerablen Phase bis 60 Minuten nach dem Auftauchen reduziert sich hochsignifikant.

Sport oder schon allein körperliche Beanspruchung nach dem Tauchen bleibt aufgrund des Intergasbläschen-Plateaus über 120 min „post“ aber grundsätzlich untersagt.

Literatur

Baker, E. C., 1998. Understanding M-values. Immersed. 3 (3): 23 – 27.

GTÜM & ÖGTH, 2014. Checkliste Tauchtauglichkeit. 2. Auflage. Stuttgart, A. W. Gentner Verlag, Gentner, 384 Seiten.