

# Apnoetauchen – wo liegen die physiologischen Grenzen?

Dr. med. Lars Eichhorn

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin

Universitätsklinik Bonn

[lars.eichhorn@ukb.uni-bonn.de](mailto:lars.eichhorn@ukb.uni-bonn.de)

## Einleitung

Das Apnoetauchen erfreut sich zunehmender Beliebtheit. Während sich die Leistungen im Wettkampfsport in den letzten 10 Jahren fast verdoppelt haben, tauschen auch immer mehr Breitensportler ihr schweres Tauchequipment gegen Flossen, Schnorchel und Maske und kommen damit dem Tauchen in seiner ursprünglichsten Form wieder ein gutes Stück näher. Die körperlichen Belastungen beim Apnoetauchen werden dabei jedoch häufig falsch eingeschätzt.

Themen wie „bloodshift, mouthfill, squeeze“ oder Fragen nach der Maximaltiefe beim Apnoetauchen werfen mehr Fragen auf als sie Antworten geben. Es gibt nur wenig wissenschaftliche Literatur und evidenzbasierte Expertenmeinungen sind selten. Sind dem (Sport-)Taucher jedoch überhaupt Grenzen gesetzt? Sind aber schärfere Regeln im Breitensport überhaupt nötig? Was ändert sich physiologisch beim Apnoetauchen?

### *Immersionseffekt*

Sowohl beim Apnoetauchen als auch beim Gerätetauchen kommt es durch das Eintauchen des Körpers und durch den damit verbundenen Verlust der Gewichtskraft zu einem vermehrten Rückfluss von Blut zum Herzen, welches hauptsächlich aus den venösen Kapazitätsgefäßen stammt. Dieser Effekt wird Immersionseffekt genannt. Durch das zusätzliche Blutvolumen steigt zunächst der Blutdruck an. Diesem Effekt wirkt

das atriale natriuretische Peptid (ANP) entgegen, was in der Niere zu einer erhöhten Wasserausscheidung führt. Zusätzlich kommt es zu einer verminderten Freisetzung des Antidiuretischen Hormons (ADH) im Hypophysenhinterlappen (Teil einer Hirndrüse). Dadurch wird die Wasserausscheidung noch verstärkt. Der Immersionseffekt hat dabei durchaus einen Sinn – er entlastet das Herz-Kreislaufs-System von der Volumenüberladung.

### *Psychische Belastung*

Neben den Belastungen für das Herz-Kreislauf-System darf auch die psychische Belastung durch Kälte, Dunkelheit, steigenden Atemreiz, Ehrgeiz und Aufregung nicht unterschätzt werden. Während dem psychischen Stress mit Erfahrung, Training und Gewöhnungseffekten begegnet werden kann, bleibt die körperliche Belastung an das Herz-Kreislauf-System sowohl beim Geübten als auch beim Anfänger hoch.

### *Besonderheiten beim Apnoetauchen*

Verglichen mit dem Gerätetauchen kommt es beim Apnoetauchen tendenziell zu einer etwas geringeren Harnausscheidung, weil die körperliche Belastung den Effekten des Immersionseffekts etwas entgegen wirkt. Da beim Apnoetauchen der Sauerstoffpartialdruck im Kreislauf stetig fällt, versucht der Körper durch Kompensationsmechanismen die Sauerstoffsättigung möglichst hoch zu halten. Studien zeigen, dass auf einen verminderten O<sub>2</sub>-Partialdruck mit einer Steigerung des zerebralen Blutflusses (CBF) reagiert wird [1]. Durch Engstellung der Gefäßstrombahnen in der Peripherie kommt es außerdem zu einer Zentralisierung des Kreislaufs [2]. Der daraus resultierende drastische Anstieg des Blutdrucks ist ebenfalls mehrfach nachgewiesen [3]. Versuche, durch eine Verminderung des Inspirationsvolumens die Blutdruckerhöhungen abzuschwächen, schlugen fehl. Auch

regelmäßiges Training kann diesen Effekt nicht abschwächen - der gefäßverengende Effekt wird sogar noch verstärkt [4,5].

Zusätzlich leiden auch unsere Ohren und unsere Lunge unter den schnellen Tiefen- bzw. Druckwechseln. Ab Tiefen, die weit unterhalb der errechneten Maximaltiefe liegen (diese errechnet sich aus den Parametern Vitalkapazität und Residualkapazität), stellt die Durchführung eines Druckausgleichs für den Taucher das größte Problem dar. Um zusätzliche Luft in die Lunge zu pressen, nutzen Athleten Techniken wie das „packing“ (d.h. Luft wird aktiv aus dem Mund in die Lunge gedrückt). Außerdem wird durch spezielle Dehntechniken der Lunge und des Brustkorbes versucht das Residualvolumen zu verkleinern. So lassen sich Tiefengrenzen deutlich ausweiten – zur Erklärung der momentanen Tiefenrekorde reicht dies allein jedoch nicht aus. Bei der Technik des „mouthfill“ wird vor Erreichen der Tiefengrenze im Mund-Nasen-Rachenraum ein Depot an Luft geschaffen. Bei gleichzeitigem Verschluss des Kehledeckels kann mit dieser Luft auch dann noch ein Druckausgleich durchgeführt werden, wenn die Lunge vollständig komprimiert wurde und deshalb eigentlich keine Luft mehr für den Druckausgleich zur Verfügung stünde. Da diese Luft aus der Lunge stammt, wird die errechnete Tieftauchgrenze der Lunge reduziert. Würde als Kompensation jetzt nicht zusätzliches Blut in die Kapillaren der Lunge strömen (sog. bloodshift), käme es zu einem Unterdruck in der Lunge und daraus folgend zu einem Lungenriss. Ein Nebeneffekt des bloodshift ist allerdings der Übertritt von Flüssigkeit aus dem Blut ins Lungengewebe. Es kommt zu einer beginnenden Gasaustauschschwäche durch ein Lungenödem.

Da das zusätzliche Blut beim Auftauchen die Lunge wieder verlassen muss, sollte der Taucher beim Auftauchen seine Aufstiegsgeschwindigkeit verringern. Zwar verlässt der größte Teil des zusätzlichen Bluts so wieder die Lunge, das entstandene Lungenödem

bildet sich jedoch nicht so schnell zurück. Daher sollte bei Spitzenleistungen, die deutlich unter der errechneten Tieftauchgrenze liegen, von Wiederholungstauchgängen abgesehen werden sollte. Die kritische Tiefe, bei der die Parameter „maximal erreichbare Apnoezeit“, „maximal erreichbare Tiefe“ und „Kompensationsvermögen der Lunge“ im optimalen Verhältnis zueinander stehen, kann folglich nur geschätzt werden und ist auf keinen Fall bei jedem Tauchgang gleich.

Auch der extrem hohe Partialdruck an Stickstoff bereitet den Athleten häufig Probleme (Tiefenrausch). Kumulierende Effekte von mehreren Apnoetauchgängen können ebenfalls zu einer Dekompressionserkrankung oder einer allgemeinen Gasembolie führen. Die Frage nach vorhersagbaren Grenzen im Apnoetauchen lässt sich also nicht zufriedenstellend beantworten, da Einflussfaktoren wie Tagesverfassung, O<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>-Toleranz und individuelle Kompensation zusätzliche Variablen in eine ohnehin sehr komplizierte Gesamtgleichung einbringen.

#### *Breitensport vs. Hochleistungssport*

Die meisten Taucher bleiben von den Maximalleistungen der Weltklasseathleten natürlich weit entfernt. Doch nicht die absoluten Tiefen-, Strecken- oder Zeitrekorde sind entscheidend – es ist vielmehr die Leistungsgrenze des Einzelnen, die es zu beachten gilt. Muss der Körper im Grenzbereich kompensieren, kann er an seine Grenzen stoßen. Dies ist ganz unabhängig, ob dieser Zeitpunkt nach 2 Minuten oder nach 8 Minuten erreicht wird. Sobald der Taucher von der „easy-going-Phase“, in der kein Lufthunger verspürt wird, in die „struggle-phase“ übergeht, bedient sich der Körper Kompensationsmechanismen wie z.B. dem Anstieg des peripheren Widerstands und der Blutdruckerhöhung.

## *Fazit*

Sowohl Topathleten als auch Hobby-Apnoeisten sollten sich der Belastungen für Herz, Kreislauf, Lunge und Ohr bewusst sein und ihre körperlichen Grundvoraussetzungen durch eine umfassende Untersuchung nach GTÜM-Standard bescheinigen lassen. Warnsignale sollten ernst genommen und körperliche Grenzen eingehalten werden. Dies ist ein wesentlicher Schritt zu einem verantwortungsbewussten Umgang mit diesem faszinierenden Sport.

## **Quellen:**

1. Kolb JC, Ainslie PN, Ide K, Poulin MJ. 2004. Protocol to measure acute cerebrovascular and ventilatory responses to isocapnic hypoxia in humans. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004 Jul 20; 141(2):191-9.
2. Perini R, Tironi A, Gheza A, Butti F, Moia C, Ferretti G. 2008. Heart rate and blood pressure time courses during prolonged dry apnoea in breath-hold divers. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Sep; 104(1):1-7.
3. Ferrigno M, Ferretti G, Ellis A, Warkander D, Costa M, Cerretelli P, Lundgren CE. Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber. *J Appl Physiol.* 1997 Oct; 83(4):1282-90.
4. Heusser K, Dzamonja G, Tank J et al. 2009. Cardiovascular regulation during apnea in elite divers. *Hypertension.* 2009 Apr; 53(4):719-24.
5. Nishiyasu T, Tsukamoto R, Kawai K, Hayashi K, Koga S, Ichinose M. 2011. Relationships between the extent of apnea-induced bradycardia and the vascular response in the arm and leg during dynamic two-legged knee extension exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2012 Feb 1; 302(3):H864-71.