

Khan K^{1,4}, Wegewitz D^{2,4}, Krone D^{3,4}

Implosion einer Augenprothese beim Tauchgang in 18 Metern Tiefe

Implosion of an Artificial Eye During a Scuba Dive at 18 Metres Depth

¹Institut für Arbeitsmedizin, Prävention und Gesundheitsförderung, HSK Dr. Horst Schmidt Klinik, Wiesbaden,

²Klinik für Kinder und Jugendmedizin, Klinikum Aschersleben-Staßfurt,

³Klinik für Innere Medizin, HELIOS Klinik Lutherstadt, Eisleben,

⁴Kuramathi Medical Centre and Hyperbaric Chamber, Kuramathi Tourist Island, Malediven

ZUSAMMENFASSUNG

Während eines Übungstauchganges im Freiwasser kam es bei einem Sporttaucher und Träger einer Augenprothese auf 18 Metern Tiefe zur Implosion des künstlichen Auges. Durch den steigenden Umgebungsdruck beim Abtauchen besteht die Gefahr, dass doppelwandige Augenprothesen aus Glas während des Tauchgangs implodieren. Eine unkritische Tauchtiefe, in der Tauchen mit einem doppelwandigen Kunsttauge möglich ist, lässt sich nicht herleiten. Auch Druckveränderungen von wenigen zehntel Bar sind dazu geeignet, luftgefüllte Augenprothesen implodieren zu lassen. Neben Verletzungen, Blutungen oder Infektionen der Orbita, besteht hierbei die Gefahr einer Panikreaktion unter Wasser. Diese kann wiederum zur Aspiration von Wasser aber auch zu einem unkontrollierten Aufstieg an die Wasseroberfläche mit der Folge eines schwerwiegenden Tauchunfalls mit Dekompressionskrankheit oder Barotrauma führen. Aber selbst beim Tauchen mit einwandigen Augenprothesen aus Glas oder Kunststoff besteht prinzipiell die Gefahr eines Barotraumas der Orbita, falls die Augenhöhle durch die Prothese vollständig verschlossen wird und somit kein Druckausgleich zwischen Orbita und Tauchermaske stattfinden kann. Ein Zerschneiden der Prothesen durch Druckschwankungen beim Tauchgang ist ebenso nicht auszuschließen. Bei Folgezustand nach Enukleation des Bulbus ist Tauchen ebenso wie bei funktioneller Monokularität nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Restvisus, Einschränkungen des Gesichtsfeldes und fehlende Stereopsis sollten jedoch bei der Beurteilung der Tauchtauglichkeit bedacht werden. Trägern von Augenprothese wird empfohlen diese vor dem Tauchgang zu entfernen.

Schlüsselwörter: Kunsttauge, Tauchen, Barotrauma, Einäugigkeit, Tauchtauglichkeit.

SUMMARY

During a training scuba dive in the open water, a recreational diver wearing an ocular prosthesis suffered an implosion of the artificial eye at 18 metres depth. The rising ambient pressure while descending can cause the implosion of double-walled glass prosthesis. An uncritical submerged depth for diving with a double-walled ocular prosthesis cannot be deduced due to lack of data. Also, pressure variations of few tenth of a bar are sufficient for an implosion of air-filled ocular prostheses. Beside injuries, bleeding or infections of the orbit, the danger of a panic reaction under water exists. This can cause aspiration of water into the lungs as well as an uncontrolled ascent to the surface with the consequence of a severe diving accident with decompression sickness or barotrauma. But also scuba diving with single-walled prostheses of glass or plastic bear the danger of a barotrauma, if the prosthesis closes the orbit completely and thus no pressure equalisation between orbit and diving mask can take place. Furthermore, the possible disruption of the prosthesis by pressure fluctuations during the dive can also not be fully excluded. After enucleation as well as functional monophthalmia, it may be possible for the patient to dive again under certain circumstances. Nevertheless, visual acuity, restrictions of the visual field and missing stereoscopic vision should be considered in the physical examination of divers. It is recommended to remove ocular prostheses before scuba diving.

Key Words: Ocular prosthesis, scuba diving, barotrauma, monophthalmia, fitness to dive.

EINLEITUNG

In der Literatur sind vereinzelt Fälle von implodierten Augenprothesen bei Sporttauchern berichtet (1,3,4,5). Hierbei besteht nicht nur die Gefahr von Verletzungen, Blutungen oder Infektionen der Orbita, auch eine Panikreaktion unter Wasser kann den Taucher ernsthaft gefährden. Es wird von einem Vorfall berichtet, bei dem es zu einer solchen Implosion eines künstlichen Auges während eines Freiwassertauchgangs kam. Anschließend wird auf die aktuellen deutschsprachigen Empfehlungen zur Tauchtauglichkeit bei Einäugigkeit und bei Trägern von Kunsttaugen eingegangen.

FALLBERICHT

Ein 34-jähriger Mann und Träger einer Augenprothese bei Zustand nach Enukleation absolvierte auf den Malediven einen Grundkurs im Gerätesporttauchen. Im Rahmen dieser Ausbildung führte er am 18.02.2011 seine ersten beiden Übungstauchgänge im Meer mit einem beim Sporttauchen üblichen halboffenen Tauchgerät (Scuba-System = Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) durch. Die Augenprothese beließ er für den Tauchgang in situ. Eine Tauchtauglichkeitsuntersuchung hat zuvor nicht stattgefunden. Für den Tauchgang verwendete er Druckluft und erreichte in Begleitung seiner Tauchlehrerin eine Tiefe von bis zu 12 Metern. Die beiden Tauchgänge verlie-

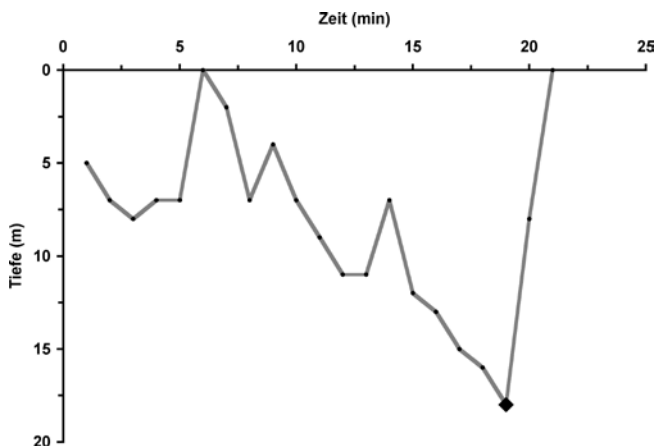


Abbildung 1: Tauchprofil des Unfalltauchgangs. Im Rahmen der Ausbildung werden zunächst einige Übungen durchgeführt. Hierfür tauchte der Betroffene nach 6 Minuten zunächst wieder auf, um anschließend langsam auf 18 Meter abzutauchen. In dieser Tiefe kam es dann zur Implosion der Glasprothese nach insgesamt 19 Minuten Nullzeit. Daraufhin kontrolliertes Auftauchen auf Verzicht des empfohlenen „Safety-Stop“, welcher die Gefahr einer Dekompressionserkrankung verringern soll.

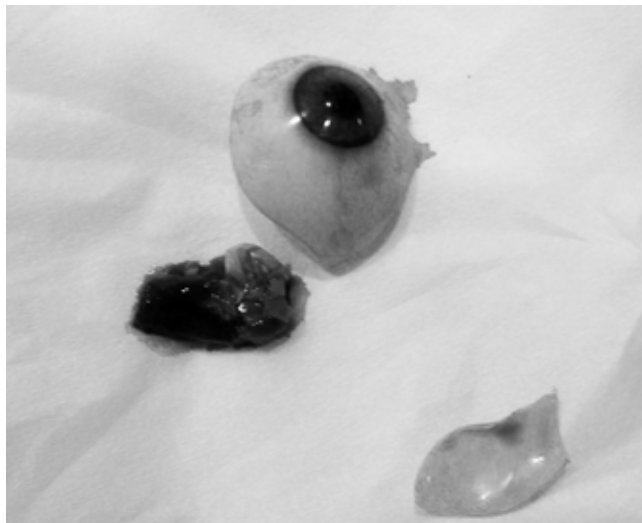


Abbildung 2: Implodiertes Glasauge. In der Mitte und unten sind Fragmente des hinteren Anteils der Glasprothese zu sehen.

fen komplikationslos. Tags darauf führte er seinen dritten Tauchgang, ebenfalls mit Augenprothese in situ, durch. Das Tauchprofil (Abb. 1) zeigt einen Abstieg auf zunächst 11 Meter. Im weiteren Verlauf stiegen die beiden Taucher weiter hinab und erreichten nach 19 Minuten bei bis dahin komplikationslosem Tauchgang eine Tiefe von schließlich 18,3 Metern. In dieser Tiefe kam es zu einer plötzlichen Implosion der Augenprothese. Die Tauchlehrerin erkannte das Vorliegen eines Notfalls und brach den Tauchgang sofort ab. Sie begann einen kontrollierten Aufstieg an die Wasseroberfläche mit einer Aufstiegs geschwindigkeit von maximal 10 Meter pro Minute, verzichtete jedoch auf den empfohlenen 3-minütigen Sicherheitsstopp in 5 Metern Tiefe. Vom Tauchboot aus erfolgte ein Notruf an das Kuramathi Medical Centre. Beim Eintreffen wurde dort eine implodierte Augenprothese links mit Blutung aus der Orbita vorgefunden. Es erfolgte die manuelle Entfernung der Glassplitter und eine anschließende ausgiebige Spülung der Augenhöhle (Abb. 2). Die Blutung sistierte im weiteren Verlauf spontan. Tiefe Schnittwunden ließen sich nicht nachweisen. Anschließend wurde die Orbita desinfiziert und prophylaktisch eine systemische Antibiose verabreicht. Nach ambulanter Therapie konnte der Patient das Medical Centre verlassen.

DISKUSSION

Die Enukleation des Bulbus kann nach einem Trauma, bei malignen Tumoren aber auch bei schmerzhaften Augen mit irreversibler schwerer Sehschädigung bis zur Blindheit indiziert sein (8). Zum Ausfüllen der Augenhöhle werden Augenprothesen (Kunstaugen, „Glasaugen“) verwendet. Neben ästhetischen Gründen wird durch die Augenprothese auch eine Entzündung oder Atrophie der Augenhöhle (Phthisis bulbi) vermieden (8). Heute werden die schalenförmigen Prothesen aus speziellem Kryolithglas oder aus Kunststoff gefertigt. Insbesondere Prothesen aus Kryolithglas besitzen oft einen luftgefüllten Hohlraum, in welchem herstellungsbedingt (isochore Zustandsänderung beim Abkühlen des Glases, Gesetz von Amontons) ein Unterdruck herrscht. Trotz moderner Kunststoffe werden Glasprothesen auf Grund chemischer und physikalischer Eigenschaften nach wie vor häufig verwendet. Dies kann beim Tauchen und der

damit verbundenen Erhöhung des Umgebungsdruckes problematisch sein. Der Umgebungsdruck beim Tauchen nimmt linear mit der Wassertiefe zu. An der Wasseroberfläche herrscht ein Druck von näherungsweise 1 bar. Pro 10 Meter Wassertiefe nimmt der Druck um 1 bar zu, so dass in einer Tauchtiefe von 18 Metern ein Druck von 2,8 bar vorliegen. Relativ gesehen sind die Druckveränderungen somit nahe der Wasseroberfläche größer als in tieferen Abschnitten. Tatsächlich findet beim Abtauchen von der Wasseroberfläche auf eine Tauchtiefe von 10 Metern eine Druckverdoppelung und somit die relativ größte Druckzunahme statt.

Nach dem Boyle-Mariotteschen-Gesetz verhält sich der Druck eines Gases bei gleich bleibender Temperatur und gleich bleibender Stoffmenge nach der Formel $p \times V = \text{konstant}$ umgekehrt proportional zum Volumen. Somit verkleinert sich das Gasvolumen bei steigendem Umgebungsdruck und dehnt sich bei verringertem Druck umgekehrt aus (Abb. 3). Starrwandige Körper ohne Be- oder Entlüftung können unter diesem Effekt im- bzw. explodieren. Sind luftgefüllte Kavitäten des Körpers von diesem Effekt betroffen, so bezeichnet man dies als Barotrauma. Hiervon können beispielsweise Nasennebenhöhlen (insuffiziente Belüftung der Ostien) oder Mittelohr (insuffiziente Belüftung der Tuba auditiva) aber auch Augen (unterlassener Druckausgleich in der Maske) oder Zähne (schadhafte Zahnfüllungen) betroffen sein. Werden während des Aufstiegs die Lungen nicht ausreichend entlüftet, kann es zum Barotrauma der Lunge kommen (ungenügendes Ausatmen, beispielsweise beim (Not-)Aufstieg oder auch „Air-Trapping“) (9). Da es sich beim natürlichen Auge des Menschen um einen flüssigkeitsgefüllten – und somit inkomprimierbaren – Körper handelt, kommen Druckschwankungen im Inneren des Auges nicht zutragen, wohl aber in der luftgefüllten Tauchmaske (7).

Im geschilderten Fall arbeiten zwei Phänomene synergistisch und bewirken, dass die Prothese zerstört wird: Beim Abtauchen sorgt das Boyle-Mariottesche Gesetz dafür, dass der herstellungsbedingte Unterdruck innerhalb Prothese weiter sinkt, während der Wasserdruck mit zunehmender Tiefe steigt. Die Glaswand kann den Druckgradienten nicht weiter standhalten und implodiert.

Neben der Gefahr ernster Schnittverletzungen mit Blutungen und Infektionen der Augenhöhle durch die Implosion, besteht darü-

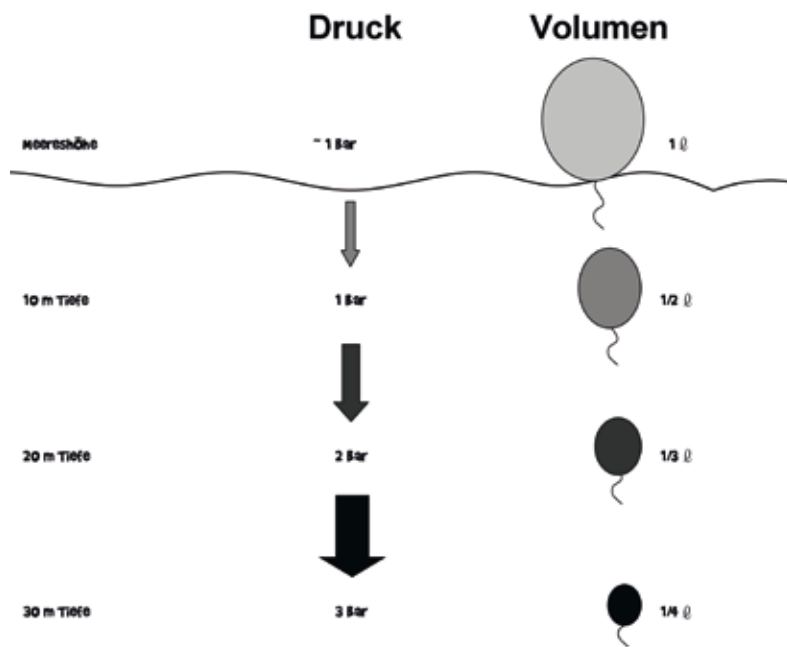


Abbildung 3: Verhältnis von Druck und Volumen unter Wasser. Der absolute Umgebungsdruck nimmt im Wasser linear mit der Tiefe zu. Beim Abtauchen mit einem Luftballon, wird dieser proportional zur Druckerhöhung komprimiert, bzw. beim Auftauchen expandiert (Gesetz nach Boyle-Mariotte). Dieses Phänomen ist für das Entstehen eines Barotraumas verantwortlich.

ber hinaus – insbesondere bei unerfahrenen Tauchern – die Gefahr einer Panikreaktion unter Wasser. Dies kann Aspiration von Wasser aber auch einen unkontrollierten Aufstieg an die Wasseroberfläche mit der Gefahr eines unter Umständen schweren Tauchunfalls (Barotrauma und/oder Dekompressionserkrankung) zur Folge haben. Ein unkritischer Bereich, in dem Tauchen mit einer luftgefüllten Augenprothese möglich ist, lässt sich nicht sicher herleiten. Auch Druckschwankungen von wenigen zehntel Bar sind grundsätzlich dazu geeignet, eine doppelwandige Prothese zu zerstören (2).

FAZIT

Einäugigkeit ist, bei ausreichendem Sehvermögen auf dem gesunden Auge, im Allgemeinen mit der Tauchtauglichkeit zu vereinbaren (4,7,9). Es muss jedoch beachtet werden, dass die Tauchermaske das Gesichtsfeld zusätzlich einschränkt. Durch die Lichtbrechung an der Frontscheibe der Tauchermaske kommt es unter Wasser zu einer weiteren Reduktion des Gesichtsfeldes um etwa ein Viertel (1,4). Darüber hinaus ist bei Einäugigkeit auch räumliches Sehen (Stereopsis) nicht möglich. Der Tauchpartner muss über die bestehenden Einschränkungen informiert werden und an der Seite des gesunden Auges tauchen, damit Blickkontakt und Kommunikation unter Wasser sichergestellt sind (4). Dies entspricht den im Jahr 2009 aktualisierten Empfehlungen zur Tauchtauglichkeit von Sporttauchern der deutschen und österreichischen Fachgesellschaften (7).

In den aktuell gültigen Empfehlungen der schweizerischen Fachgesellschaft aus dem Jahr 2001 wird ein Zeitraum von 4 Monaten nach Funktionsverlust eines Auges wegen fehlender Stereopsis als absolute Kontraindikation angesehen. Wegen sich ausbildender Pseudostereopsis werden 4 bis 12 Monate nach Funktionsverlust eines Auges als relative Kontraindikation betrachtet. Nach einer einjährigen Eingewöhnungszeit besteht keine Kontraindikation mehr. Die genannten Einschränkungen gelten ebenfalls für eine funktionelle Einäugigkeit (9).

Für das Tauchen mit doppelwandigen Augenprothesen besteht aus den oben genannten Gründen eine absolute Kontraindikation (7,9). Bei einwandigen Glasprothesen ist zwar nicht mit einer Im-

plosion zu rechnen, dennoch ist ein Zerbrechen der Glasprothese unter Druckschwankungen nicht auszuschließen. Die Verwendung einwandiger Prothesen aus Kunststoff ist insofern problematisch, als dass eventuell die Belüftung der Augenhöhle nicht mehr gewährleistet ist, falls die Orbita durch die Prothese komplett verschlossen wird und kein Luftaustausch stattfinden kann. Hierbei besteht beim Tauchen die Gefahr eines Barotraumas (7). Es wurde zwar eine Schalenprothese aus Glas mit Druckausgleichsöffnung speziell für einäugige Taucher entwickelt (6), allgemein wird dem Taucher jedoch empfohlen eine vorhandene Augenprothese vor dem Tauchgang zu entfernen (4,7,9).

Danksagung: Frau Svenja Huefnagels, B-A-D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH, Abteilung PR – Öffentlichkeitsarbeit in Bonn, danke ich für die freundliche Unterstützung beim Erstellen der Abbildung 3.

LITERATUR

1. BUTLER FK: Diving and hyperbaric ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 39 (1995) 347-366.
2. BUTLER FK, HAGAN C: Ocular complications in hyperbaric oxygen therapy, in: Neuman TS, Thorm SR (Hrsg): *Physiology and medicine of hyperbaric oxygen therapy*. Saunders Elsevier, Philadelphia, 2008, 570.
3. ISENBERG SJ, DIAMANT A: Scuba diving after enucleation. *Am J Ophthalmol* 100 (1985) 616-617.
4. KALTHOFF H, JOHN S: Augenkrankheiten und Tauchtauglichkeit. *Caisson* 1 (1986) 15-18.
5. KALTHOFF H, LEIPOLD-KULLER D: Implosionsgefahr beim Tauchen mit Kunstaugen aus Glas. *Z prakt Augenheilk* 7 (1986) 137-138.
6. KALTHOFF H, LEIPOLD-KULLER D: Schalenprothesen aus Glas mit Druckausgleichsöffnung für einäugige Taucher. *Z prakt Augenheilk* 7 (1986) 383-386.
7. KOCH M, SCHNELL D: Auge, in: Tetzlaff K, Kingmann C, Muth CM, Piepho T, Welslau W (Hrsg): *Checkliste Tauchtauglichkeit: Untersuchungsstandards und Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM)*. Gentner Verlag, Stuttgart, 2009, 109-120.
8. MOSHFEGHI DM, MOSHFEGHI AA, FINGER PT: Enucleation. *Surv Ophthalmol* 44 (2000) 277-301.
9. WENDLING J, EHM O, EHRSAM R, KNESSL P, NUSSBERGER P (HRSG.): *Tauchtauglichkeit Manual*. Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin, Schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin und Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin, Biel, 2001.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Kareem Khan
HSK, Dr. Horst Schmidt Klinik
Ludwig-Erhard-Straße 100
65199 Wiesbaden
E-Mail: kareem.khan@hsk-wiesbaden.de