



Das Fachinstitut in Hamburg

Rothenbaumchaussee 47

20148 Hamburg

Telefon +49 (0) 40 / 449 779

Internet: www.HollandDorider.de

email: Info@HollandDorider.de

Artikel:

Formstabile Kontaktlinsen beim Tauchsport

Autor:

Rainer Holland

veröffentlicht:

Neues Optikerjournal NOJ 2/1989

unsere Kurzinformation:

Rainer Holland erläutert die Grundlagen beim Tauchen mit Kontaktlinsen in diesem frühen Artikel. Bestehende Vorurteile beim Tauchen mit formstabilen Linsen werden widerlegt und genau die physikalischen Zusammenhänge erklärt. Ein Leserbrief mit Stellungnahme ergänzt den Artikel.

unsere Stichworte zu diesem Artikel im Infocenter:

- Tauchen

Formstabile Kontaktlinsen beim Tauchsport



Languste auf Beutesuche im Korallenriff (Grand Cayman)

Von Rainer Holland, Hamburg

Liest oder hört man etwas über Kontaktlinsen beim Tauchsport, so sind immer nur weiche Linsen oder Masken mit Korrektionsgläsern geeignet [1, 2, 5, 8, 9, 11, 15].

Harte Kontaktlinsen sollen völlig ungeeignet bzw. bedingt geeignet sein, wenn man sie „fenstert“, womit Ventilationsbohrungen gemeint sind [5, 8, 11, 13, 15].

Die Literaturstellen sind spärlich und können für die stürmische Entwicklung der stabilen gasdurchlässigen Kontaktlinsen als überholt angesehen werden. Für mich stellte sich die Frage, warum sollen die modernen hochsauerstoffdurchlässigen asphärischen stabilen Linsen bei den heutigen Anpaßtechniken wie Topometrie, Computerberechnungen und reflexfreier Fluobetrachtung beim Tauchen schlechter sein als die weichen Kontaktlinsen, da es doch bei normalem Gebrauch umgekehrt ist?

Im Januar 1984 saß der Taucher Bob Michelson bei mir auf dem Anpaßstuhl und erzählte von seinen Trageproblemen mit weichen Linsen. Er wünschte Kontaktlinsen, die er ganztags und besonders beim Tauchen tragen könnte.

Nach genauer Untersuchung war klar, daß nur stabile asphärische gasdurchlässige Linsen für ein ganztägiges Tragen geeignet sind. Durch die nachfolgenden Diskussionen über die Tauchmedizin und Tauchphysik entwickelte sich im Laufe der Zeit eine Freundschaft, in der Bob ein halber Anpasser und ich ein ganzer Taucher wurde. Da ich selbst oben genannte Linsen trage, hatte ich bald Gelegenheit, auch eigene Erfahrungen zu sammeln.

Der Versorgung von Tauchern oder anderen Wassersportlern mit stabilen Linsen stehen zwei wesentliche Vorurteile im Wege (Abb. 1).

Vorurteile

Stabile Kontaktlinsen gehen im Wasser verloren
Es bilden sich problematische Gasblasen unter den Kontaktlinsen

Abb. 1

Um nicht nur auf unsere eigenen Beobachtungen und Erfahrungen aufbauen zu müssen, starteten wir in den internationalen Tauchmagazinen einen Aufruf, uns Erfahrungen mitzuteilen. Die vielen Zuschriften waren sehr ermutigend, uns intensiv mit dem Thema zu befassen (Abb. 2).

Tatsachen

Es wird weltweit ohne Probleme mit stabilen Kontaktlinsen getaucht
Die richtigen stabilen Kontaktlinsen werden kaum im Wasser verloren
Es können sich Gasblasen unter den Kontaktlinsen bilden

Abb. 2

Verlustgefahr: Angeblich werden solche Kontaktlinsen im Wasser verloren [1, 2, 9, 11, 15].

Parallel angepaßte asphärische stabile Kontaktlinsen können nur von den Augen gespült werden, wenn hohe Turbulenzen vorhanden sind. Einen Freistilschwimmer ohne Chlorbrille mit Linsen jeglicher Art zu versorgen, ist ziemlich unsinnig, da bei starken Strömungen am Auge auch große weiche Linsen fortgespült werden können. Einen Surfer dagegen kann man sehr gut mit stabilen Linsen ausrüsten, da er beim Sturz ins Wasser immer die Augen reflektorisch schließt. Beim normalen Baden dürfen die Augen unter Wasser zu Schlitzen geöffnet werden. Öffnet man die Augen sehr weit, so steigt die Verlustgefahr. Ein Schlitz als Lidspaltenöffnung reicht unter Wasser zur Orientierung völlig aus. Ein vollständiges Öffnen ist nicht nötig. Wir haben diese Tatsachen durch Tauchen ohne Masken erhärtet (Abb. 2).

Das Ausblasen einer Tauchermaske, Entleeren einer aus Versehen vollgelaufenen Maske mittels Atemluft ist mit allen Linsen völlig unproblematisch, da man dabei die Augen nicht öffnen muß. Man spürt sehr deutlich, wann das meiste Wasser ausgeblasen ist. Um den letzten Rest auszublasen, können die Augen wieder weit geöffnet werden.

Es ist sehr sinnvoll, den Linsenträger einen Versuch machen zu lassen, bei dem er erkennen kann, wie groß die Verlustgefahr im Wasser wirklich ist (Abb. 3).



Abb. 3

In eine große Schüssel oder Wanne wird Wasser gefüllt und der Kopf hineingetaucht. Es werden die Augen geöffnet und Lidschläge durchgeführt. Zusätzlich können durch Kopfschütteln oder mit den Händen Turbulenzen erzeugt werden. Nach diesem Versuch weiß der Linsenträger, wie sicher seine Linsen sitzen. Bei einer echten Parallelanpassung von asphärischen stabilen Linsen ist ein Herausspülen bei diesem Versuch extrem selten.

Vorteile: Die Verlustgefahr der Kontaktlinsen beim Maskenverlust ist praktisch nicht vorhanden, da man reflektorisch die Augen schließt und somit das Korrektionsmittel behält. Verliert man dagegen eine Maske mit Korrektionsgläsern, so verliert man auch das Korrektionsmittel.

Unter Wasser ist zwar jeder Taucher, ob fahlsichtig oder nicht, bei Maskenverlust gehandicapt und auf seinen Tauchpartner angewiesen, um sicher und gefahrlos aufzutauchen, da nun das Wasser direkt an die Hornhäute bzw. Linsen grenzt und sich somit eine hohe Hyperopie von ca. 40 dpt einstellt [3, 4].

Allerdings kann sich der Linsenträger nach dem Auftauchen sofort sicher und vollkorrigiert bewegen, während der Korrektionsmaskenträger nach Verlust der Maske, je nach Größe der Fahlsichtigkeit, immer noch auf den Partner angewiesen ist.

Weitere Vorteile der Kontaktlinsen gegenüber der Maske mit Korrektionsgläsern sind die deutlich besseren Abbildungseigenschaften der Kontaktlinsen [4, 14].

Die Korrektionsgläser in einer Maske sind an der Vorderfläche immer plan. Was das für Einflüsse auf die Abbildungseigenschaften, besonders bei Plus- und Zylindergläsern hat, ist jedem Augenoptiker klar [3, 4, 10, 14].

Wenn dann noch Korrektionsmasken mit den entsprechenden Gläsern im Tauchshop verkauft werden, ohne daß der Verkäufer etwas von HSA, PD, Zylinder oder Achse weiß, so ist man der Darstellung in Abb. 4 sehr nahe.



Abb. 4

In Tauchermasken ist der Hornhautscheitelabstand deutlich größer als bei Brillenfassungen [3, 4], so daß auch die Eigenvergrößerungen bzw. -verkleinerungen zum Teil stärker werden. Beim Kontaktlinsenträger entfällt dieses naturgemäß. Der Kontaktlinsenträger erfährt auch gegenüber dem Maskenträger mit Korrektionsgläsern keine weitere Gesichtsfeldeinschränkung, da er in der Maskenwahl freie Hand hat und keine einschränkenden Gläseränder kennt [1, 10].

Bifokale Korrekturen sind in diesem Fall sicherlich auch einfacher mit Linsen als mit Korrektionsgläsern durchzuführen [4].

Ein weiterer Aspekt, der Komfort, sei noch erwähnt. Der Linsenträger braucht erst kurz vor dem Abtauchen seine Maske, gut sehend, mit Speichel und Wasser tauchklar zu machen und aufzusetzen. Der Brillenträger verstaut seine Brille meist sicher im Gepäck und legt alle Wegstrecken mit beschlagener Maske vorm Gesicht oder unkorrigiert zurück. Erst am Wasser kann er die Maske, zum Teil schlecht sehend, fertigmachen. Wer diesen Unterschied kennt, weiß, wovon ich spreche.

Gasblasenbildung: Um den Punkt der Gasblasenbildung abzuhandeln, muß ich einiges über Tauchmedizin und Physik erläutern. Bedingt durch die veraltete Literatur gilt heute noch die Meinung, daß die Gasblasen unter stabilen Linsen zu Ödemen in der Hornhaut führen [5, 8, 14, 15].

Eine andere Aussage ist, daß die Linsen durch die Gasblasen vom Auge gedrückt werden und dadurch verlorengehen.

Beide Aussagen können widerlegt werden!



Doktorfisch in Staghornkoralle (Grand Cayman)

Der Druck

Auf Meeresniveau herrscht ein Druck von 1000 hectopascal entsprechend 1 bar. Dieser Druck wird durch die Höhe unserer Atmosphäre erzeugt, vergleichbar mit einer 750 mm hohen Quecksilbersäule, sowie einer 10 m hohen Wassersäule. In 10 m Wassertiefe herrschen somit 2 bar Druck, bestehend aus 1 bar Luftdruck und 1 bar Wasserdruck. In 20 m Tiefe ergeben sich 3 bar aus 1 bar Luftdruck und 2 bar Wasserdruck (2 x 10 m) usw. (Abb. 5).

Betrachtet man die jeweiligen Druckverdoppelungen bei zunehmender Tiefe, so stellt man fest, daß schon in 10 m Tiefe die erste entsteht, die nächste in 30 m Tiefe, die folgenden in 70 m. Letztere ist für Sporttaucher, da so tief nicht getaucht wird, nicht mehr relevant. Umgekehrt, also aus der Tiefe betrachtet, halbiert sich der Druck jeweils (Abb. 6).

Um bei den jeweiligen Drücken atmen zu können, wird Atemluft (Preßluft und kein Sauerstoff) unter hohem Druck bis 300 bar in Metallflaschen mitgeführt. Durch geeignete

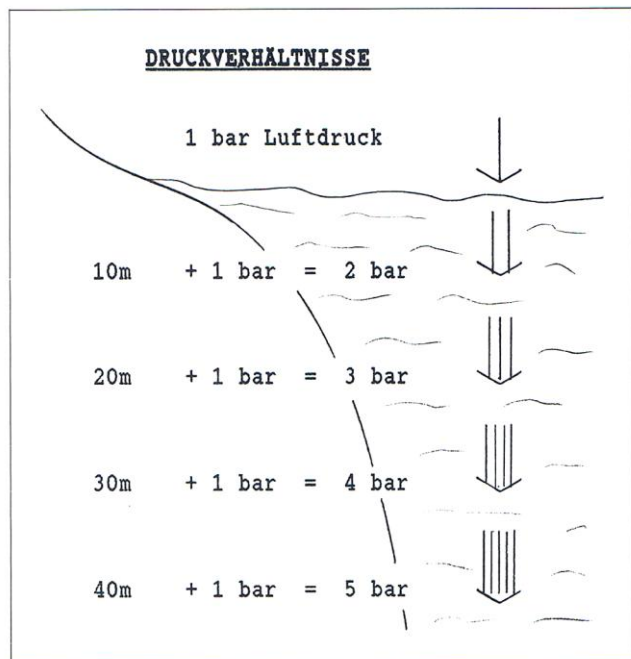


Abb. 5

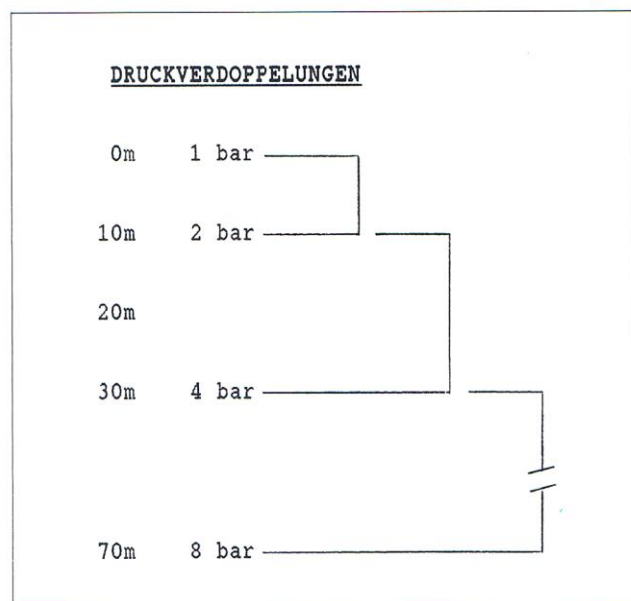


Abb. 6

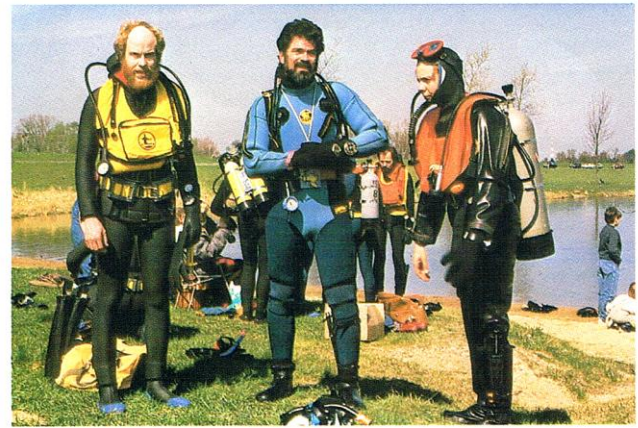


Abb. 7: Bob Michelson und Rainer Holland vor ihrem ersten gemeinsamen Tauchgang in Hamburg

Mechaniken wird der hohe Druck aus den Flaschen auf den herrschenden Umgebungsdruck reduziert, so daß die Luft mit gleichen minimalen Druckdifferenzen wie an Land geatmet werden kann (Abb. 7).

Um durch die unterschiedlichen Tiefen keine Trommelfellrisse zu bekommen, sorgt der Taucher durch Preßdruck durch die Nase oder Schluckvorgänge für einen Druckausgleich zwischen Innenohr und dem herrschenden Außen- druck. Ein solcher Druckausgleich ist auch in der Maske nötig, da sich sonst in der Kompressionsphase, dem Abtauchen, innerhalb der Maske ein geringerer Druck als in den Bindehautgefäßen ergeben könnte, was zu Gefäßrissen führen kann [7].

Gesetz von Boyle-Mariotte

Das Gesetz von Boyle-Mariotte beschreibt das Verhalten von Gasen unter wechselnden Drücken. Das Volumen einer Gasblase verhält sich umgekehrt proportional zum Druck. Mit anderen Worten: Hat in 30 m Tiefe bei 4 bar Druck eine Gasblase ein Volumen von 1 mm³, so vergrößert sie sich beim Aufstieg auf 10 m Tiefe (bei 2 bar Druck) auf

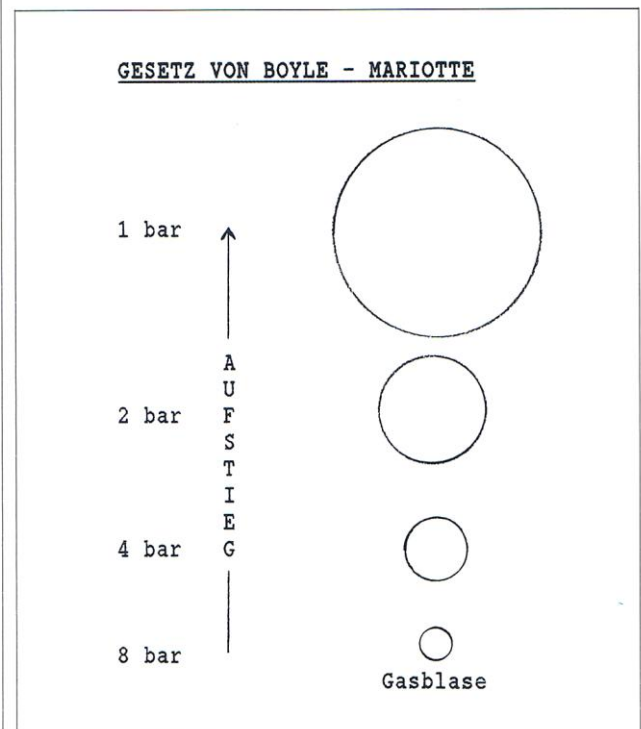


Abb. 8

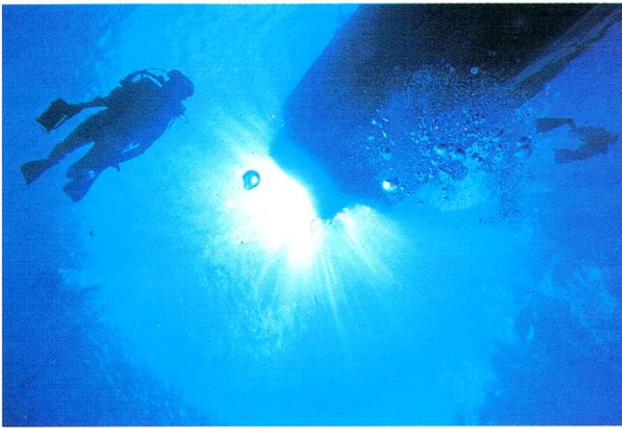


Abb. 9: Auftauchen, die aufsteigenden Blasen vergrößern sich

2 mm³. Bei weiterem Aufsteigen der Blase und Erreichen der Wasseroberfläche hat sie das Volumen von 4 mm³ (Abb. 8 u. Abb. 9).

Für die erste Volumenverdoppelung durch Druckhalbierung werden von 30 m auf 10 m Tiefe 20 m durchtaucht. Bei der nächsten Volumenverdoppelung von 10 m auf 0 m sind es nur noch 10 m, was bei gleicher Aufstiegs geschwindigkeit in der Hälfte der Zeit geschieht. Durch diese Zeitverkürzung können nur halb so viele Lidschläge wie bei der ersten Volumenverdoppelung durchgeführt werden. Die Unterspülung der Linse ist entsprechend schlechter. Auf diese Situation wird noch differenzierter eingegangen.

Zusammensetzung der Luft

Aus Abb. 10 ist die Zusammensetzung der Luft als Partialdrücke der einzelnen Gase zu ersehen. Atmen wir diese Luft auf Meeresniveau ein, so werden bei normaler Atmung etwa 5% des Gesamtvolumens (entsprechend 0,05 bar) als Kohlendioxid wieder ausgeatmet. In der ausgeatmeten Luft herrscht demnach ein geänderter Sauerstoffpartialdruck von 0,16 bar und ein Kohlendioxidpartialdruck von 0,05 bar.

In zum Beispiel 10 m Tiefe bei 2 bar Druck werden bei gleicher Stoffwechselrate auch nur 0,05 bar Sauerstoff in Kohlendioxid umgewandelt, so daß sich dort folgende Partialdrücke in der Ausatemluft befinden:

Sauerstoff = 0,37 bar und Kohlendioxid = 0,05 bar.

Der Druckausgleich in der Maske erfolgt mit ausgeatmeter Luft, dennoch ist, wie gezeigt, der Sauerstoffpartialdruck deutlich höher als unter atmosphärischen Bedingungen. Die Hornhäute hinter den Kontaktlinsen erfahren eine bessere Sauerstoffversorgung als unter normalen Bedingungen.

<u>ZUSAMMENSETZUNG DER LUFT</u>			
Partialdrücke			
am Stoffwechsel teilnehmende Gase			
Sauerstoff	0,21	bar	
Kohlendioxid	0,0003	bar	
nicht am Stoffwechsel teilnehmende Gase			
Stickstoff	0,78	bar	ca 0,79 bar
Argon	0,009	bar	
Rest	0,0007	bar	

Abb. 10

Lösung von Gasen im Gewebe

Der Stickstoff und die Edelgase (79% der Luft) nehmen nicht am Stoffwechsel teil. In der Tauchmedizin geht man davon aus, daß sich nur diese Inertgase im Gewebe lösen [6, 7, 12, 14].

Der Gasaustausch an der Körperoberfläche ist minimal und kann hier vernachlässigt werden. Es muß das gesamte Gasgemisch in der Tauchermaske als im Gewebe löslich betrachtet werden und nicht nur die 79% Inertgase. Im gesättigten Zustand sind der Lösungsdruck im Gewebe und der Druck in der Maske gleich groß.

Betrachtet man nun den Zustand nach Sättigung in 20 m Tiefe, so ist der Gesamtdruck in der Hornhaut 3 bar. Würde diese Hornhaut ohne Zeitverzug an die Oberfläche gebracht, so würde das Gas daraus wie aus einer Seifersflasche ausperlen, da ein starker Lösungsüberdruck gegenüber dem Umgebungsdruck entstehen würde. Es muß somit sehr langsam aufgestiegen werden, um der Gasdiffusion aus der Hornhaut Zeit zu lassen. Das Auftauchen in den letzten 10 m muß besonders langsam erfolgen, da sich der Druck auf dieser kurzen Strecke noch einmal halbiert und somit der Gasdiffusion aus der Hornhaut möglichst viel Zeit gelassen wird (vgl. Gesetz von Boyle-Mariotte) [6, 7].

Lösungsgeschwindigkeiten

Die Lösungsgeschwindigkeiten können in Halbsättigungszeiten (Halbwertszeiten) ausgedrückt werden [6, 12]. Eine Halbsättigungszeit von 10 Minuten bedeutet, daß eine bestehende Druckdifferenz in 10 Minuten halbiert wird. In unserem Körper sind die Halbsättigungszeiten sehr unterschiedlich lang. Je nach Kompartiment (Gewebeart) liegen sie für Stickstoff zwischen 2,65 und 635 Minuten (Abb. 11) [6, 12].

Die Gase lösen sich in der Lunge im Blut. Im Blut werden sie im Körper weitertransportiert. Bei gut durchbluteten Geweben ist die Diffusionsstrecke zwischen Blutgefäß und dem jeweiligen Gewebeteil sehr kurz, die Diffusion damit schnell und die Halbsättigungszeit kurz.

Zu den schnellen Kompartimenten (kurze Halbsättigungszeiten) gehört zum Beispiel die Leber. In schlecht durchbluteten Geweben ist die Diffusionsstrecke zwischen Blutgefäßen und den jeweiligen Gewebeteilen lang, die Diffusion damit langsam und die Halbsättigungszeiten lang. Zu den langsamen Kompartimenten gehören zum Beispiel die Knorpel.

<u>LÖSUNGSGESCHWINDIGKEITEN</u>	
Schnelle Gewebe	
gute Durchblutung hoher Wassergehalt	
Langsame Gewebe	
geringe Durchblutung geringer Wassergehalt hoher Fettgehalt	
Halbsättigungszeiten für Stickstoff -> 2,65 bis 635 Minuten	

Abb. 11



Stachelrochen (Sinai-Halbinsel, Rotes Meer)



Clownfisch in Anemone (Sinai-Halbinsel, Rotes Meer)

Toleranzen

Die Toleranz der einzelnen Kompartimente gegenüber einem Lösungsüberdruck mit erster Gasblasenbildung ist unterschiedlich [6, 12, 13].

Toleranzen gegenüber Lösungsüberdruck im Gewebe

Schnelle Gewebe	hoch
Langsame Gewebe	niedrig

Die schnellen, wie zum Beispiel das Blut selbst, zeigen eine hohe Toleranz, die sehr langsamen, wie die Knorpel, eine sehr niedrige. Dies ist leicht verständlich. Eine kleine Gasblase im Blut kann zur Lunge transportiert werden und dort über die Alveolen abgegeben werden. Ein Bläschen im Knorpel dagegen ist ortsfest und beschädigt bei Ausdehnung Gewebeteile.

Ausnahme: Die Hornhaut, den Tränenfilm und die Kontaktlinse müssen wir als ein Kompartiment zusammenfassen, da ihre Wechselwirkungen nicht trennbar sind.

Ausnahme

Das Kompartiment Hornhaut, Tränenfilm und Kontaktlinse

Keine Durchblutung, aber sehr schnell
Geringe (visuelle) Toleranz bei Gasblasenbildung unter der Kontaktlinse durch eventuelles Nebelsehen

Dieses Kompartiment bildet gegenüber dem vorher beschriebenen eine Ausnahme: Es ist *nicht durchblutet*, aber die Gasdiffusion ist *sehr schnell*. Es liegt eine *geringe Toleranz* bei Gasblasenbildung vor, da dabei ein Nebelsehen entsteht.

Die ermittelten Halbsättigungszeiten liegen zwischen 2 und 5 Minuten, also ähnlich kurz wie beim Blut. Als Toleranzgrenze für den Gasüberdruck im Kompartiment ergeben sich 0,7 bis 1 bar, was sehr tief ist.

Zur Ermittlung der Halbsättigungszeiten und des Lösungsüberdruckes, bei dem sich in der Dekompressionsphase erste Gasblasen bilden, wurde von mir ein Computerprogramm entwickelt, das nach dem ZH-L₁₂-System von Prof. Bühlmann in Zürich rechnet [6]. Mittels dieses Program-

mes läßt sich jeder Tauchgang simulieren bzw. nachträglich berechnen.

Die erste Gasblasenbildung konnte anfänglich nur unsicher unter Wasser beobachtet werden. Ein kleiner Zusatz zur Taucherlampe ermöglicht jetzt sehr gute Beobachtungsmöglichkeiten. Durch den Zusatz wird ein sehr heller Lichtpunkt vor einem dunklen Hintergrund erzeugt, so daß Lichtstreuungen durch Gasblasenbildung unabhängig von der Umgebungsbeleuchtung, also auch nach dem Tauchen in der Mittagssonne, sicher beobachtet werden können.

Durch diese Möglichkeit ließ sich gut erkennen, wie entstandene Gasblasen durch Rekompensation verschwinden und durch langsameres Auftauchen vermieden werden.

Einfluß des Tränenfilms

Dem Tränenfilm kommen in dieser Situation zwei Funktionen zu: In der Kompressionsphase (Abtauchen und Verweilen) beeinflusst die Tränenunterspülung der Linse die Halbsättigungszeit, da mittels Tränenfilm das in ihm gelöste Gas unter die Linse an die Hornhaut gelangt. Es ergibt sich eine vergleichbare Situation wie mit Blutgefäßen im Gewebe. Ein häufiger Tränen austausch unter der Linse verkürzt die Halbsättigungszeit bis auf das mögliche Minimum. In diesem Zusammenhang sind der Durchmesser der Linse und die Tränen austauschrate offensichtlich effizienter als geringe Erhöhungen des Dk-Wertes des Linsenmaterials.

In der Dekompressionsphase (Aufstieg) gelten die gleichen Aussagen. Zusätzlich ist der Tränenfluß unter der Linse ausschlaggebend für die Höhe der Toleranz des Kompartiments gegenüber sich bildenden Gasblasen im Tränenfilm.

- Haben wir einen gleichmäßigen guten Tränenfilm über die Kontaktlinse, so ergibt sich eine gute Toleranz, da Mikrobäschen fortgeschwemmt werden und Nebelsehen nicht entstehen kann. Diese Situation ähnelt der von fortschwimmenden Gasbläschen im Blut.
- Bei einem schlechten Tränenfilm können Gasbläschen an den dünnsten Stellen eingeklemmt werden. Beim Aufstieg vergrößern sie sich, es entsteht Nebelsehen. Die Gasbläschen erzeugen Abdrücke in der Hornhaut. Diese Situation ähnelt der von Gasbläschen im Knorpel.
- Entstehen Bläschen in abgeschnittenen Tränenkammern (Tränenseen) unter der Linse, so werden sie nicht ausgespült. Nebelsehen ist die Folge. Solange der Durchmesser der Bläschen kleiner bleibt als die Tränenschichtdicke, verursachen sie keine Abdrücke. Wird der Durchmesser größer als die Tränenschichtdicke, so entsteht die gleiche Situation wie unter B).



Taucherin im Barakudaschwarm (Formentera)

Auf keinen Fall können Gasbläschen so groß werden, daß dadurch Kontaktlinsen von der Hornhaut gedrückt werden, da in der dünnen Hornhaut mengenmäßig nicht genügend Gas gelöst werden kann, um so große Blasen entstehen zu lassen.

Beim Aufstieg aus größeren Tiefen ist eine Gasblasenbildung unter den Linsen bis in ca. zehn Meter Tiefe unwahrscheinlich, da die notwendigen Zeiten beim Aufstieg ausreichen, um eine langsame Entsättigung zu ermöglichen. In den letzten zehn Metern ist eine Gasblasenbildung eher möglich, da die Zeit des Aufstiegs bis zur Oberfläche ohne Dekompressions-Stop nur ca. eine Minute beträgt, der Druck aber halbiert wird.

Lokalisierung der Gasblasen

Bei den Experimentiertauchgängen konnte gezeigt werden, daß die Gasbläschen im Tränenfilm und nicht in der Hornhaut entstehen (1). Desweiteren wurde ermittelt, daß das Nebelsehen nicht durch Ödeme, sondern durch Bläschen verursacht wird (2).

Zu Punkt (1):

Wurde an der Oberfläche Nebelsehen bemerkt, so war dieses nach der Abnahme der stabilen Kontaktlinsen deutlich stärker. Die Gasblasen hatten Dellen auf der Hornhaut erzeugt, und es entstand der Effekt einer Riffelglasscheibe. Wurden die Linsen nun erneut feucht aufgesetzt, so verschwand das Nebelsehen bis auf einen kleinen Rest. Die Dellen wurden durch die Flüssigkeit aufgefüllt und somit optisch fast vollständig neutralisiert, da die Brechzahlen der Tränenflüssigkeit und der Hornhaut fast gleich sind.

Wurden die Linsen nicht abgenommen, dauerte es ca. 15 bis 20 Minuten, bis sich die Bläschen abgebaut hatten und das Nebelsehen nicht mehr zu beobachten war [5, 8, 11].

Zu Punkt (2):

Wurde an der Oberfläche oder in geringen Tiefen Nebelsehen festgestellt, so konnte dieses nach kurzer Rekompensation (erneutes Abtauchen) in 10 bis 12 Meter Tiefe wieder rückläufig gemacht werden. Mit dem beschriebenen Tauchlampenzusatz war dies gut zu beobachten.

Anpassung und Material

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich alles für die Anpassung stabiler Linsen für Sporttaucher:

- a) Zu trockene Augen können nicht mit stabilen Linsen zum Tauchen versorgt werden, da der Tränenfluß unter den Kontaktlinsen zu gering ist, zumal die Lidschlagfrequenz beim Tauchen deutlich abnimmt und dadurch die Tränenfilmdicke so gering wird, daß eventuelle Gasbläschen, wie oben beschrieben, eingeklemmt werden.



Papageienfisch im Schlaf, 22 Uhr (Grand Cayman)

Die Abnahme der Lidschlagfrequenz ist auf folgende Gründe zurückzuführen:

Ähnlich wie bei einem spannenden Film, Buch oder schneller Autofahrt wird sehr konzentriert geschaut und jeder überflüssige Lidschlag vermieden. Hinzu kommt die 100%ige relative Luftfeuchtigkeit in der Maske, die ein Trockengefühl durch Tränenfilmverdunstung an den Augen fast vollständig verhindert und somit der Lidschlag seltener ausgelöst wird. Bewußte Lidschläge können zwar etwas, aber sicherlich nicht völlig Abhilfe schaffen.

- b) Die Verwendung von individuellen asphärischen Rückflächen der Kontaktlinsen in Verbindung mit der Topometrie sind unerlässlich, um eine parallele bis ganz leicht flache Anpassung zu ermöglichen. Die Fluoreszeinbild-Betrachtung mittels Handlampe genügt nicht, um zu erkennen, ob sich eventuell „flache abgeschlossene Tränenseen“ unter den Linsen befinden. Die reflexfreie Betrachtung mittels Spaltlampe bei geringstmöglicher Fluoreszeinmenge ist notwendig, um genau genug beobachten zu können.
- c) Um eine optimale Unterspülung zu erzielen, müssen die Linsen völlig frei gleiten können und dürfen nicht dezentriert „festsitzen“. Torische asphärische Rückflächen sind somit zum Tauchen eher nötig als zum normalen Tragen.
- d) Es können normale Linsendurchmesser gewählt werden, wobei ein kleiner Durchmesser für die bessere Unterspülung von Vorteil ist, ein größerer die Gefahr des Herausspülens der Kontaktlinsen aus den Augen verringert, da beim Zusammenkniffen der Lider diese satter auf den Linsen liegen.
- e) Das Linsenmaterial sollte möglichst gut im Tränenfilm benetzt werden, wodurch entstehende Mikrobälchen schlechter an der Linse haften bleiben. Man sollte eine möglichst hohe Permeabilität der Linse wählen, um die Halbsättigungszeiten klein zu halten und dadurch eine schnelle Entsättigung zu erreichen.

Maßnahmen des fehlsichtigen Sporttauchers

1. Er sollte sich einem Anpasser anvertrauen, der sich mit dem Thema Tauchen und Kontaktlinsen auseinandergesetzt hat und die Anpassung von individuellen asphärischen stabilen Kontaktlinsen beherrscht.
2. Ein langsames Auftauchen sollte besonders in den letzten zehn Metern erfolgen, wobei mit abnehmender Tiefe auch die Geschwindigkeit abnehmen sollte. Wird in drei Meter Tiefe ein Dekompressions-Stop eingelegt, so sollten danach auch die letzten drei Meter langsam aufgetaucht werden. Durch gezielte Referenztauch-



Taucherin füttert einen Riesenzackenbarsch
(Portinax, Ibiza)

gänge kann die Neigung zur Gasblasenbildung von jedem Taucher ermittelt werden. Über ein Computerprogramm können dann individuelle zusätzliche Dekompressions-Stops ermittelt werden.

- Der kontaktlinsentragende Taucher sollte während des Tauchganges viel blinzeln, um den Tränenfilm unter der Linse möglichst dick zu erhalten und in der Dekompressionsphase die Unterspülung zu maximieren, damit eventuell entstehende Gasblasen leicht ausgespült werden können.

Offene Fragen:

- Ändert sich die Tränensekretion in Menge oder Zusammensetzung, wenn der Umgebungsdruck steigt? Ändert sie sich eventuell in der Dekompressionsphase oder danach?
- An welchem Ort entstehen die ersten Gasbläschen, wie groß sind sie, und wie bewegen sie sich im Tränenfilm unter der Kontaktlinse?
- Kommt es bei höherem Umgebungsdruck eventuell doch zu Hornhautformveränderungen? Wird der Bulbus eventuell kugelig? Nach Bennett [11] soll es keine Radienänderungen geben.

Forderungen:

Druckkammer

Um die offenen Fragen zu beantworten und die bisherigen Ergebnisse abzusichern, sind einige gezielte Druckkammerfahrten mit ophthalmologischen Instrumenten und linsentragenden routinierten Tauchern nötig. Das Instrumentarium und die Probanden stehen zur Verfügung. Was uns fehlt, ist eine entsprechend große Druckkammer, in der wir beobachten und messen können. Leider konnte man uns bisher keine Druckkammer zur Verfügung stellen. Ich hoffe, daß es nach der geschilderten gründlichen Vorarbeit und den interessanten Ergebnissen möglich wird, zumal die Anzahl der Taucher mit den beschriebenen Kontaktlinsen weltweit ständig steigen wird.

Hohe Dk-Werte

Je höher die Permeabilität der stabilen Kontaktlinsen ist, desto mehr Gas kann aus der Hornhaut und dem Tränenfilm durch die Linse diffundieren. Erste Ergebnisse mit neuen Silikonkautschuklinsen bestätigen diesen Aspekt.

Gute Benetzung

Bei besserer Benetzung des Linsenmaterials ist die Gefahr geringer, daß Bläschen am Material haften bleiben und durch diese Ortsstabilität nicht ausgespült werden. Gleichzeitig verringert sich die Gefahr des Durchdrückens des Tränenfilms und damit des Einschließens von Bläschen.

Schlußbemerkung

Zum Schluß sei noch kurz erläutert, warum unter weichen Kontaktlinsen allenfalls am Rand Bläschen feststellbar waren, wenn sie bei Tauchgangssimulationen in Druckkammern getragen wurden [14].

Der aufmerksame Kontaktlinsenanpasser ist nach dem Studium des bisherigen Textes sicherlich schon selbst darauf gekommen, so daß er nicht weiterlesen muß.

Die weichen Linsen unterspülen so schlecht, daß man praktisch nicht von einer Unterspülung reden kann. Die Permeabilität ist dazu so gering, daß für dieses Kompartiment weiche Kontaktlinse, Tränenfilm und Hornhaut Halbsättigungszeiten von schätzungsweise 30 Minuten und länger entstehen. Bei normalen Sporttauchgängen kommt es somit nie zu einer höheren Gasaufnahme der Hornhaut. In der Dekompressionsphase kann dann auch kein nennenswerter Lösungsüberdruck in der Hornhaut entstehen, so daß es zu keiner Ausperlung kommen kann.

Schon diese Tatsachen zeigen, wieviel schlechter die Sauerstoffversorgung unter den weichen Linsen gegenüber den hochsauerstoffdurchlässigen stabilen Linsen ist.

Was das für den langjährigen Träger von weichen Kontaktlinsen für Folgen hat, sehen wir ja leider zu häufig in der täglichen Praxis.

Alle Unterwasseraufnahmen stellte Bob Michelson zur Verfügung. Ihm danke ich auch für die viele Geduld, die er aufbrachte, um mich das Tauchen zu lehren.

Literaturnachweis

- [1] Douglas E. Williamson: „Correction of Ametropia in Skin and Scuba Divers“, Journal of the Florida Medical Association, Feb. 1969.
- [2] Douglas E. Williamson: „Soft Contactlenses and Scuba Diving“, Eye, Ear, Nose and Throat Monthly, Jan. 1971.
- [3] W. Klein: „Sehen wie die Fische“, Der Augenoptiker 3/74, 5/74, 6/74.
- [4] G. Henke/V. Michel: „Optische und praktische Gesichtspunkte bei der Korrektur beim Tauchsport“. Referat, gehalten am WVAO Jahreskongreß in Düsseldorf 1977.
- [5] David R. Simon: „Adverse Effects of Contactlenswear during Compression“, Journal of the American Medical Association, Sept. 1980.
- [6] A. A. Bühlmann: „Dekompression und Dekompressions-Krankheiten“, Springer Verlag, 1983.
- [7] Axel Stibbe: „Sport-Taucher Handbuch“, Verband deutscher Sporttaucher e.V., 1983.
- [8] Mary M. Matzen: „Contactlens and diving: What are the Risks?“ Bulletin CMAS no. 142, Octobre 1984.
- [9] W. D. Bockelmann: „Die Sehbedingungen des Tauchers“, Der Augenspiegel 8/85.
- [10] J. Keller: „Scharfe Tatsachen“, Tauchen 7/85.
- [11] Quentin M. Bennett: „Contactlens for Diving“, Australian Optometry, Jan. 1985.
- [12] Klaus Meyer-Ewert: „Grundlagen der Dekompression und Berechnungen von Dekompressionsprofilen mit Hilfe der ZH-L₁₂-Koeffizienten“. Physikalischer Ansatz zur Berechnung von Sättigung und Entsättigung in Geweben, Der Tauchlehrer 4/86.
- [13] Max Hahn: „Deko-Forschung – Warum und Wie?“ Der Tauchlehrer 4/86.
- [14] James Socks/Joseph F. Molinari: „Down to the sea in soft lenses“, Contemporary Optometry / Barnes Hind, Jan. 87 Vol. 6, No. 1.
- [15] Informationen des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands: „Damit Tauchen ein ungetrübtes Seh-Erlebnis wird“, Der Augenspiegel 8/87.

Anschrift des Verfassers:

Rainer Holland,
Hohe Bleiche 21,
2000 Hamburg 36

Zum Artikel „Formstabile Kontaktlinsen beim Tauchsport“ von R. Holland

Die Untersuchungen von Rainer Holland über „Formstabile Kontaktlinsen beim Tauchsport“ (NOJ 2/1989) sind sehr interessant und haben Bedeutung für einige Fälle, die später diskutiert werden.

Ein Kontaktlinsenadapter muß dem Fehlsichtigen stets eine zusätzliche Brille für Notfälle wie Bindehautentzündungen empfehlen. Da in den Tropen Bindehautentzündungen nicht selten sind und dort oft nicht richtig behandelt werden können, muß man konsequenterweise zur Kontaktlinse für das Tauchen mit einfacher Tauchermaske zusätzlich eine korrigierte Tauchermaske empfehlen. Ein Taucher, der sich einen teuren Tropenurlaub leistet, wird sehr enttäuscht sein, wenn er als Kontaktlinsenträger wegen einer Bindehautentzündung nicht tauchen darf, weil er keine korrigierte Tauchermaske besitzt.

Holland gibt einen gefährlichen Rat, wenn er empfiehlt, zum Schutz der Kontaktlinsen beim Ausblasen der Maske die Augen zu schließen. Der Taucher biegt dabei den Kopf nach hinten und greift mit beiden Händen an die Maske. In dieser schwierigen Situation muß er den Blickkontakt zum Tauchpartner aufrecht erhalten. Bei starker Strömung ist er sonst schnell abgetrieben.

Holland schreibt, daß nach völligem Verlust der Tauchermaske mit Kontaktlinsen wenigstens an der Wasseroberfläche volle Sehschärfe besteht. Diesen gefährlichen Unfall haben wir in vielen Jahren nie erlebt, denn nach dem Notaufstieg schlägt auch bei nur mäßig bewegter See das Salzwasser ins ungeschützte Gesicht.

Wir sahen auch nie einen fehlsichtigen Taucher mit beschlagener korrigierter Maske an Land herumlaufen. Die meisten Tauchgänge erfolgen vom Boot aus. Schon lange gibt es Spezialbehälter für korrigierte Tauchermasken mit Fach für die Brille [7].

Hollands Vorschlag, wegen der Kontaktlinsen die letzten Meter langsamer aufzutauchen, ist nicht praktikabel, weil die Tauchpartner dafür wenig Verständnis haben werden. Gerade beim Auftauchen im Meer ist es wichtig, daß die Tauchgruppe beisammen bleibt.

Der beim Tauchen am häufigsten zu korrigierende Brechungsfehler ist die Myopie. Bei frontoplenen Konkavgläsern in der Tauchermaske entstehen keine bedeutenden optischen Probleme.

Die Ausnahmen, bei denen Kontaktlinsen zum Tauchen angezeigt sein können, betreffen daher die Hyperopie. Bei Plusgläsern in Tauchermasken, d. h. bei plankonvexen Gläsern müssen alle Grundsätze einer guten Brillenoptik vernachlässigt werden, weil die konvexe Seite gegen das Auge steht [2]. Eine Maskenkorrektur über + 3 dpt ist praktisch nicht möglich.

Solche Fälle sind aber relativ selten. Bei Jugendlichen kann für die kurze Zeit eines Tauchganges (selten länger als eine Stunde) wegen der Akkommodation auf die Korrektur verzichtet oder, wenn Nahprobleme für die Instrumente (Uhr, Tiefenmesser, Kamera usw.) auftreten, unterkorrigiert werden.

Bleibt der über 3 dpt hyperope und evtl. bereits presbyope ältere Mensch. Er hat aber nicht selten enge Kammerwinkel und ist dann wegen der Gefahr eines akuten Glaukomanfalls beim Auftauchen tauchuntauglich [3, 4, 5, 6].

Auch der nach Staroperationen beiderseits Linsenlose könnte nur mit Kontaktlinsen und Presbyopiekorrektur tauchen. Jedoch hat meistens der frühzeitig beiderseits aufgetretene Graue Star medizinische Ursachen, die eine Tauchtauglichkeit ausschließen.

Hollands Hinweis, daß weltweit mit formstabilen Kontaktlinsen getaucht wird, besagt nicht viel, es wird auch mit weichen Linsen getaucht, und zum Glück führt, wie Autofahrer wissen, nicht jeder Fehler zum Unfall.

Abschließend müssen wir also weiterhin vom Tauchen mit Kontaktlinsen abraten, weil es von wenigen indizierten Ausnahmen

abgesehen unnötig ist. Holland muß bedenkliche Verhaltensweisen empfehlen, um die mit Kontaktlinsen beim Tauchen seit langem bekannten Probleme zu vermeiden, aber: „Unter Wasser können ... geringe funktionelle Unzulänglichkeiten oder ein psychisches Fehlverhalten den Tod zu Folge haben. Zwischen dem Auftreten solcher Erscheinungen und den Folgen liegt kaum die Möglichkeit der Erholung oder Korrektur des Fehlverhaltens wie das für Sport- oder Berufsarten ... über Wasser ... meist der Fall ist“ [1].

Literatur:

- [1] Ehm, O. F.: Tauchen – noch sicherer! Leitfaden der Tauchmedizin. 3. Aufl. Müller, Zürich, 1984
- [2] Kalthoff, H.: Augenärztliche Probleme beim Tauchen. Der Augenspiegel 22 (1974) 182–199, 216–229, 264–281.
- [3] Kalthoff, H.: Auge und Tauchen, Z. prakt. Augenheilk. 6 (1985) 153 bis 158, 189–194, 397–403
- [4] Kalthoff, H., John, S., Scholz, V.: Probleme des Augeninnendruckes beim Sporttauchen mit Gerät. Klin. Mbl. Augenheilk. 166 (1975) 488 bis 493
- [5] Kalthoff, H., John, S.: Verhalten des Augeninnendruckes beim Schnorcheln und Tauchen. Klin. Mbl. Augenheilk. 168 (1976) 253–257
- [6] Kalthoff, H., John, S.: Augenkrankheiten und Tauchtauglichkeit, Caisson 1 (1986) 15–18
- [7] Stehle, R.: Der Tauchsport und die Augenoptik. Dtsch. Optikerz. 34 (1979) 7–33

Dr. med. Horst Kalthoff, Berlin
Arzt für Augenheilkunde, Tropenmedizin

Stellungnahme von Herrn R. Holland zum Brief von Herrn Dr. med. Horst Kalthoff

Es ist erfreulich, wenn sich andere Spezialisten mit dem Thema Tauchen und Kontaktlinsen befassen, und so geholfen wird, eventuelle Fehler zu vermeiden.

Ich stimme Herrn Dr. Kalthoff zu, wenn er für Tauchurlaube in den Tropen zusätzlich zu den Kontaktlinsen eine Korrektionsmaske empfiehlt, da solche Urlaube aus Kostengründen selten sind und deshalb nicht mißlingen sollten.

Zu begrüßen ist es auch, daß er seine umfangreichen Arbeiten betreffs des intraokularen Drucks und Tauchen erwähnt. In meinem eng begrenzten Thema war für diese Angaben kein Spielraum.

Seine Äußerungen bezüglich des von mir Geschriebenen muß ich aber stellenweise korrigieren:

Der Blickkontakt zum Tauchpartner geht immer verloren, wenn die Maske vollschlägt. Grundsätzlich kann beim Ausblasen erst wieder gesehen werden, wenn die Hornhäute nicht mehr im Wasser sind. Für diesen Zeitraum können dann aber auch die Augen geschlossen bleiben. Um den Rest auszublasen, können die Augen, wie beschrieben, wieder normal geöffnet werden.

Wird beim Ausblasen, wie Dr. Kalthoff schreibt, der Kopf nach hinten gebogen, geht obendrein durch den Wechsel der Blickrichtung der Blickkontakt verloren, da sich der Tauchpartner sicherlich nicht dort befindet, wo die neue Blickrichtung hinzielt. Es ist nicht zu erkennen, wo ich einen „gefährlichen Rat“ gegeben habe!

Es reicht übrigens, wenn beim Ausblasen der Maske diese eigenhändig gefaßt wird. So tritt keine weitere Behinderung auf.

Es ist erfreulich, daß Herr Dr. Kalthoff noch keinen Notaufstieg nach Maskenverlust erlebt hat. Wir erlebten einen solchen Fall, allerdings handelte es sich um einen Emmetropen. Ob ihm an der Oberfläche nun Wasser ins Gesicht schlägt oder nicht, wichtig ist, daß der Betroffene möglichst gut sieht, um weiterer Panik entgegenzuwirken.

Ich behaupte, daß die meisten Tauchgänge von Land aus erfolgen, da weltweit die meisten Taucher im örtlichen Baggersee oder ähnlichen Gewässern den Sport ausüben und kein Boot benutzen. Bei solchen Tauchgängen ist der Komfort der Linsen gegenüber der

Korrektionsmaske nach Aussagen von Betroffenen eindeutig. Tauchgänge vom Boot aus sind normalerweise eher Urlaubsfreuden.

In einer Tauchgruppe wird nicht nur zusammen geblieben, sondern es wird auch immer auf den schwächsten Partner Rücksicht genommen. Warum soll dann nicht auch in den letzten zehn Metern etwas langsamer aufgetaucht werden, wo doch ohnehin sehr viele Taucher in drei Metern Tiefe eine obligatorische Sicherheitsdekompressionspause einlegen, die dann entfallen könnte? Meine Erfahrungen sind diesbezüglich nur positiv!

Sie weisen in Ihrem Zitat auf die Gefahren beim Tauchen hin und wollen dennoch bewußt einen jungen hyperopen Taucher unbedenklich ohne Korrektur oder mit optisch schlechter Unterkorrektur tauchen lassen. Würden Sie ihn so auch Autofahren lassen, obwohl das nach dem Zitat weniger kritisch ist?

Ich empfehle keine bedenklichen Verhaltensweisen, wie mir unterstellt wird, sondern ich zeige die physikalischen Zusammenhänge der möglichen Gasblasenbildungen unter stabilen Linsen und deren Vermeidung auf. Wenn daran etwas bedenklich ist, dann ist es die Tatsache des Tauchens selbst.