



Holland & Dorider
contactlinsen

Rainer Holland

Tauchen mit Kontaktlinsen

Inhalt

- Einleitung Seite 1
- Der Unterschied des Sehens in Luft und im Wasser Seite 1
- Die Sehanforderungen des Tauchers
- Korrigierende Tauchmasken Seite 2
 - Die Grenzen der korrigierenden Tauchmasken
- Kontaktlinsen unter der Tauchmaske Seite 3
- Physikalische und medizinische Grundlagen zum Tauchen Seite 4
 - Der Einfluss der Kontaktlinsen am Auge
 - Formstabile Kontaktlinsen, Gasblasenbildung
 - Weiche Kontaktlinsen
- Erste Erfolge Seite 7
- Die Aufgaben des Kontaktlinsenanpassers Seite 7
- Reservekorrektionsmittel Seite 7
- Zusammenfassung Seite 7
- SEA-U: Scharfes Sehen unter Wasser ohne Maske Seite 7
 - Das Apnoe- oder Freitauchen
 - Die Unterschiede zum Presslufttauchen
 - Die Entwicklung der SEA-U
 - Der Medienrummel
 - Die Grenzen der SEA-U
 - Zusammenfassung zur SEA-U Fotos zum deutschen Rekord 100 Meter
- Literaturnachweis Seite 10

Einleitung

Zum Tauchen werden Masken getragen, unter denen eine normale Brille nicht benutzt werden kann.

Korrektionsgläser als Maskenscheibe oder eingeklebte Gläser haben zum Teil eingeschränkte optische Qualität und sind von der praktischen Seite her für den Taucher nicht optimal.

Sind Kontaktlinsen das richtige Korrektionsmittel für Sporttaucher? Noch immer ist die Szene voller Vorurteile, Halbwissen und Unsicherheiten⁽³⁹⁾. Dieser Artikel soll dem Kontaktlinsenanpasser helfen, sein Fachwissen diesbezüglich zu vertiefen⁽⁴⁰⁾.

Zur Information des Lesers möchte ich mich kurz vorstellen: Seit 1975 arbeite ich ausschließlich mit Kontaktlinsen. Vier Jahre waren davon Tätigkeit in der Entwicklung von Kontaktlinsen. Etliche Linsenkonstruktionen wurden inzwischen von mir entwickelt. Seit 18 Jahren tauche ich. Alle 670 Tauchgänge habe ich mit Kontaktlinsen absolviert, davon ca. 600 mit formstabilen Linsen. Publikationen und Vorträge zum Thema erfolgten auch international seit 1987. In unserem Kontaktlinseninstitut haben wir inzwischen 125 Taucher mit Kontaktlinsen versorgt. Linsenverluste beim Tauchen wurden bisher noch nicht beklagt.

Der Unterschied des Sehens in der Luft und im Wasser

Die Situation in Luft

Der Flächenbrechwert der Hornhaut an Luft grenzend beträgt 50 dpt. Mit diesem Flächenbrechwert nehmen wir das Auge als rechtsichtig an.

$$D = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'_{(\text{HH})} - n_{(\text{Luft})}}{r_{(\text{HH})}} = \frac{1,376 - 1}{0,0075 \text{ m}} = 50,1 \text{ dpt}$$

Die Situation im Wasser

Der Flächenbrechwert der Hornhaut im Wasser ist 6 dpt.

$$D = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'_{(\text{HH})} - n_{(\text{H}_2\text{O})}}{r_{(\text{HH})}} = \frac{1,376 - 1,33}{0,0075 \text{ m}} = 6,1 \text{ dpt}$$

$$\begin{array}{r} 50 \text{ dpt} \\ - 6 \text{ dpt} \\ \hline = 44 \text{ dpt} \end{array}$$

Um diese 44 dpt ist das Auge ohne Maske unter Wasser hyperopisiert. Mehr als Fingerzählen in 30 cm Entfernung ist als Sehleistung nicht möglich.



Abb. 1: Ohne guten Visus könnte der Taucher seinen Partner nicht mehr erkennen (Indischer Ozean, Malediven, 10m Tiefe).



Abb. 2: Ein perfekt getarnter Steinfisch mit tödlichem Gift in den Strahlen der Rückenflosse. Fasst man schlecht sehend darauf, war es der letzte Tauchgang. Das Bild wurde nicht verwechselt. Der Steinfisch ist wirklich darauf. (Rotes Meer, Ägypten, 8m Tiefe)

Bei Verwendung einer Tauchmaske grenzen die Hornhäute wieder gegen Luft. Die plane Frontscheibe wirkt optisch neutral. Lediglich die Tatsache, dass vor der Scheibe Wasser ist, führt zu einer optischen Verzerrung. Es wird alles ein Viertel näher und ein Drittel größer wahrgenommen.

Die Sehanforderungen des Tauchers

In welchen Entfernungsbereichen muss ein Taucher gut sehen können? (21,22,24,27,29,34,41)

- Auf große Entfernungen, wenn er an der Oberfläche ist, um sein Tauchboot oder seinen evtl. weiter entfernt schwimmenden Partner erkennen zu können.
- Auf ca. 1 m bis 10 m, um unter Wasser mit dem Tauchpartner kommunizieren und die Unterwasserwelt genießen zu können (Abb. 1).
- Auf 1 m bis 5 m, um gefährliche Hindernisse, wie z. B. ein verlorenes Fischernetz oder einem Steinfisch, rechtzeitig erkennen zu können (Abb. 2).
- Im Nahbereich, um die Instrumente inklusive einer Dekompressionstabelle ablesen zu können.

Es ist zu erkennen, dass Taucher in allen Entfernungsbereichen, auch in Luft, gut sehen sollten. Dieser Umstand ist besonders hervorzuheben, da der Hörsinn zur Orientierung unter Wasser ganz ausfällt, und an der Oberfläche durch Neoprenkopfhülle und Wasser im Gehörgang eingeschränkt ist.

So richtig schön ist das Tauchen nur, wenn man alles perfekt sehen

kann. Denn der Hauptgrund zum Tauchen ist ja das Sehen unter Wasser (Abb. 3).

Tauchen ohne Korrektur

Unter welchen Voraussetzungen kann ein Fehlsichtiger unter und über Wasser ohne Korrektur ausreichend sehen? Die von Scholz⁽³⁰⁾ genannte Grenze von 50% Sehleistung ist auch meines Erachtens völlig richtig⁽²⁸⁾. Kalthoff⁽⁴⁾ gibt als Grenze 1 dpt für beidseits Kurzsichtige und 3 bis 4 dpt für jugendliche Weitsichtige an.

Vom Prinzip her ist die letztere Einteilung aber wenig sinnvoll, da nicht die Höhe der Fehlsichtigkeit, sondern die erreichte Sehschärfe das entscheidende Kriterium ist.

Korrekturmöglichkeiten

Immer wenn die Sehschärfe nicht ausreichend ist, sollte sich der Taucher

darum kümmern, dass er zur Ausübung dieses Sportes besser sehen kann. Dazu kann er sinnvollerweise Kontaktlinsen oder eine Maske mit Korrektionsgläsern benutzen.

Korrigierende Tauchmasken

Die Begrenzung der Maske zum Wasser muss eine Planfläche sein, um über und unter Wasser die gleichen optischen Ergebnisse zu erzielen.

Es werden Korrektionsgläser mit planen Vorderflächen verwendet oder man klebt solche Gläser auf die Innenseiten von Tauchmasken.

Der sicherlich häufigste Weg eines Tauchers ist beispielsweise der, in das Tauchgeschäft zu gehen, und zu sagen, er habe rechts -6,5 und links -5,25. Der Verkäufer sucht nun Gläser mit -6,5 und -5,0 oder -5,5 heraus,



Abb. 3: Dieser kleine 10-cm-Kerl drückt sich in die nesselnden Tentakeln der Seeanemone, deren Nesselgift er aufnimmt und damit für Fressfeinde ungenießbar wird (Rotes Meer, Ägypten, 8m Tiefe).

setzt diese runden Gläser in die Maske ein und schon ist die Welt „in Ordnung“. Vielleicht wird auch ein Brillenpass vorgelegt, der so schrecklich viele Zahlen enthält, dass der Verkäufer sich auf die ersten beschränkt.

Der übergroße Abstand vom Auge zur Maskenscheibe, Augenabstand, Zylinder, Achse und Prisma fallen dabei großzügig unter den Tisch.

Viel besser geht es beim Augenoptiker, bei dem die optischen Fakten alle richtig umgesetzt werden und Korrektionsmasken entstehen, die viel besser sind. Einige Probleme lassen sich aber grundsätzlich nicht abstellen: Der große Abstand der Maskenscheibe, der die Eigenvergrößerung oder Verkleinerung der Gläser beträchtlich werden lässt, und die Verzerrungen, die vor allem bei zylindrischen Gläsern zunehmen.

Die ungünstigen Abbildungseigenschaften der Gläser durch die Planflächen sind bei höheren Pluswerten (die konvexe Seite ist dem Auge zugekehrt) erheblich. Ab +3,0 dpt ist eine solche Maske nicht mehr akzeptabel. Die ohnehin vorhandene Einschränkung des Gesichtsfeldes wird unter Umständen noch stärker. Der verwendete Kleber kann schlierig sein, Blasen enthalten, sich partiell lösen, eintrüben oder sich verfärben. Alle Punkte können zum Teil erhebliche Sehstörungen verursachen.^(3, 5, 6, 11, 12, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 24, 27, 29, 34)

Es sollte ein Augenoptiker aufgesucht werden, der sich mit solchen Tauchmasken wirklich auskennt.

Rudolf Stehle hat auf diesem Gebiet großartiges geleistet, die Erkenntnisse immer wieder publiziert^(6, 7, 16, 25, 39)

und in Kursen an andere Augenoptiker vermittelt. An dieser Stelle möchte ich ihm dafür meine Anerkennung aussprechen.

Grundsätzlich könnte man auch ein Brillenmittelteil mit Gläsern in einer Maske befestigen. Die optischen Ergebnisse sind sehr gut. Nachteile sind der geringe Platz in einer Maske, der eine Montage oft nicht zulässt und das Problem des Beschlagens und der komplizierten Reinigung. Für innovative Systeme dieser Art ist sicherlich noch ein Markt vorhanden.

Die Bewegungsfreiheit eines Tauchers mit Korrektionsmaske vor den Augen ist an Land oder im Boot, auf dem es

ja zum Teil recht eng sein kann, sehr behindert, da das Gesichtsfeld, besonders nach unten, stark eingeschränkt ist.

Die Grenzen der korrigierenden Tauchmasken

Folgende Fehlsichtigkeiten können mit korrigierenden Masken nicht oder nur unzureichend ausgeglichen werden:

- Hohe Hyperopien,
- sehr hohe Myopien,
- hohe Astigmatismen,
- Aphakien,
- Keratokonus,
- Keratoplastiken mit irregulären Oberflächen,
- Hornhautnarben,
- irreguläre Astigmatismen.

Kontaktlinsen unter der Tauchmaske

Alle Nachteile und Einschränkungen der korrigierenden Masken gibt es beim Tragen von Kontaktlinsen nicht!

Die Linsen simulieren quasi das Sehen ohne Sehfehler. Lediglich Phorien können mit Kontaktlinsen nicht korrigiert werden. Ob es jemals in einer korrigierenden Maske notwendig war oder erfolgreich durchgeführt wurde, sei dahingestellt.

Warum werden zum Tauchen selten Kontaktlinsen empfohlen?

Die Vorurteile oder mangelndes Wissen:^(1, 2, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 28, 35, 37, 39)

- 1) Angeblich werden Kontaktlinsen unter Wasser verloren.
- 2) Angeblich kann man mit Kontaktlinsen die Maske nicht ausblasen.
- 3) Angeblich presst der hohe Wasserdruck die Linsen zu sehr auf die Augen.
- 4) Angeblich sollen sich unter formstabilen Linsen kritische Gasblasen bilden.

Die folgenden Texte sollen helfen, die Fakten zu verstehen.

Zu 1)

Dem Vorurteil nach werden alle, aber besonders formstabile Kontaktlinsen leicht im Wasser verloren oder bringen andere Probleme. Dieses ist sicherlich richtig, wenn man einen Leistungsschwimmer mit Linsen, aber ohne Schwimmbrille ausrüstet. Die hohen Turbulenzen, die beim Durch-

pflügen des Wassers entstehen, können alle Linsen aus den geöffneten Augen spülen. Einen Windsurfer hingegen kann man gut mit Linsen ausrüsten, da er beim Sturz ins Wasser reflektorisch die Augen schließt. Beim normalen Baden kann jede Art von Kontaktlinsen benutzt werden, wenn der Träger nur daran denkt, bei einer Wasserschlacht oder unter Wasser die Lider etwas zuzuziehen. Die Lider liegen dann sicher auf den Linsen und halten diese auch im Wasser fest. Das gleiche gilt für einen Taucher beim Training oder beim Tauchgang, wenn er die Maske abnimmt.

Die Praxisversuche und eine Umfrage

Wir haben mit verschiedenen Arten von Linsen 50 Meter Streckentauchen mit Gerät, aber ohne Maske durchgeführt. Bei zu Schlitzten zugezogenen Lidern wurde auf dieser Strecke keine Linse verloren. Lediglich bei normal geöffneten Augen wurde eine formstabile Linse verloren. Dieser Taucher litt aber zu dem Zeitpunkt an einer Gesichtsnervenlähmung, so dass die Lidmotorik behindert war. Da die 50 m Strecke der maximalen Auftauchstrecke eines Sporttauchers entspricht, sind diese Versuche aussagekräftig.

R. Hübner hat Anfang 1996 diesen Versuch mit weichen Linsen wiederholt und die gleichen Ergebnisse erhalten.^(20, 21, 22, 24, 26, 27, 29, 33, 34, 36, 38, 40)

Eine in verschiedenen Tauchzeitschriften, auch ausländischen, veröffentlichte Bitte um Erfahrungsberichte erbrachte die gleichen Ergebnisse. Das heißt, der wissende Taucher hat seinen Vorteil, der unwissende Taucher hat dagegen sein Vorurteil.

Mit einem einfachen Versuch kann man zu Hause feststellen, wie sicher die Linsen diesbezüglich sind. In einen großen Behälter wird Wasser gefüllt und der Kopf hineingetaucht (evtl. Schnorchel und Nasenklemme benutzen) (Abb. 4). Es werden nun die Augen normal geöffnet und Lidschläge durchgeführt. Zusätzlich können durch Kopfbewegungen oder mit den Händen Turbulenzen erzeugt werden. Nach diesem Versuch weiß man, wie sicher die Linsen sitzen. Selbst formstabile Linsen, wenn es parallel angepasste asphärische sind, werden dabei kaum vom Auge gespült. Sollte



Abb. 4: Es darf auch eine Badewanne sein.

eine Linse fortgespült worden sein, so liegt sie in dem Behälter und kann gefunden werden. Wenn der Versuch mit zu Schlitzten geschlossenen Augen wiederholt wird, wird keine Linse vom Auge gespült.

Weitere Vorteile der Kontaktlinsen beim Tauchen ergeben sich in der Situation des Maskenverlustes unter Wasser. Da die Linsen beim Verlust der Maske unter Wasser behalten werden, bleibt auch die Korrektur erhalten. Wird dagegen eine Maske mit Korrektionsgläsern verloren, so hat man auch seine Korrektur verloren.
(20,21, 22, 24, 27, 29, 33, 34, 36)

Solange man unter Wasser ist, spielt das keine Rolle, da man bekanntlich ohne Maske dort nur sehr unscharf sieht.
(3, 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14)

Nach dem Auftauchen entsteht der entscheidende Unterschied: Der Linsenträger ist an der Oberfläche voll handlungsfähig, während der Taucher, der seine Korrektionsmaske verloren hat, je nach Größe und Art der Fehlsichtigkeit mehr oder weniger auf seinen Tauchpartner angewiesen ist. Das Verlustrisiko für Kontaktlinsen ist beim Tauchen nüchtern betrachtet kleiner als das Verlustrisiko der Maske, da erst die Maske verloren sein muss, bevor eine Linse fortgespült werden kann.

Zu 2)

Das Ausblasen einer Tauchmaske ist mit allen Kontaktlinsen völlig unproblematisch, da dabei die Augen ebenfalls leicht zugezogen oder geschlossen werden können.

Beim plötzlichen Wassereinbruch schließt man reflektorisch die Augen. Nach dem Schreck kann man wieder

die besagten Schlitzte machen, die Maske ausblasen und den Tauchgang fortsetzen.

Zu 3)

In der Tauchmaske herrscht durch Druckausgleich der gleiche Druck wie im Wasser und im Tränenfilm hinter der Linse, also kann keine Linse ange-drückt werden, es sei denn, sie ist total falsch, (steil) angepasst worden.

Zu 4)

Beim Auftauchen können sich Gasblasen unter formstabilen Linsen bilden, auf die weiter hinten ausführlich eingegangen wird. Keinesfalls können die Blasen so groß werden, dass sich die Linsen verschieben oder gar abfallen.

Physikalische und medizinische Grundlagen zum Tauchen

Zunächst müssen wir uns mit etwas Physik und Medizin befassen, um den Einfluss der Kontaktlinsen am Auge genauer beleuchten zu können.

Druckverhältnisse

Die Betrachtungsweise in Druckverdoppelungen erleichtert das Verständnis des nächsten physikalischen Zusammenhanges (Abb. 5).

An der Oberfläche hat der Luftdruck 1 bar. Eine 10 m hohe Wassersäule übt ebenfalls einen Druck von 1 bar aus. In 10 m Wassertiefe wirken somit 2 bar Druck: 1 bar Luftdruck plus 1 bar Wasserdruck = 2 bar. Gegenüber dem Druck an Land ist dies eine Verdoppelung. Die nächste Verdoppelung ergibt sich in 30 m Tiefe. Wir

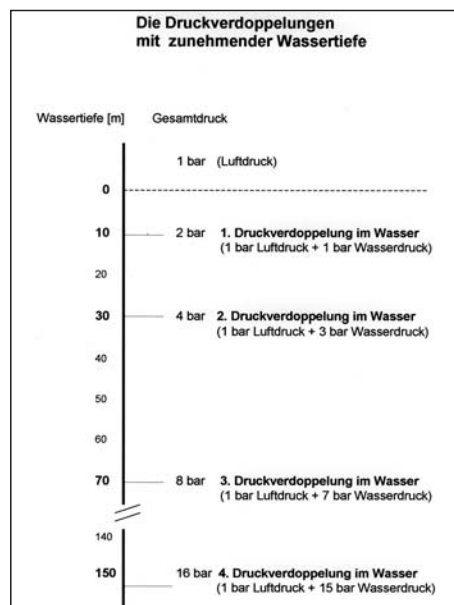


Abb. 5

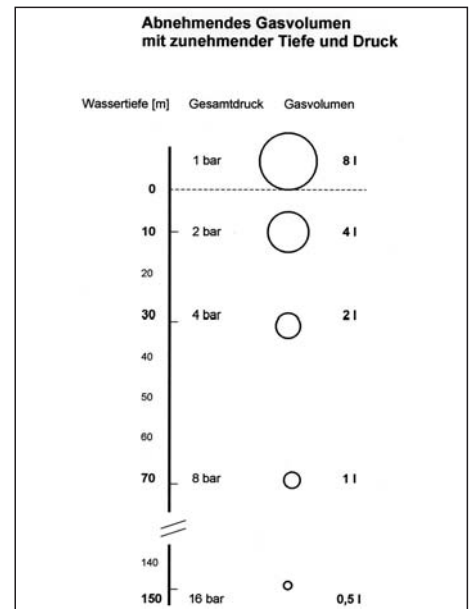


Abb. 6

haben in 10 m Tiefe bereits 2 bar, dazu kommen nun weitere 20 m Wassersäule, also wieder 2 bar, macht 4 bar. Die nächste Verdoppelung finden wir dann erst wieder in 70 m Tiefe. Wir haben in 30 m 4 bar, dazu kommen 40 m Wassersäule mit 4 bar, was insgesamt 8 bar ausmacht.

Gasblasengrößen

Das Gesetz von Boyle-Mariotte besagt, dass sich das Volumen eines eingeschlossenen Gases umgekehrt proportional zum Druck verhält.

Betrachten wir die Sache wieder aus der Sicht der Verdoppelungen (Abb. 6). Haben wir an der Oberfläche einen Luftballon mit 8 l Inhalt, und bringen ihn auf eine Tiefe von 10 m, wo die erste Verdoppelung des Druckes vorliegt, so halbiert sich das Volumen des Luftballons auf 4 l. Bringen wir den Ballon nun auf 30 m, wo sich der Druck erneut verdoppelt, so reduziert sich das Volumen des Ballons wieder auf die Hälfte, so dass wir nur noch 2 l Inhalt haben. In 70 m Tiefe geschieht es noch einmal, so dass dann schließlich nur noch 1 l im Ballon ist. Die nächste Verdoppelung erreichen wir in 150 m Tiefe, die für Presslufttaucher tabu ist.

Umgekehrt läuft es ab, wenn man auftaucht: Der Ballon wird entsprechend der abnehmenden Tiefe das Volumen vergrößern.

Lösung von Gasen im Körper

Nun ist noch einmal Physik notwendig. Unter Wasser atmen wir aus dem Tauchgerät Pressluft mit dem gleichen Druck wie dem Umgebungsdruck. In

der Lunge löst sich die Pressluft im Blutplasma. Ein Teil des Sauerstoffes wird an die roten Blutkörperchen gebunden und löst sich nicht im Blut. Vom Blut wandern die Gasmoleküle in den übrigen Körper. Dieser Lösungsvorgang ist abhängig von der Art des Gewebes und von einer vorliegenden Lösungsdruckdifferenz. Es gibt Gewebearten (Kompartimente = theoretische Gewebe) in denen sich Gase sehr schnell lösen und solche in denen sich Gase langsam lösen.

Die Lösungsgeschwindigkeit gibt man sinnvollerweise in Halbsättigungszeiten an.

Unter Halbsättigungszeit versteht man die Zeit, in der sich eine vorhandene Lösungsdruckdifferenz halbiert hat ^(15, 19, 22, 24, 27, 29, 34)

Bei der Lösung von Gas im Tränenfilm, in der Linse und in der Hornhaut liegen etwas andere Voraussetzungen vor, als im übrigen Körper.

a) In der Hornhaut wird sehr wenig Sauerstoff verbraucht. Es lösen sich der Sauerstoff, das Kohlendioxid und der Stickstoff in der Hornhaut, im Tränenfilm und in der Linse. Im Körper sieht es etwas anders aus: Da der gesamte eingeatmete Sauerstoff verstoffwechselt und als Kohlendioxid ausgeatmet wird, löst sich lediglich der Stickstoff im Körper. Im Körper lösen sich somit 79% der eingeatmeten Pressluft, in der Hornhaut lösen sich alle Gase der in der Maske vorhandenen Pressluft, also 100%.

b) Eine weitere Abweichung kommt dadurch zustande, dass durch den Druckausgleich in der Maske, der ja mit ausgeatmeter Pressluft durchgeführt wird, der Anteil von Sauerstoff gegenüber von nicht geatmeter Pressluft kleiner ist, der Anteil des Kohlendioxids dafür aber größer ist. Die beiden letzten Verschiebungen halten sich die Waage.

Der Einfluss der Kontaktlinsen am Auge

Das Kompartiment Hornhaut, Tränenfilm und formstabile gasdurchlässige Linse hat nach meinen bisherigen Ermittlungen eine Halbsättigungszeit von 2 bis 5 Minuten für den Gesamtgasdruck. Die Halbsättigungszeiten für die Lösung von Stickstoff im Blut und Zentralnervensystem sind ca 2,5 Minuten, also recht ähnlich ^(9, 15, 35, 36)

Für das Kompartiment Hornhaut, Tränenfilm und weiche Linsen ist eine Halbsättigungszeit von über 30 Minuten anzusetzen ^(20, 22, 24, 27, 29, 35, 36)

Die großen Unterschiede dieser Werte zwischen formstabilen und weichen Linsen liegt in erster Linie an der unterschiedlichen Tränenaustauschrate unter den Linsen. Eine formstabile Linse wird, wenn sie richtig angepasst ist, beim Lidschlag sehr gut unterspült, während es unter weichen Linsen praktisch keine Austauschrate gibt. In zweiter Linie ist die Größe der abgedeckten Fläche zu nennen. Bei formstabilen Linsen gibt es, bedingt durch die Bewegung der Linse, nur eine kleine Fläche, die immer von der Linse bedeckt ist. Bei einer weichen Linse ist dagegen die Hornhaut permanent vollständig bedeckt. Die Gaszufuhr zur Hornhaut ist unter weichen Linsen somit erheblich behindert, während es bei formstabilen Linsen nur in geringem Maß der Fall ist. Bei einem normalen Tauchgang von z. B. 45 Minuten auf max. 30 m Tiefe, kann sich unter weichen Linsen nur wenig Pressluft in der Hornhaut und dem Tränenfilm gelöst haben, da die Tauchzeit im Verhältnis zur Halbsättigungszeit kurz ist (45 Minuten Tauchzeit zu 30 Minuten Halbsättigungszeit). Bei stabilen Linsen hingegen kommt es zu einer nennenswerten Gaslösung, da die Tauchzeit im Verhältnis zur Halbsättigungszeit lang ist (45 zu 2 bis 5 Minuten) und eine Sättigung des Kompartimentes entsteht. Aus diesen Fakten lässt sich rückschließen, wie unterschiedlich gut die Versorgung der Hornhäute unter weichen und gasdurchlässigen stabilen

Linsen ist. Das gilt auch für das Linsestragen an Luft. Diese Unterschiede werden in der Praxis bestätigt.

Formstabile Kontaktlinsen, Gasblasenbildung

Wie im Körper kann auch im Kompartiment Hornhaut, Tränenfilm und formstabile gasdurchlässige Linse, Gas ausperlen, wenn zu schnell aufgetaucht wird. Im Körper befinden sich die Gasblasen hauptsächlich im Blut und können dort, wenn sie sich zu schnell vergrößern, Gefäße blockieren (Abb. 7).

Am Auge befinden sich die Gasblasen dann im Tränenspalt (Abb. 7). Sind sie kleiner, als der Tränenfilm dick ist, so können sie beim Lidschlag problemlos ausgespült werden. Geschieht das nicht, so werden sie mit abnehmender Tiefe immer größer und können eingeklemmt werden. Werden sie nun durch einen weiteren Aufstieg noch größer, so drücken sie kleine Dellen in die Hornhaut.

Visuell sind diese Gasblasen als „Nebelsehen“ zu registrieren. Haben sich sehr viele Gasblasen im zentralen Hornhautbereich gebildet, so kann die Sehschärfe beträchtlich abnehmen. Sie wird aber nicht unter 40% sinken, was zur Orientierung und zum Ablesen der Instrumente ausreichend ist.

Dass es sich bei diesem Nebelsehen um Gasblasen und nicht um Ödeme handelt, ist leicht zu überprüfen ^(17, 20, 21, 22, 24, 27, 29, 30, 34)

Nimmt man die Linsen in einem solchen Fall über Wasser vom Auge, so stellt man einen weiteren, drastischen

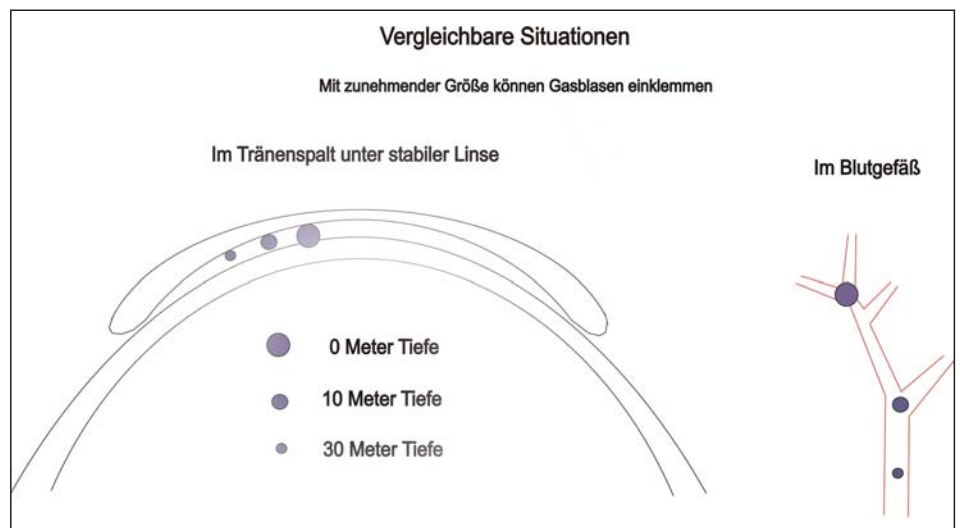


Abb. 7

Sehschärfeverlust fest, der durch die momentan durch Dellen irreguläre Hornhautoberfläche verursacht wird. Werden nun die Linsen nass aufgesetzt, so füllen sich die Gasblasenabdrücke mit Flüssigkeit. Die optischen Dichten von Hornhaut und Flüssigkeit sind nahezu gleich, so dass die Dellen fast neutralisiert werden. Durch diesen Umstand ist spontan eine normale Sehschärfe wieder hergestellt.

Wären es Ödeme, also Nebelsehen durch Stoffwechselstörungen, so könnte sich die Sehschärfe durch diese Maßnahme nicht verbessern.

Werden die Linsen nicht abgenommen, so verliert sich das Nebelsehen von allein in 10 bis 30 Minuten, da das Gas dann im Tränenfilm in Lösung gegangen ist, und die Gasblasenabdrücke mit Tränenflüssigkeit gefüllt sind. Angebliche Hornhautveränderungen durch häufiges Tauchen⁽³¹⁾ sind mir nicht bekannt geworden.

Verhinderung von Gasblasen unter formstabilen gasdurchlässigen Linsen

Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass der Lidschlag nicht unterdrückt wird, da sonst eventuell entstehende Mikroblasen nicht aus dem Tränen-spalt ausgespült werden können. Dieser Spülvorgang ist mit der Fließbewegung des Blutes vergleichbar. Wird nicht gezwinkert, bleiben die Mikrobläschen ortstabil und werden bei der unvermeidlichen Vergrößerung beim weiteren Auftauchen einklemmen und die besagten Gasblasenabdrücke in der Hornhaut verursachen.^(34, 38)

Leider zwinkern einige Taucher zu wenig. Ursache dazu sind:

- Die 100%ige Luftfeuchtigkeit in der Maske, die die Verdunstung des Tränenfilms verhindert, so dass kein Trockengefühl am Auge entsteht.
- Die Faszination unter Wasser, die einige Taucher „glotzen“ lässt.
- Die eventuelle Angst unter Wasser, die zu einer Blickstarre führt.

Der Taucher mit formstabilen Linsen muss lernen, unter Wasser weiterhin oft zu zwinkern. Dieser Lernvorgang ist leicht möglich, wenn man weiß worum es geht.

Wenn so langsam aufgetaucht wird, dass das gelöste Gas im Tränenfilm nicht ausperlt, so entsteht auch kein Nebelsehen^(21, 22, 24, 27, 29, 34).

Rückgängigmachung von Gasblasen unter stabilen gasdurchlässigen Linsen

Stellt man z. B. in 3 m Tiefe fest, dass sich Gasblasen hinter den Linsen gebildet haben, so kann man, wenn es die Situation zulässt, erneut auf 10 bis 15 m abtauchen. Die Blasen werden sehr schnell verschwinden. Manz⁽³²⁾ hat die Erklärung dafür geliefert. Die Praxis bestätigt es.

Die logisch zu folgernden Aussagemöglichkeiten:

- Bei nicht vorhandenem Nebelsehen ist auch mit großer Wahrscheinlichkeit kein Gas im Blut ausgeperlt, da die Halbsättigungszeiten sehr ähnlich sind^(21, 22, 24, 27, 29, 34, 35).
- Hat man keine Gasblasen im Blut, so ist man keinem Dekompressionsrisiko ausgesetzt, da für Tauchgänge von Sporttauchern im Prinzip nur die Kompartimente mit kurzen Halbsättigungszeiten wichtig sind. Tauchgänge, die so tief und lang sind, dass die langsameren Kompartimente sich nennenswert mit Gas sättigen, kommen praktisch nicht vor. Die Tauchgänge werden in aller Regel nicht tiefer als 30 m und nicht länger als 45 Minuten sein.
- Hat man Nebelsehen, so hat man mit großer Wahrscheinlichkeit auch Gasblasen im Blut. Der Folgetauchgang sollte entsprechend gestaltet werden. In diesem Zusammenhang ist es interessant, dass das Nebelsehen als negativ betrachtet wird, das parallel ablaufende Problem im Körper aber ignoriert wird. Man sollte froh sein, dass es einen solchen visuellen Indikator gibt, und nicht die Linsen als ungeeignet zum Tauchen darstellen. Die GTÜM (Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin)⁽³⁴⁾ spricht 1993 noch von absoluter Kontraindikation für formstabile Kontaktlinsen. Seit 1998 haben sich die Richtlinien geändert⁽⁴²⁾. Es gilt dort nun eine relative Kontraindikation für formstabile Kontaktlinsen in Abhängigkeit von der Gasdurchlässigkeit. An dieser Formu-

lierung ist zu erkennen, dass die Zusammenhänge nicht erkannt wurden. Die Höhe der Gasdurchlässigkeit spielt eine völlig untergeordnete Rolle. Die wichtigen Kriterien werden nicht genannt.

- Es ist zu überlegen, ob ausbildende Tauchlehrer mit formstabilen Linsen gut beraten sind, da doch öfter mal ein Schüler zu schnell auftaucht und der Tauchlehrer hinterher muss, um ihn wieder herabzuziehen. Auch ist es nicht leicht, den Beginner schon beim ersten Tauchgang zum richtigen Auftauchen zu erziehen. Er wird in der Regel zu schnell sein. Das darf dem Tauchlehrer aber nicht die Sicht vernebeln.

Aufstiegsgeschwindigkeiten

Es gibt unterschiedliche empfohlene Aufstiegsgeschwindigkeiten (Abb. 8). In Deutschland wird vom VDST (Verband deutscher Sporttaucher e.V.) 10 m/min angegeben. Diese konstante Aufstiegsgeschwindigkeit bedeutet, dass von 70 m Tauchtiefe auf 30 m die Druckhalbierung in 4 Minuten geschieht, was ein sehr guter Zeitraum ist.

Von 30 m auf 10 m wird die Druckhalbierung jedoch in 2 Minuten erreicht, was ein knapper Zeitraum ist.

Von 10 m bis zur Oberfläche wird die Druckhalbierung in nur 1 Minute erreicht, was deutlich zu schnell ist.

Es ist zu erkennen, dass bei konstanter Aufstiegsgeschwindigkeit in Relation zur Druckreduzierung, bei abnehmender Tiefe immer schneller aufgetaucht wird. Die letzten 15 m bis 20 m werden dadurch eigentlich immer zu

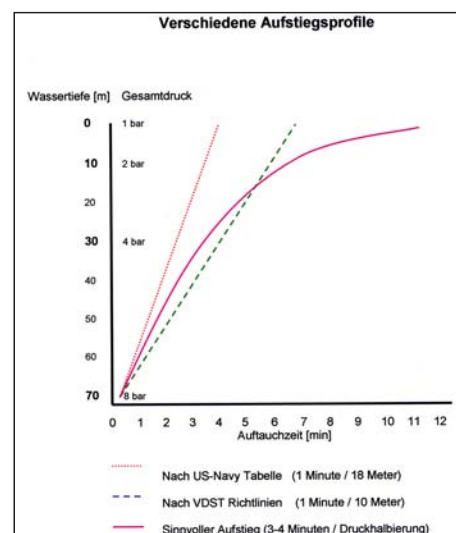


Abb. 8

schnell zurückgelegt. Um das Problem zu mindern, werden so genannte Dekompressionsstopps empfohlen. Diese Stopps könnte man sich ersparen, wenn man mit abnehmender Tiefe immer langsamer auftauchen würde. Ideal ist eine Reduzierung der Auftauchgeschwindigkeit derart, dass sich keine Gasblasen bilden können (Abb. 8).

Sinnvolles Auftauchen mit formstabilen Linsen

Grob gesagt sollte die Aufstiegs geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Tiefe so klein sein, dass sich pro Druckhalbierung eine Aufstiegszeit von 3 bis 4 Minuten ergibt, weil das der Halbsättigungszeit des Kompartimentes Auge mit formstabiler Linse und der des Blutes entspricht. In der verstreichenden Aufstiegszeit halbieren sich dabei sowohl der Umgebungsdruck als auch der Gasdruck im Kompartiment. Der Gasdruck im Kompartiment wird nicht größer, so dass keine Gasblasen entstehen können. Von 70 m auf 30 m (40 m Strecke) müssten genauso 3 bis 4 Minuten vergehen wie von 30 m auf 10 m (20 m Strecke). Die letzte Strecke von 10 m auf 0 m erfordert ebenfalls 3 bis 4 Minuten, auch wenn man meint, dass man schon oben ist!

Weiche Kontaktlinsen

Wenn man es sich als Anpasser einfach machen will, so kann man den Tauchern immer weiche Linsen abgeben. Ein Sauerstoffmangel wird beim Tauchen nicht entstehen können, da der Sauerstoffpartialdruck schon in 10 m Tiefe doppelt so hoch ist wie an Land. Ein schlechter Tränenfilm spielt auch keine große Rolle, da die Luftfeuchtigkeit in der Maske sehr hoch ist und die Verdunstung des Tränenfilms entsprechend klein ist. Gasblasen unter den Linsen wird es nicht geben.

Erste Erfolge

Es hat sich offensichtlich gelohnt, das Thema immer wieder aufzurollen. Die negativen Berichte nehmen ab, obwohl es auch heute noch so genannte Fachleute gibt, die die Tatsachen nicht verstehen wollen oder mit ungeeigneten Versuchen Beweise führen wollen.^(37, 39)

- Die Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin hat die absolute Kontraindikation für harte Kontaktlinsen inzwischen aufgegeben.⁽⁴¹⁾
- Einige moderne Tauchcomputer rechnen bei abnehmender Tiefe mit abnehmenden Auftauchgeschwindigkeiten und warnen auch, wenn zu schnell aufgetaucht wird.
- Immer mehr Taucher benutzen Kontaktlinsen und keine korrigierenden Masken.

Die Aufgaben des Kontaktlinsenanpassers

Er muss dem Taucher die oben genannten Zusammenhänge bei den formstabilen Linsen erläutern oder diesen Artikel als Kopie überreichen. In den Fällen, in denen schon gasdurchlässige formstabile Linsen getragen werden oder angepasst werden sollen, muss darauf geachtet werden, dass sich kein Tränensee unter den Linsen befindet, aus dem entstandene Mikroblasen nicht ausgespült werden. Es eignen sich am besten parallel angepasste, individuell asphärische, hochgasdurchlässige Linsen.

Taucher mit solchen Linsen haben den Vorteil, beobachten zu können, ob sie physiologisch günstig aufgetaucht sind^(34, 35). Diesen Vorteil möchte ich persönlich nicht mehr missen. Können weiche Linsen getragen werden, so kann es sich der Anpasser etwas leichter machen, da dem Taucher lediglich klar gemacht werden muss, dass die Verlustgefahr nicht gegeben ist, der Druck keine Rolle spielt und die Maske mit geschlossenen Augen ausgeblasen werden kann. Die Übergabe einer Kopie dieser Zeilen ist ratsam, da der betreffende Taucher dann in aller Ruhe nachlesen kann, um was es geht.

Reservekorrektionsmittel

Reservebrillen und Reservelinsen gehören ins Reisegepäck. Wenn es sich um eine spezielle Tauchreise handelt und eine korrigierende Maske benutzt wird, so gehört auch eine solche Reservemaske dazu.

Für diejenigen die Ängste haben, beim Tauchen die korrigierende Maske oder die Kontaktlinsen unter Wasser zu verlieren, gibt es eine Lösung für das Sehen nach dem Auftauchen. Eine einfache korrosionsbe-

ständige Brille wird in einem druckfesten kleinen Behälter, den es im Tauchfachgeschäft gibt, im Tarierjackett mitgeführt. Sollte es nötig sein, kann sie dann an der Oberfläche benutzt werden.

Solch eine Brille kann auch benutzt werden, um sicher ins Wasser zu gelangen, für den Fall, dass eine Korrektionsmaske benutzt wird und vor dem Abtauchen längere oder unsichere Wege zurückzulegen sind. Sobald man im Wasser steht wird die Brille verstaut und die Korrektionsmaske aufgesetzt.

Zusammenfassung

Tauchen ohne Korrektion der Fehlsichtigkeit ist nicht sinnvoll. Es können korrigierende Masken oder Kontaktlinsen benutzt werden. Die Kontaktlinsen haben dabei mehr Vorteile als die Masken. Werden formstabile Linsen getragen, ergeben sich weitere Aspekte, die sinnvoll genutzt, zusätzliche Informationen liefern. Weiche Linsen unter den Masken sind die einfachste Lösung.

SEA-U:

Scharfes Sehen unter Wasser ohne Maske

Die gesamte bis hierher erfolgte Darstellung bezog sich auf das Tauchen mit Pressluftatmung.

Das Apnoe- oder Freitauchen

Apnoetauchen (Apnoe = Atemlosigkeit) ist Tauchen, ohne dabei zu atmen. Die an der Oberfläche eingeatmete Luft wird angehalten. Seit einigen Jahren erfährt diese Art des Tauchens, die auch Freitauchen genannt wird, eine gewisse Wiederbelebung. Bevor es Taucherglocken oder Presslufttauchgeräte gab, konnte nicht anders als frei getaucht werden. Man denke an die Leistungen der Perlen- und Schwammtaucher, die teilweise heute noch so arbeiten. Informationen zum Apnoetauchen gibt es unter anderem im Internet bei www.benjamin-franz.de und www.unterwasserwelt.de, dort bei Apnoe.

Die Unterschiede zum Presslufttauchen

- 1) Die Tauchzeiten sind sehr kurz. Da ein Mensch, ohne zu atmen, nicht sehr lange überleben kann,

ist die Tauchzeit auf wenige Minuten beschränkt. Die Höchstzeiten der Apnoe liegen bei ca. 7 Minuten ohne Körperbewegung und ca. 4 Minuten mit Körperbewegungen. Es wird nie lange in größeren Tiefen verweilt, somit spielt die Gasanreicherung im Körpergewebe keine Rolle.

- 2) Beim Auftauchen kann es zu Ohnmachten oder Krämpfen kommen. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Sauerstoffpartialdruck der angehaltenen Luft zu, was zu einer stärkeren Lösung im Blutplasma und damit zu einer erhöhten Stoffwechselung führt. Wird nun wieder aufgetaucht, sinkt der Sauerstoffpartialdruck womöglich so tief, dass eine Ohnmacht eintritt oder es zu Krämpfen kommt. Beide Reaktionen sind unter Wasser lebensbedrohend und müssen unbedingt vermieden werden.
- 3) Der Druckausgleich wird mit zunehmender Tiefe problematischer. Das Boyle-Mariottesche Gesetz lehrt uns, dass das Luftvolumen in der Lunge in großer Tiefe so klein wird, dass keine Luft mehr in die Mittelohren oder in die Tauchmaske befördert werden kann. Ab ca. 30 m Tiefe ist ein Druckausgleich in der Maske nicht mehr möglich. In den Ohren muss er immer möglich bleiben, da sonst die Trommelfelle reißen würden. Noch vor wenigen Jahren galt eine Tiefe von 30 m als absolute Tiefengrenze, da danach das Volumen der Lunge so klein wird, dass die Lungenbläschen verkleben müssen.

Durch das Einsetzen des „Bloodshift“, Blutserum füllt die Zwischenräume der Lungenbläschen, wird das Kollabieren der Bläschen offensichtlich verhindert. Ohne gutes Training ist aber die Grenze von 30 m immer noch gültig. Die medizinischen Zusammenhänge sind noch nicht alle geklärt.

Die Entwicklung der SEA-U

Es soll bei der französischen Marine in der Zeit des zweiten Weltkrieges Versuche gegeben haben, bei denen Skleralschalen mit planer Vorderfläche zum Tauchen verwendet wurden. Solche Linsen sind monokulare Minitaucherbrillen. Der Druckausgleich darunter findet nicht statt, und das Material muss sehr dick sein, damit

der Wasserdruck die Linsen nicht implodieren lässt. Die Anwendung beschränkte sich demnach nur auf sehr geringe Tiefen. Die prismatischen Wirkungen bei gegeneinander gekippten Vorderflächen können erheblich werden.

Im Frühjahr 1999 rief mich der Freitaucher Benjamin Franz (Abb. 9) an und fragte mich, ob ich ihm Linsen fertigen könnte, die ihm das Sehen unter Wasser ohne Maske ermöglichen würden. Ich versprach ihm, darüber nachzudenken.



Abb. 9: Benjamin Franz bei seinen Freunden. Die SEA-U gehören dazu.

Die Herausforderung

Da war sie nun, die große Herausforderung. Ein Kontaktlinsenspezialist, der zwar schon verschiedene erfolgreiche Linsenkonstruktionen entwickelt hatte, wollte nun das als unmöglich geltende erreichen. Es musste optisches Neuland betreten werden.

Wie zu Anfang dieses Artikels dargestellt, ist das Korrektionsdefizit unter Wasser ca. 44 dpt, wenn keine Maske benutzt wird. Es muss eine Optik geschaffen werden, die gegenüber Wasser 44 dpt erbringt. Der damalige Weg der französischen Marine verbietet sich aus den oben genannten Gründen. Ein flüssigkeitsgefülltes System hätte den Vorteil der absoluten Druckfestigkeit. Flüssigkeitsgefüllte Systeme sind z. B. weiche Lin-

sen. Der Nachteil sind die geringen Brechzahlunterschiede gegenüber Wasser, da die Materialien selbst Wasser enthalten. Es müssen extrem stark brechende Linsen sein, um im Wasser 44 dpt zu ermöglichen.

- Nicht kalkulierbar war für mich das Problem der Hauptebenenverlagerung im System Auge mit solch starken Linsen.
- Ob es eine Herstellungstechnologie gibt, war ebenfalls offen.
- Ungeklärt war auch die Zentrierung derart starker Linsen.
- Die absolute Sicherheit gegen Verlust musste ebenfalls erreicht werden, da sie in lebensbedrohlichen Tauchsituationen benutzt werden sollen.

Bei einem gängigen Weichlinsenmaterial kommt eine notwendige Stärke von ca. 200 dpt in Luft gemessen heraus. In ersten Tests waren solche Linsen aber noch viel zu schwach. Je nach Auge sind 230 bis 250 dpt notwendig! Bei solch hohen Stärken sind optische Zonen von ca. 2,5 mm das Maximum. Die Höhe der Optik ist dabei ca. 2 mm, also fast eine Halbkugel (Abb. 10).

Die Linsen schieben solche Linsen recht stark hin und her. Nachdem eine individuelle Rückflächengeometrie gefunden wurde, die gut genug zentrierte und das Festsetzen am Auge gelöst war, konnte ein abschließender Sehtest unter Wasser erfolgen.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Hans Zenner bedanken, der es möglich machte, dass in der Firma HERZ in Catania die Linsen gefertigt werden.

Der Medienrummel

Der Sehtest fand im Tauchturm der Marine in Neustadt/Holstein statt. Ein Kamerateam hatte sich für diesen Sehtest Zugang zum Heiligsten der Bundesmarine beschafft. Mit 7 m Durchmesser, 32 m Tiefe und 30 °C Wassertemperatur konnten wir unter

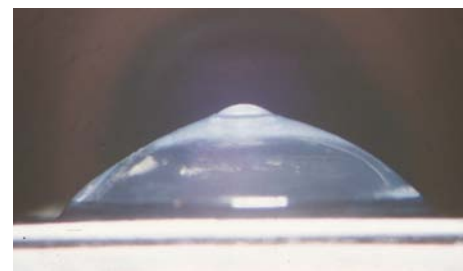


Abb. 10: Sieht aus wie eine..., ist aber eine SEA-U



Abb. 11: Im Tauchturm der dundesmarine in Neustadt. Benjamin Franz und der fotografierende Erfinder der SEA-U sind begeistert.

echten Bedingungen prüfen. Wir führten eine monokulare Fernprüfung durch. Die Linsen waren mit $< 0,5$ dpt unterkorrigiert. Durch die Akkommodationsfähigkeit eines 30-jährigen kein Problem. Der Fern-Visus war 0,8, der Nahvisus über 1,0 (Abb. 11).

Der Fernsehbeitrag wurde am selben Tag in „Guten Abend“ bei RTL gesendet.

Im November 1999 folgte eine Reise ans Rote Meer (Abb. 14-17). Es sollte



Abb. 12: Zum Festsetzen der SEA-U wird Trinkwasser in eine Schwimmbrille gefüllt. Damit kann dann auch sofort scharf gesehen werden.



Abb. 13: Eine SEA-U am Auge. Die richtige Zentrierung fehlt noch.

ein erster Rekordversuch in der Disziplin „No Limit“ unternommen werden.⁽⁴²⁾ Wieder war ein Kamerateam dabei. Benjamin schaffte sein Ziel, auf 100 m abzutauchen. Ein sehr gutes Gefühl, zu diesem deutschen Rekord mit beigetragen zu haben.

Es folgten Fernsehsendungen bei stern TV, N3, SAT1 und Kabel 1 und Texte in der Presse^(42, 43). Im Internet bei www.underwasserwelt-history.de/html/franz-100_meter_meer.html ist ein interessanter Beitrag zu lesen. Es ist schon erstaunlich, dass eine Kontaktlinse, die nur ganz wenigen Menschen etwas nützt, in den öffentlichen Me-dien so herausgestellt wurde, aber die Kontaktlinsen-Fachwelt keinerlei Notiz davon nahm. Die SEA-U findet bisher ihre Anwendung bei Freitauchern und Unterwasser-Modells. Denkbar ist auch, Synchronschwimmer und Unterwasser-Rugbyspielern damit auszurüsten.



Abb. 14: Benjamin Franz stehend auf dem Tauchschlitten, kurz vor dem Abtauchen. Die Videokamera läuft schon, gleich wird die Schwimmbrille abgesetzt.



Abb. 15: In 40 Meter Tiefe. Tiefer mag Fotograf R. Holland als Resslufttaucher nicht gehen, da die Risiken zu groß werden. Benjamin hat noch 60 Meter vor sich.

Die Grenzen der SEA-U

- Vor der Benutzung müssen die Linsen mit Süßwasser am Auge festgesetzt werden (Abb. 12).
- Das Festsetzen muss mit Kochsalzlösung rückgängig gemacht werden.
- Die exakte Zentrierung ist allein nicht gut durchführbar. Eine Hilfsperson kann es besser (Abb. 13).
- Das Sehen in Luft ist sehr schlecht, obwohl aufgrund der sehr kleinen Optik die periphere Abbildung etwas hilft. Dieser Effekt ist vergleichbar mit dem einer konzentrischen Bifo-Linse. Wird eine wasser-gefüllte Schwimmbrille aufgesetzt, ist das Sehen in Luft wieder gut möglich.
- Das Sehen unter Wasser ist gewöhnungsbedürftig, da nicht mehr um ein Drittel vergrößert gesehen wird. Die Gegenstände unter Wasser erscheinen auch nicht mehr um ein Viertel näher, da keine plane Maskenscheibe an das Wasser grenzt, sondern die Augen selbst an Wasser angrenzend korrigiert sind.
- Da die Bindehäute auf großer Fläche dem Wasser ausgesetzt sind, kommt es zu den üblichen Reizungen wie Brennen durch Chlor- oder Salzwasser. Auch Rötungen und Bindehautödeme können dabei entstehen.



Abb. 16: Nachdem in 100 Meter Tiefe die Luft in den Hebesack strömte, geh es wie mit einem Fahrstuhl wieder nach oben.

- Die Benutzungszeit im Salzwasser ist mit ca. 15 Minuten kurz. Das Festsetzen wird wie gesagt mit Kochsalzlösung rückgängig gemacht.
- Die Herstellung ist problematisch und die Möglichkeiten sind eng.
- Ohne spezielle Kenntnisse sollten diese Linsen nicht angepasst oder abgegeben werden, deshalb behalte ich mir das zurzeit selbst vor.

Zusammenfassung zur SEA-U

Die SEA-U ist eine Speziallinse mit engem aber hochinteressantem Nutzungsbereich. Die Benutzer benötigen spezielle Einweisungen und die Anpassung erfordert ein besonderes Know-how. Es ist mit Sicherheit keine Linse, die die Tauchermaske ersetzen wird.



Abb. 17: Der Jubel ist groß, die 100 Meter wurden geschafft: deutscher Rekord!

Literatur

- (1) D. E. Williamson, „Correction of Ametropia in Skin and Scuba Divers“ Journal of the Florida Medical Association, Feb. 1969
- (2) D. E. Williamson, „Soft Contactlenses and Scuba Diving“ Eye, Ear, Nose and Throat Mounthley, Jan 1971.
- (3) W. Klein, „Sehen wie die Fische“, Der Augenoptiker 3/74, 5/74, 6/74.
- (4) H. Kalthoff, „Augenärztliche Probleme beim Tauchen“, Der Augenspiegel 5/76.
- (5) G. Henke/V. Michel, „Optische und praktische Gesichtspunkte bei der Korrektur beim Tauchsport“, Referat gehalten WVAO-Jahreskongress 1977 in Düsseldorf.
- (6) R. Stehle, „Sehen unter Wasser“, Tauchen 12/78, 1/79, 2/79.
- (7) R. Stehle, „Der Tauchsport und die Augenoptik“, Deutsche Optikerzeitung, 4/79.
- (8) D. R. Simon/M. E. Bradley, „Adverse Effects of Contactlenswear during Compression“, Journal of the American Medical Association, Sept. 1980.
- (9) A. A. Bühlmann, „Dekompression und Dekompressionskrankheiten“, Springer Verlag 1983.µ
- (10) O. F. Ehm, „Tauchen noch sicherer“, Verlag Müller, Zürich 1984.
- (11) Q. M. Bennett, Contactlenses for Diving“, Australien Optometry, Jan 1985.
- (12) H. Kalthoff, „Auge und Tauchen“, Zeitschrift für praktische Augenheilkunde, 6/85.
- (13) J. Keller, „Scharfe Tatsachen...“, Tauchen 7/85.
- (14) W. D. Bockelmann, „Die Sehbedingungen des Tauchers“, Der Augenspiegel, 8/85.
- (15) K. Meyer-Ewert, „Grundlagen der Dekompression und Besprechung von Dekompressionsprofilen mit Hilfe des ZH-L12 Koeffizienten“, Physikalischer Ansatz zur Berechnung von Sättigungen und Entsättigungen in Geweben“, Der Tauchlehrer, 4/86.
- (16) R. Stehle, „Tauchbrillen - nur ein Randgebiet der Augenoptik?“, Deutsche Optikerzeitung 9/86.
- (17) Information des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands, „Damit das Tauchen ein ungetrübtes Seherlebnis wird“, Der Augenspiegel, 8/87.
- (18) J. Socks/J. F. Molinari, „Down to the sea in soft lenses“, Contemporary Optometry/ Barnes Hind, Jan. 87 Vol. 6 No. 1.
- (19) A. A. Bove, „Diving Medicine“, Skinn Diver Nov. 1988.
- (20) J. F. Socks, „Rigid Gas Permeable Contact Lenses In Hyperbaric Environments“, American Journal of Optometry Dec. 1988.
- (21) R. Holland, „Formstabile Kontaktlinsen beim Tauchsport“, Neues Optikerjournal 2/89.
- (22) R. Holland, „Augen auf!“, Aquanaut 5/89, 6/89.
- (23) Redaktion Tauchen, „Vorsicht vor harten Contactlinsen“, Tauchen 9/89.
- (24) R. Holland, „Rigid Lenses for Scuba Diving“, Contact Lens Spectrum Oct. 1989/ Contact Lens Spectrum, 1990.
- (25) Kuratorium Gutes Sehen/R. Stehle, „Die optische Taucherbrille/Was man über Kontaktlinsen beim Tauchen wissen sollte“, Aquanaut 10/91, Sporttaucher 10/91, 11/91.
- (26) J. E. Josephson/B. E. Caffery, „Contact Lens Considerations in Surface and Subsurface Aqueous Environments“, Optometry & Vision Science/American Academy of Optometry Vol. 68 No. 1, 1991.
- (27) R. Holland, „Contactlinsen und Sporttauchen“, Sporttaucher 4/5/6/92.
- (28) Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e. V., „Richtlinien für die Tauchtauglichkeitsuntersuchung von Sporttauchern“, Sonderdruck 1993.
- (29) R. Holland, „Kontaktlinsen beim Tauchsport“, Die Kontaktlinse 7-8/94.
- (30) R. Scholz, „Sehen und Augenerkrankungen beim Tauchen“, Divemaster 3/94.
- (31) S. Schiöberg-Schiegnitz, „Sehtauchlich“, Unterwasser 1/95.
- (32) W. Manz, „Beitrag zur Gasblasenbildung“, Divemaster 3/95.
- (33) R. Hübner Miltenberg, Persönliche Mitteilung 1/96, Vorbereitung zu einer Publikation in „Unterwasser“.
- (34) R. Holland, „Tauchen mit Contactlinsen“, Divemaster 2/96.
- (35) D. Schnell, „Sehorgan und Sport“, Sonderdruck Sport und Buch Strauß 1996.
- (36) R. Hübner, „Durchblick mit Kontaktlinsen“, Unterwasser 7/96.
- (37) R. Scholz, „Die Eignung von weichen und harten, gasdurchlässigen Kontaktlinsen für Taucher“, Contactologia 4/97.
- (38) Korrigierende Leserbriefe zu (37), Contactologia 1/98.
- (39) R. Stehle, „Tauchen heißt: Sehen unter der Wassergrenze“, Neues Optikerjournal 1/2001.
- (40) Korrigierende Leserbriefe zu (39), Neues Optikerjournal 2 und 3/2001.
- (41) Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e. V., Richtlinien für die Tauchtauglichkeitsuntersuchung von Sporttauchern, Ausgabe 1998.
- (42) G. Novak, „Auge um Auge“, Aquanaut 3-4/200.
- (43) Sehen wie ein Fisch, GEO 3/2000.