



erster  
österreichischer  
berufstauchlehrer  
verband



# Sehen unter Wasser

Stand: Juli 2018

**Autor: Stefan Arnesch**  
**EOBV TL \*\***

*Email: [tauchen@wasserservice.at](mailto:tauchen@wasserservice.at)*

**Erster Österreichischer Berufstauchlehrer Verband**  
*[www.eobv.eu](http://www.eobv.eu)*

# Inhaltsverzeichnis

## **1. Mediums Eigenschaften**

- 1.1. Die Luft
- 1.2. Das Licht
- 1.3. Das Wasser
- 1.4. Die Farben
- 1.5. Die Lichtstärke
- 1.6. Extinktion und Absorption
- 1.7. Optische Dichte

## **2. Der Körper unter Wasser**

- 2.1. Immersionseffekte
- 2.2. Wahrnehmung
- 2.3. Gewöhnungseffekte
- 2.4. Fehlsichtigkeit beim Tauchen

## **3. Die Reflexion**

- 3.1. Diffuse Reflexion
- 3.2. Spiegelnde Reflexion
- 3.3. Total Reflexion

## **4. Die Lichtbrechung**

- 4.1. Die Refraktion
- 4.2. Größer Sehen unter Wasser
- 4.3. Das Phänomen der visuellen Umkehr
- 4.4. Der Umkehrpunkt

## 1. Mediums Eigenschaften

### 1.1. Die Luft

Luft als solches ist in der Natur ein vermittelndes Element. Luft ist die "Autobahn" auf der bestimmte Gase, Wärme, Kälte, Partikel, Staub, etc. auf Grund physikalischer Naturgesetze transportiert, ausgetauscht und vermittelt werden. In Bezug auf das Tauchen muss man sagen das unsere Atemluft ein Gasgemisch ist das überwiegend aus Stickstoff besteht, welcher mit seinem relativ großen Anteil den Taucher vor gewisse Problematiken stellt.

Wichtig für den Taucher ist aber nicht nur das sich die Luft aus mehreren Gasen zusammensetzt, sondern auch das die Luft, die unsere Erde umgibt, ebenfalls ein Gewicht hat. Diese drückt mit  $10 \text{ N/cm}^2$  (1 bar) auf die Erdoberfläche und demnach auch auf die Wasseroberfläche. Daraus ist ersichtlich das Luft eine gewisse Dichte besitzt. Unser Körper und dadurch auch unser Auge, sind an diese Dichte angepasst. Taucht man das Auge ins Wasser ein, so erfährt man eine deutliche Minderung der Sehschärfe. Was darauf zurückzuführen ist, dass das Auge mit einem Brechungsindex von ca. 1,35 annähernd denselben Brechungsindex wie das Medium Wasser besitzt (**Wasser = 1,33**). Dadurch ist die Brechung fast aufgehoben und es kommt zu einer Weitsichtigkeit (siehe Abbildung 1). Legt man eine Luftschicht vor das Auge, z.B. in Form einer Maske, so wird die gewohnte Lichtbrechung wieder hergestellt und die Weitsichtigkeit korrigiert.

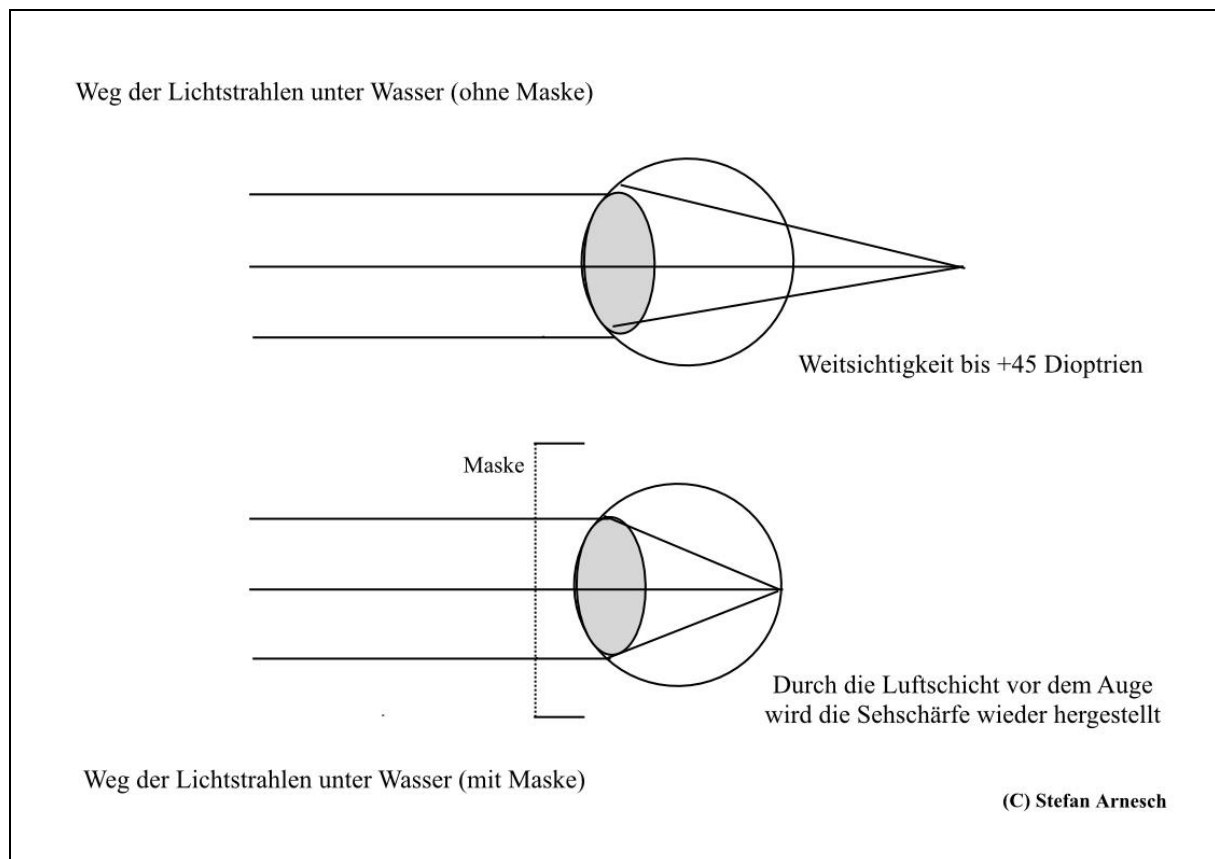


Abbildung 1

Das Volk der Moken, das auf den thailändischen Sunim-Inseln lebt, steht in engster Verbindung mit der Natur und dem Meer. Sie können beim Tauchen ihre Pupillen verkleinern und stellen ihre Augenlinsen auf Nahsicht, wodurch das hereinfliegende Licht stärker gebrochen wird. So werden unscharfe Bilder in einen Bereich höherer Sehschärfe gebracht. Die Fähigkeit des Auges die Anpassung der Brechkraft der Augenlinse auf unterschiedlich weit entfernte Objekte vorzunehmen (Nah- und Fernbereich) nennt man **Akkommodation**.

## 1.2. Das Licht

Das Licht als elektromagnetische Welle hat in der Luft eine andere Ausbreitung als unter Wasser. Was an der unterschiedlichen Dichte der beiden Elemente liegt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit nimmt unter Wasser ab (**Extinktion**). Der **Absorption, Streuung, Lichtbrechung** und **Reflexion** zu Folge nehmen wir unter Wasser eine Veränderung wahr. Reines Wasser absorbiert und streut Licht. Durch die Absorption wird das Licht einfach geschluckt, während durch die Streuung das Licht in alle Richtungen von der ursprünglichen Strahlungsrichtung abgelenkt wird. Diese beiden Effekte, Streuung und Absorption, führen zusammen zu einer wahrnehmbaren Schwächung der Lichtintensität.

**Licht wird durch Absorption in chemische Energie und/oder Wärme umgewandelt.**

## 1.3. Das Wasser

Wasser als solches stellt ein sehr Interessantes Element dar. Es ist sowohl lebensspendend als auch zersetzend, gärend, vernichtend. Als anomale Flüssigkeit hat Wasser in seiner Grundeigenschaft die Kälte und die Zusammenziehung inne. Dem Wasser unterliegt demnach der Magnetismus oder die Anziehungskraft. Im Gegensatz zum Feuer, das die Eigenschaft der Expansion besitzt. Je kälter das Wasser desto größer seine Akkumulationsfähigkeit. Beim vollsten spezifischen Gewicht, also bei ca. 4 (**3,98**) Grad Celsius, ist Wasser am schwersten und die Akkumulationsfähigkeit am größten. Mit steigender Temperatur nehmen die Dichte und die Akkumulationsfähigkeit von Wasser ab. Ab 36 - 39 Grad ist es Neutral. Hier wirkt die Grundeigenschaft der Wärme, die Expansion, der Zusammenziehung, also der Anziehung entgegen. Das gesamte Leben unterliegt diesen Gesetzmäßigkeiten. Hierbei ist die volkstümliche Behauptung das „Wasser zieht“ richtig.

Dadurch lässt sich auch ein weiterer Zusammenhang verstehen, nämlich dass sich das Licht mit seiner Eigenschaft der Expansion, der Ausbreitung, in einem dynamischen Medium der Zusammenziehung, wie z.B. dem Wasser, nicht so ausbreiten kann wie es dies z.B. in der Luft möglich ist. Ferner wird Licht aus dem Wasserelement in Form von Wärme oder chemischer Energie wieder ausgeschieden. Ein Kreislaufprinzip.

Wasser ist die einzige chemische Verbindung auf der Erde, die in der Natur als Flüssigkeit, als fester Körper und als Gas vorkommt. Bei Wasser im flüssigen Aggregatzustand spricht man von Wasser, im festen Zustand von Eis, im gasförmigen Zustand von Wasserdampf.

Wasser ist bei ca. 4 Grad Celsius am schwersten. Hier entspricht **1 Liter Wasser 1 Kilogramm Gewicht**. Ist das Wasser wärmer als 4 Grad, so ist es leichter und steigt nach oben. Die Besonderheit am Wasser ist die Tatsache das Wasser bei weiter abnehmender Temperatur, also unter 4 Grad, wieder an Dichte verliert. Also 2 Grad kaltes Wasser ist zwar kälter, aber **physikalisch leichter** als 4 Grad kaltes Wasser. Weshalb bei tiefen Gewässern die Wassertemperatur am Grund immer 4 Grad Celsius beträgt, weil eben das Wasser bei dieser Temperatur am schwersten ist. Dies ermöglicht der Natur eine gewisse Dynamik und sorgt für das sogenannte "Umwälzen" der Seen. Ein Wechselspiel aus Auf- und Abstieg, aus Wind und Wellen. Daher sind Seen im Winter am Grund auch manchmal wärmer als an der Wasseroberfläche.

## 1.4. Die Farben

Die unterschiedliche Wellenlänge des Lichtes, die man als unterschiedliche Farben wahrnimmt, wird unterschiedlich stark geschwächt. Wasser absorbiert blaues Licht mit einer Wellenlänge von ca. 500nm am schwächsten. Dagegen wird rotes Licht besonders stark absorbiert. Daher nehmen wir mit zunehmender Tiefe eine immer mehr blau-graue Umgebung wahr (siehe Abbildung 2). Wasser ist demnach im Grunde ein Blaufilter. Die Filterwirkung des Wassers kann aber auf Grund von gelösten Farbstoffen im Wasser, wie z.B. bräunlichen Mooreseen, geänderte Absorptionseigenschaften haben. Ob eine Farbe unter Wasser auch noch als diese Wahrgenommen werden kann, hängt natürlich auch von der Lichtstärke ab. Rote Gegenstände, wie z.B. Blut, erscheinen in ca. 15 m Wassertiefe schwarzgrau, falls kein Kunstlicht benutzt wird. Rot wird von einigen Lebewesen deshalb als Tarnfarbe genutzt. Der Verlust der Farbtintensität ist aber kein Effekt der Wassertiefe. Er macht sich in größerer

Tiefe nur mehr bemerkbar. Entscheidend für die Intensität der Filterwirkung ist die zurückgelegte Strecke des Lichtes durch das Wasser. Kommt das Licht von der Wasseroberfläche, so ist die gesamte Wegstrecke, also **Wasseroberfläche - Objekt - Auge** entscheidend. Das heißt dass uns ein roter Gegenstand in 3m Tiefe genauso als schwarzgrau erscheinen kann, wenn er die entsprechende Entfernung zu unserem Auge hat. Um die Farbenpracht unter Wasser genießen zu können, muss eine künstliche Lichtquelle eingesetzt werden. Dieses Licht wird zwar ebenfalls gefiltert, jedoch muss die Strecke durch das Wasser kalkuliert werden. Das heißt **Lichtquelle - Objekt - Auge**.

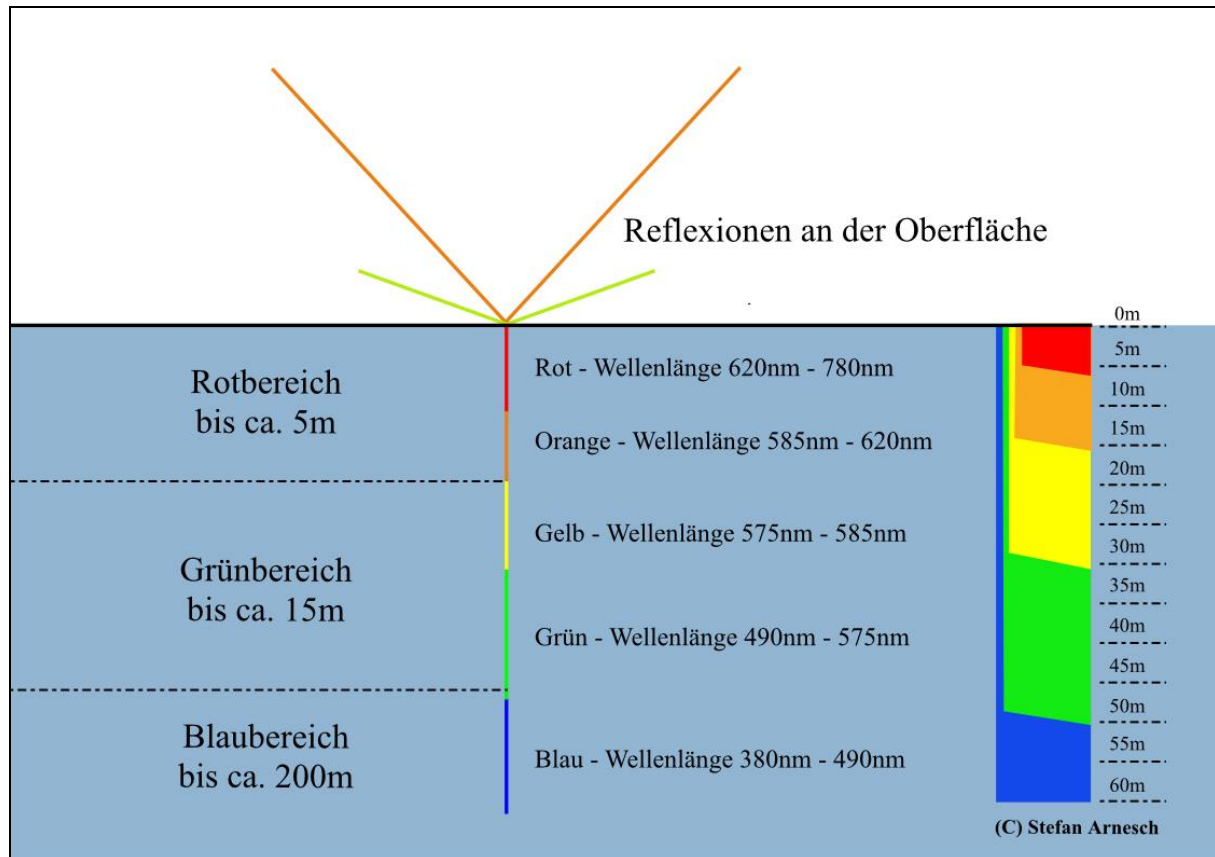


Abbildung 2

In Bezug auf die Farbwahrnehmung wären noch die sogenannten **Komplementärfarben** zu erwähnen. Was aus dem lateinischen eigentlich „Ergänzung“ bedeutet, wird aber oft auch als Gegenfarbe bezeichnet. Diese Gegenfarbe ist die Farbschwingung die ein Gegenstand im menschlichen Körper bewirkt. Die Gegenfarbe von Rot ist z.B. Grün, die von Blau ist Gelborange usw.. Überzeugen kann man sich von dieser Annahme in dem man seinen Blick z.B. eine Weile auf eine rote Fläche richtet und danach auf eine weiße. Die Gegenfarbe wirkt auf die Organstrukturen des Menschen. Bei roten Gegenständen nehmen die Organe die Tendenz der Beruhigung (Grün) in sich auf. Dieses Wissen wurde auch früher schon von Amtsführern und diversen Feldherren Geschick berücksichtigt. Hierher auch der Volksspruch „**Kleider machen Leute**“.

### 1.5. Die Lichtstärke / Lichtdruck

Um die Helligkeit verschiedener Lichtquellen vergleichen zu können, wurde die Lichtstärke als physikalische Größe eingeführt. **Erscheint eine Lichtquelle aus gleicher Entfernung heller als eine andere, so besitzt sie eine größere Lichtstärke.** Da auch Licht ein Gewicht hat, spricht man in der Wissenschaft von einem **Licht- oder Strahldruck**. Ein Mensch bekommt bei hartem Licht schneller einen Sonnenbrand als bei diffusem Licht. Bei direktem Lichtstrahl hat das Licht in diesem Sinne einen höheren Strahldruck und dringt intensiver in das jeweilige Medium ein. Diffuses Licht, z.B. durch eine Wolkendecke verursacht, verfügt über einen geringeren Strahldruck. Hierzu finden sich z.B. in der Fotografie oder auch in der Solartechnik interessante Ansätze.

In das Wasser einfallendes Licht wird gestreut und absorbiert, das heißt in eine andere Energieform überführt, wobei beide Vorgänge von der Wellenlänge des Lichtes abhängig sind. Die Lichtintensität nimmt dabei exponentiell (**Lambert-Beersches Gesetz**) mit der Tiefe ab. Gleichzeitig verengt sich das Spektrum des Lichts. Die Energie die ein Lichtstrahl an der Oberfläche hatte, wird in folgenden Tiefen vertikal auf ca. die Hälfte vermindert (**Attenuation**).

**Rot – auf ca. 1,20m**  
**Orange – auf ca. 2,30m**  
**Gelb – auf ca. 3,50m**  
**Grün – auf ca. 15m**  
**Blau – auf ca. 19m**

Von wesentlicher Bedeutung für die Lichtstärke unter Wasser sind auch der Einfallswinkel des Lichtes an der Wasseroberfläche und die Beschaffenheit derselben (glatte ruhige Oberfläche, raue wellige Oberfläche, etc.) und auch die Beschaffenheit des Grundes. **Je heller der Untergrund, umso mehr Licht wird reflektiert.**

Die Behauptung das Wasser Licht verstärkt (Lupeneffekt) ist nicht richtig. Es handelt sich beim Lupeneffekt um eine **Energiebündelung**. Es ist nicht möglich mehr Energie zu erzeugen als von außen zugeführt wird. Man kann das Licht lediglich „Sammeln“ durch Reflektion oder „Bündeln“ durch diverse Medien. Ähnlich wie man Regen in ein Gefäß zusammenfassen kann. **Das Licht kann auch nicht vernichtet sondern lediglich in eine andere Energieform umgewandelt werden.**

## 1.6. Extinktion und Absorption

Beim Eintritt erfährt der Lichtstrahl eine Brechung zum Einfallslot hin. Dadurch wird die Wellenlänge bis in eine bestimmte Tiefe verkürzt und das Eindringen begünstigt. Der Begriff **Extinktion** beschreibt die **Abschwächung des Lichtstrahles** nach dem Eintritt ins dichtere Medium.

**Absorption** findet bereits in klarem Wasser statt. In den Gewässern wird sie durch gelöste und suspendierte Stoffe verstärkt. Ein kleiner Teil der Lichtstrahlung wird z.B. durch Photosynthese in chemische Energie umgewandelt und sorgt so für die Grundlage von Leben. Der größere Teil wird absorbiert und in Wärme umgewandelt.

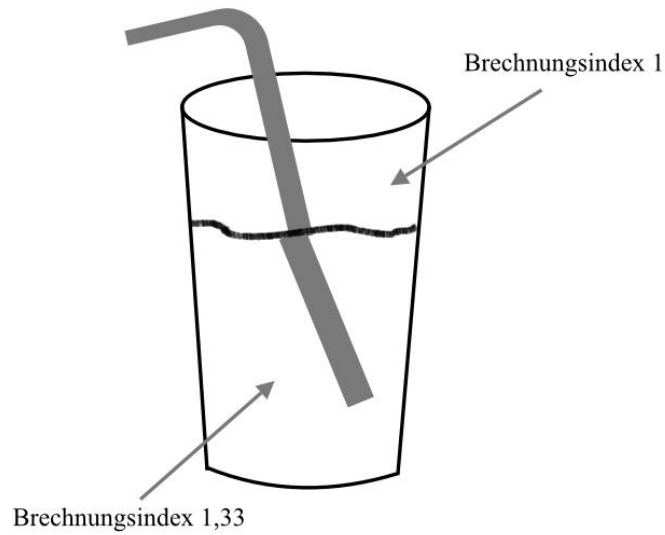
In Bezug auf die Farbwahrnehmung geht die Absorption mit der Reflexion einher. Das auf einen Gegenstand fallende Licht wird absorbiert, d.h. Licht wird vom Gegenstand aufgenommen und umgewandelt. Der restliche Lichtanteil wird reflektiert. **Absorption und Reflexion** sind dafür verantwortlich, dass wir einen Gegenstand sehen bzw. die Farben eines Gegenstandes wahrnehmen können. Schwarze Gegenstände nehmen alle Lichtwellen auf und werden dadurch wärmer, weiße Gegenstände reflektieren fast alle Lichtwellenanteile. Ein roter Seestern nimmt alle außer den roten Lichtanteilen auf. Das rote Licht wird reflektiert. Für uns erscheint der Seestern somit in roter Farbe.

Bei größeren Wassertiefen erscheint uns reines Wasser in Blau und z.B. chlorophyllreiches Wasser in Grün.

## 1.7. Optische Dichte

Unter der optischen Dichte verstehen wir in Bezug auf das Sehen den Brechungsindex des jeweiligen Mediums. **Wasser** hat einen **Brechungsindex von 1,33**, das menschliche **Auge** einen **Brechungsindex von 1,35** und **Luft** einen **Brechungsindex von 1**. Da der Luftdruck nach oben hin exponentiell abnimmt, nimmt auch der Brechungsindex nach oben hin geringfügig ab. Dadurch lässt sich das Phänomen erklären, dass in hohen Gebirgslagen die Sterne weiter entfernt erscheinen. Durch diese „**astronomische Refraktion**“ scheinen Sterne höher zu stehen, als das ohne Atmosphäre der Fall wäre.

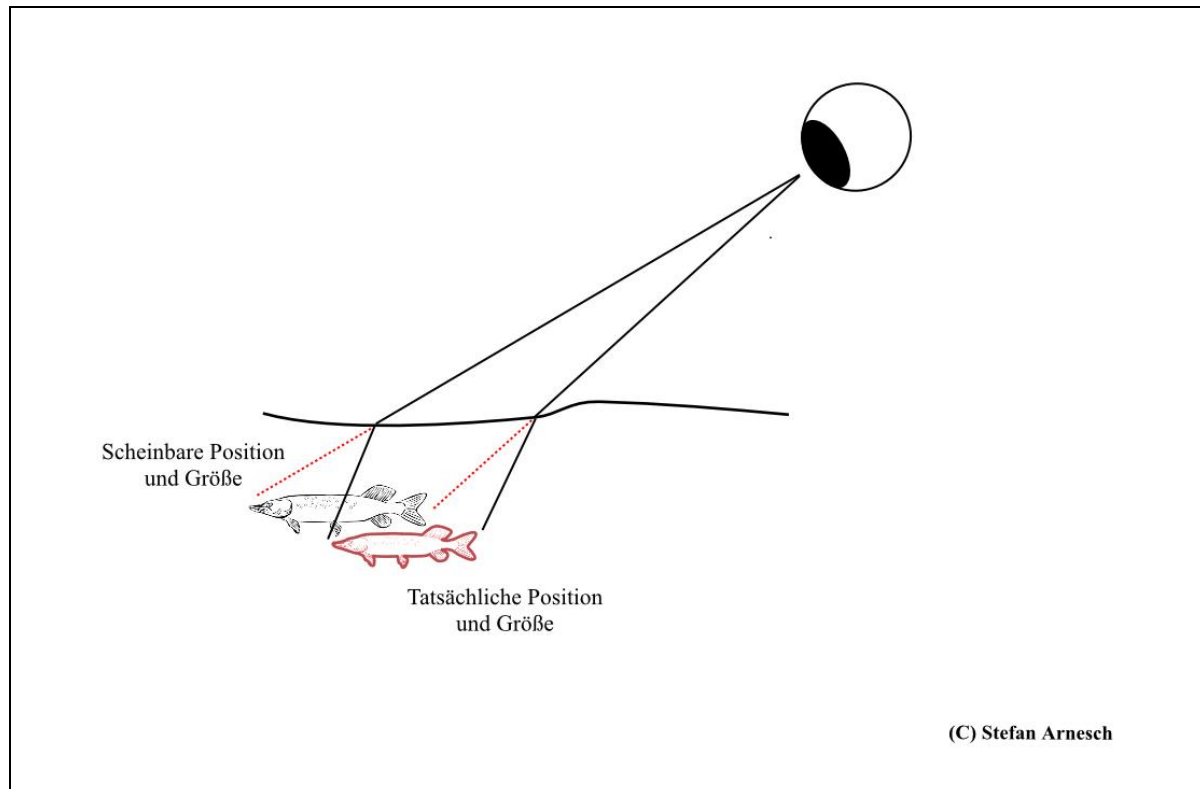
Der jeweilige Brechungsindex verschiedener Medien führt zu einer scheinbar veränderten Form der Gegenstände.



(C) Stefan Arnesch

Abbildung 3

Der verschiedene Brechungsindex der jeweiligen Medien führt zu einer scheinbaren Veränderung der Form eines Gegenstandes (siehe Abbildung 3). Dadurch können uns Objekte größer und näher aber auch an einer anderen Position als es die tatsächliche ist erscheinen (siehe Abbildung 4).



(C) Stefan Arnesch

Abbildung 4

Würde man versuchen den Fisch (Abb. 4) mittels eines Speers zu fangen, so müsste man um diesen nicht zu verfehlen die jeweilige Brechung zum Lot hin berücksichtigen. Der Fisch erscheint uns von der Oberfläche gesehen um ca. **1/3 Größer und 1/4 Näher**. Bei einem flachen Blickwinkel würden wir diesen auf Grund des Reflexionsgesetzes gar nicht sehen. Bei Änderung des Blickwinkels kommt es zu einem „**Drehmoment**“, welcher dazu führt das sich der Gegenstand bei unserer Betrachtung „**scheinbar**“ Bewegt.

## 2. Der Körper unter Wasser

### 2.1. Immersionseffekte

Als Immersion wird das Eintauchen des Körpers in eine Flüssigkeit bezeichnet. Der Mensch ist bei der Immersion in Wasser einer Reihe von hämodynamischen Veränderungen unterworfen. Dadurch kommt es zu einer teilweisen Blutumverlagerung aus den Gliedern in den Brustbereich (Druckverteilung). Die unmittelbare Folge ist eine vermehrte Füllung der Lungengefäße und des rechten Herzens, was zu einer Erhöhung des Druckes vor allem im rechten Vorhof führt. Es steigt der Blutdruck. Die erhöhte Volumenbelastung veranlasst den Körper, der jetzt mehr Flüssigkeit (Blut) zu verarbeiten hat, dazu Flüssigkeit abzubauen um den Körper zu entlasten und es kommt zu einer Erhöhung der Nierentätigkeit. Dies ist die Ursache für das allen Tauchern bekannte Phänomen des vermehrten Harndrangs beim Tauchen. Die so genannte **Taucherdiurese** führt auf diese Weise zu erheblichen Flüssigkeitsverlusten. Dieses Phänomen des vermehrten Harndranges war auch schon in damaliger Zeit den Römern bekannt (*lat. urina = Wasser, urinari = Untertauchen, urinator = Taucher*).

Neben den hämodynamischen Veränderungen kommt es auch zu einer Beeinflussung der Lungenfunktion (**Respiratorische Veränderungen**). Die immersionsbedingte Verschiebung des Zwerchfells bewirkt die Abnahme der Vitalkapazität der Lunge und besonders der expiratorischen Reserve (**Restvolumen**).

Der Grund für die Blutumverlagerung aus den Gliedmaßen in den Brustbereich ist darauf zurückzuführen das unter Wasser der höhere Druck von allen Seiten gleich auf den Körper wirkt.

### 2.2. Wahrnehmung

Effekte der Immersion beinhalten aber auch Wahrnehmungsänderungen, welche auf Grund physikalischer Gesetze zwar erklärt werden, den Taucher aber dennoch Dinge anders wahrnehmen lassen können. Als Beispiel sei das **Archimedische Prinzip** genannt, auf Grund welches der Taucher trotz vorhandener Schwerkraft ein Gefühl des Schwebens wahrnehmen kann. In Bezug auf das Sehen unter Wasser sind die Wahrnehmung der Größe und Entfernung von Objekten sowie diverse Farbeffekte anzuführen. Gelegentlich zu beobachten ist auch eine gewisse Einengung des Blickfeldes. Dies äußert sich hin und wieder bei Tauchanfängern und erinnert ein wenig an das „**Dahinträumen**“. Dabei ist der Blick gerade ausgerichtet und diverse Handzeichen usw. werden nur in einem geringeren Blickwinkel wahrgenommen. Dieses Phänomen findet man vorwiegend bei Tauchanfängern ist aber auch unter schwierigeren Tauchbedingungen wie Dunkelheit und schlechte Sicht allgemein bei Tauchern zu beobachten.

### 2.3. Gewöhnungseffekt (Adaption)

Der Mensch ist ein Gewohnheitstier. Einmal an eine gewisse Sache gewöhnt, nimmt er diese als gegeben an. So stört es den Taucher nicht das ein roter Seestern in zunehmender Tiefe schwarzgrau erscheint. Reflexionen, Diffuses Sehen usw. sind keine lästigen Umstände, sondern werden als reale Gegebenheiten Wahrgenommen. Trotz dessen benötigt der Taucher in manchen Fällen eine gewisse Anpassungsphase um sich z.B. an Temperaturen, Dunkelheit usw. zu gewöhnen.

Das Auge benötigt einige Zeit, ca. 10 Minuten, zur Anpassung an große Helligkeitsschwankungen. Eine vollständige Anpassung erfolgt nach ca. 30 Minuten. Dies erklärt das Gefühl, es werde nach längerer Tauchzeit heller. Bei größerer Dunkelheit kommt es vereinfacht Ausgedrückt zu einer Umschaltung auf Schwarzweiß (Hell-Dunkel-Sehen).



## 2.4. Fehlsichtigkeit beim Tauchen

Im engeren Sinne versteht man unter Fehlsichtigkeit Abweichungen von den idealen optischen lichtbrechenden Eigenschaften des Auges. Dazu zählen die Kurzsichtigkeit, die Weitsichtigkeit und die Stabsichtigkeit. Ein Trugschluss den Taucher immer wieder stellen ist das die Tauchermaske eine verbesserte Sehschärfe bei Fehlsichtigkeit bewirkt. Dabei wird oft übersehen das auch Unschärfen mit vergrößert werden. Dazu kommen **Trübungen und Schwebeteilchen**, die je nach Ausprägung zu weiterer Sehbeeinträchtigung führen können. Ein gutes Sehvermögen ist unter Wasser erforderlich um im Nahbereich die Instrumente selbständig ablesen zu können.

Taucher mit Fehlsichtigkeit haben die Möglichkeit Kontaktlinsen zu tragen oder Maskengläser mit Dioptrien-Ausgleich zu erwerben. Diese haben den Nachteil, dass sie nicht optimal zentriert sind und bieten weniger Korrekturmöglichkeiten. Die Praxis zeigt das Taucher mit geschliffenen Gläsern in der Tauchermaske nur bedingt zufrieden sind. Diese individuell korrigierten Gläser sind sehr kostspielig und erfüllen wie oft berichtet nicht den erwünschten Zweck. Eine weitere Möglichkeit sind **Kontaktlinsen**. Sie haben gegenüber korrigierten Tauchermasken z.B. den Vorteil besserer Abbildungseigenschaften bei höheren Korrekturen mit entsprechender Sehschärfeverbesserung. Weiters schonen diese den Geldbeutel. Ein Nachteil ist z.B. das bei **harten Kontaktlinsen**, je nach Schwimmlage des Tauchers und Dauer des Tauchganges, Luftblasen unter der Hartlinse auftreten können. Diese können Sehstörungen zur Folge haben die unter Wasser nicht einfach behoben werden können.

## 3. Die Reflexion

### 3.1. Diffuse Reflexion

An rauen Oberflächen wird auftreffendes Licht zwar reflektiert, man kann aber jedoch oft kein Spiegelbild erkennen. Ein einfallendes paralleles Lichtbündel wird in viele Teilbündel zerlegt, die ebenfalls alle möglichen Richtungen aufweisen. Diesen Effekt nennt man **diffuse Reflexion**. In der Technik wird dieses Prinzip z.B. zur Vermeidung spiegelnder Reflexe an Bildschirmen eingesetzt. Ein bekanntes Beispiel für diffuse Reflexion ist der matte Glanz von nicht blank polierten Metalloberflächen. Häufig ist dabei überhaupt kein Spiegelbild mehr erkennbar. Vereinfacht ausgedrückt wird das Licht an einer rauen (welligen) Oberfläche in verschiedene Richtungen reflektiert (siehe Abbildung 5).

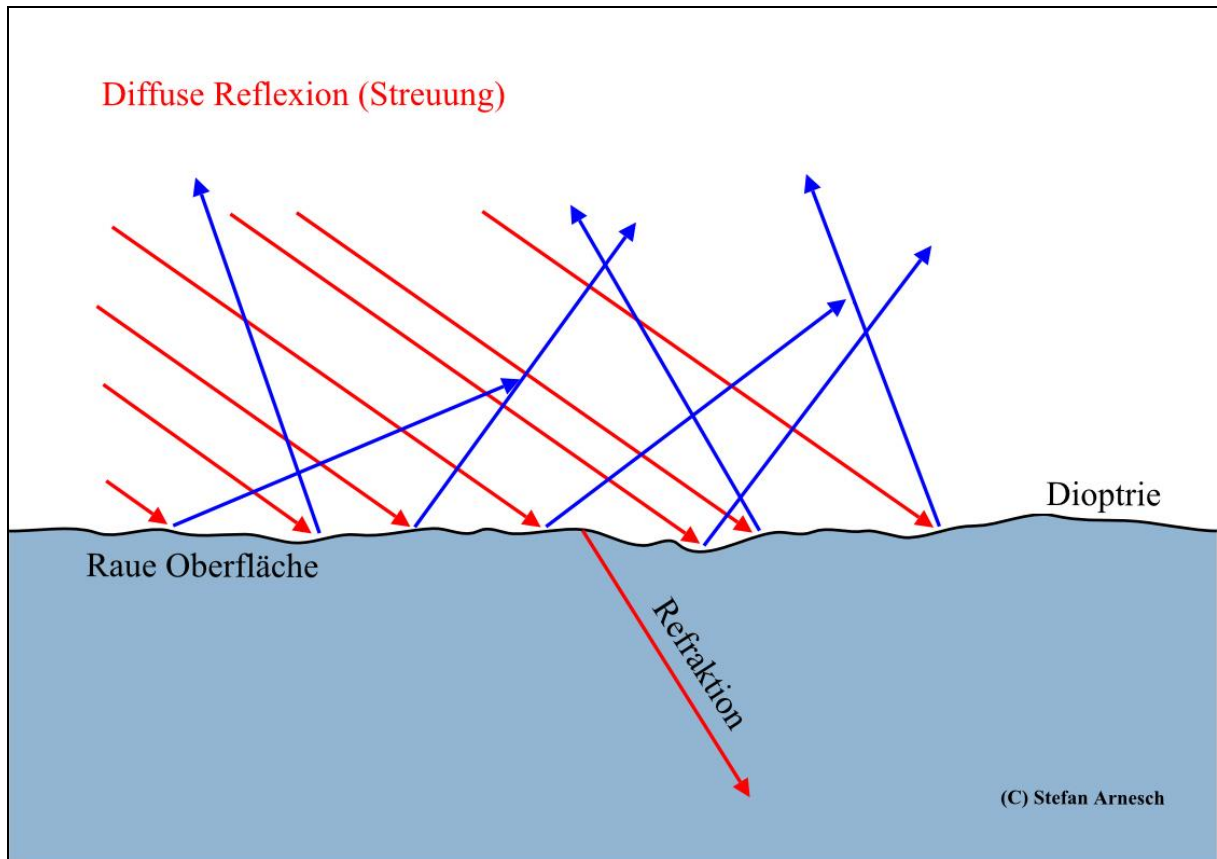


Abbildung 5

### 3.2. Spiegelnde Reflexion

Bei der spiegelnden Reflexion werden alle Anteile des Licht nach dem Gesetz: **Einfallswinkel = Ausfallswinkel** reflektiert. Diese Art der Reflexion ist verantwortlich für die Spiegelung von Gegenständen (siehe Abbildung 6).

### 3.3. Total Reflexion

Der Lichtstrahl trifft dabei sehr flach auf die Oberfläche auf und wird vollständig reflektiert (siehe Abbildung 6). Die Totalreflexion hängt vom jeweiligen Einfallswinkel und Grenzwinkel sowie der optischen Dichte ab. Je größer der Unterschied der Brechzahlen der jeweiligen Medien ist, desto kleiner ist der Grenzwinkel, ab dem die Totalreflexion auftritt. Ist der Einfallswinkel größer als der Grenzwinkel so wird der Lichtstrahl an der Grenzfläche vollständig gemäß dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen. Diese Eigenschaft wird z.B. in der Technik zur Konstruktion von optischen Glasfaser- bzw. Kunststoffkabeln als so genannte "Lichtleiter" genutzt.

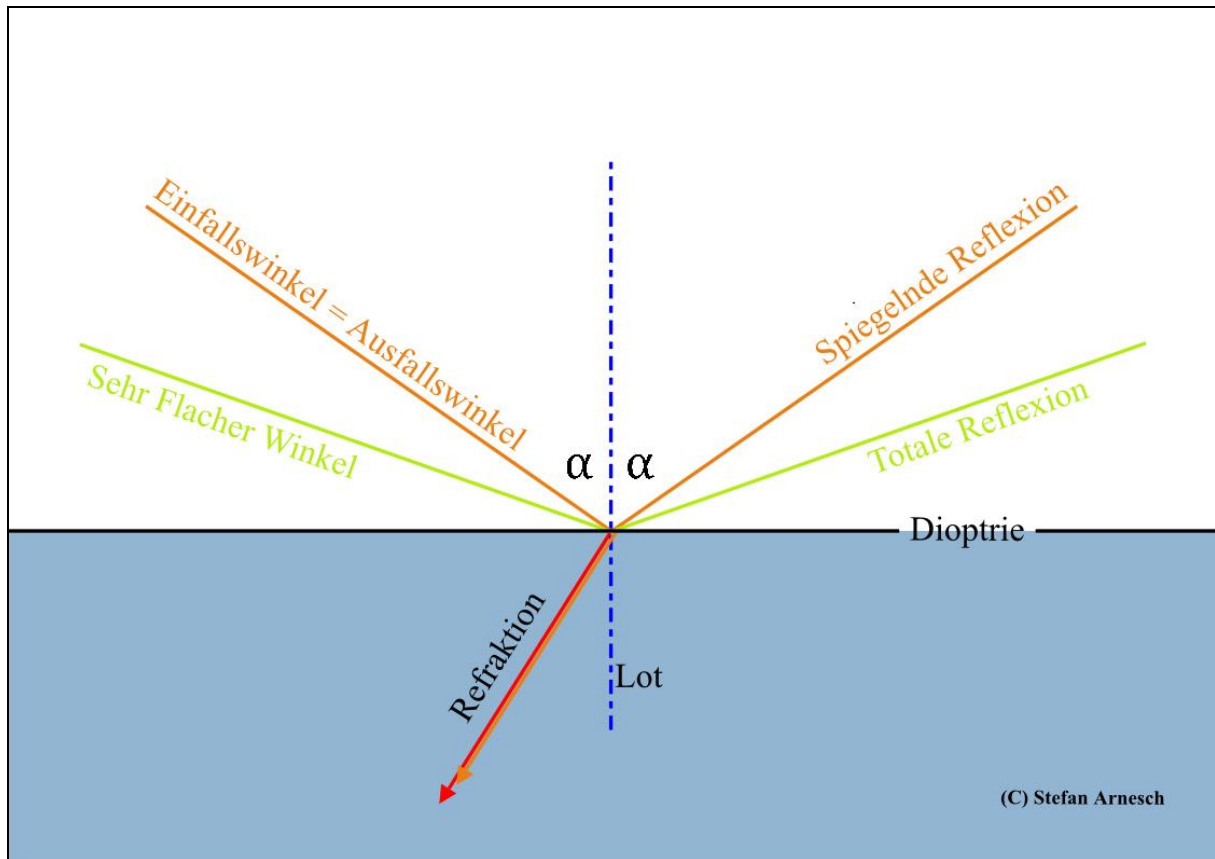


Abbildung 6

## 5. Die Lichtbrechung

### 4.1. Die Refraktion (Lichtbrechung)

Der Lichtstrahl wird beim Übertritt vom optisch dünneren (Luft) in das optisch dichtere Medium (Wasser) **an der Grenzfläche** zum Lot hin gebrochen. In umgekehrter Richtung erfolgt eine Brechung weg vom Lot. Dadurch erfolgt eine Richtungsänderung deren Ausmaß oder Winkel vom jeweiligen Einfallswinkel des Lichtstrahles abhängig ist. Abbildung 7 zeigt eine vereinfachte Darstellung wie man sich die Richtungsänderung des Lichtstrahles beim Durchbrechen der **Grenzschicht-Wasseroberfläche (Dioptrie)** erklären kann. Hierbei sehen wir einen Schlitten mit zwei Kufen (Vorstellung breiter Lichtstrahl). Fährt man über die Schneepiste, so bewegen sich beide Kufen gleich schnell und der Schlitten fährt gerade aus. Kommt man an die Grenzfläche zum dichteren Medium, in diesem Fall ein sandiger Untergrund, so beginnt die Eine Seite des Schlittens, je nach Auftreffwinkel, dementsprechend früher langsamer zu werden als die Andere. Dabei kommt es zu einem Drehmoment welcher den Schlitten die Richtung ändern lässt.

Die Brechung ist aber auch ein wichtiger Faktor fürs Scharfsehen. Taucht man das bloße Auge ins Wasser ein, so erfährt man eine hochgradige Weitsichtigkeit. Der Brechungsindex ist fast derselbe wie der des Auges. Beim **Sehen unter Wasser** wird somit die **Brechkraft des Auges aufgehoben** und die **Sehschärfe geht dabei zurück**. Daher ist es für uns erforderlich zwischen der Hornhaut und dem Wasser eine Luftschicht zu legen welche von einer Scheibe begrenzt wird. Somit wird die Refraktion unseres Auges wieder hergestellt und wir können auch unter Wasser scharf Sehen (siehe Abbildung 1). Bei gewölbten Gläsern gelten dieselben physikalischen Gesetze.

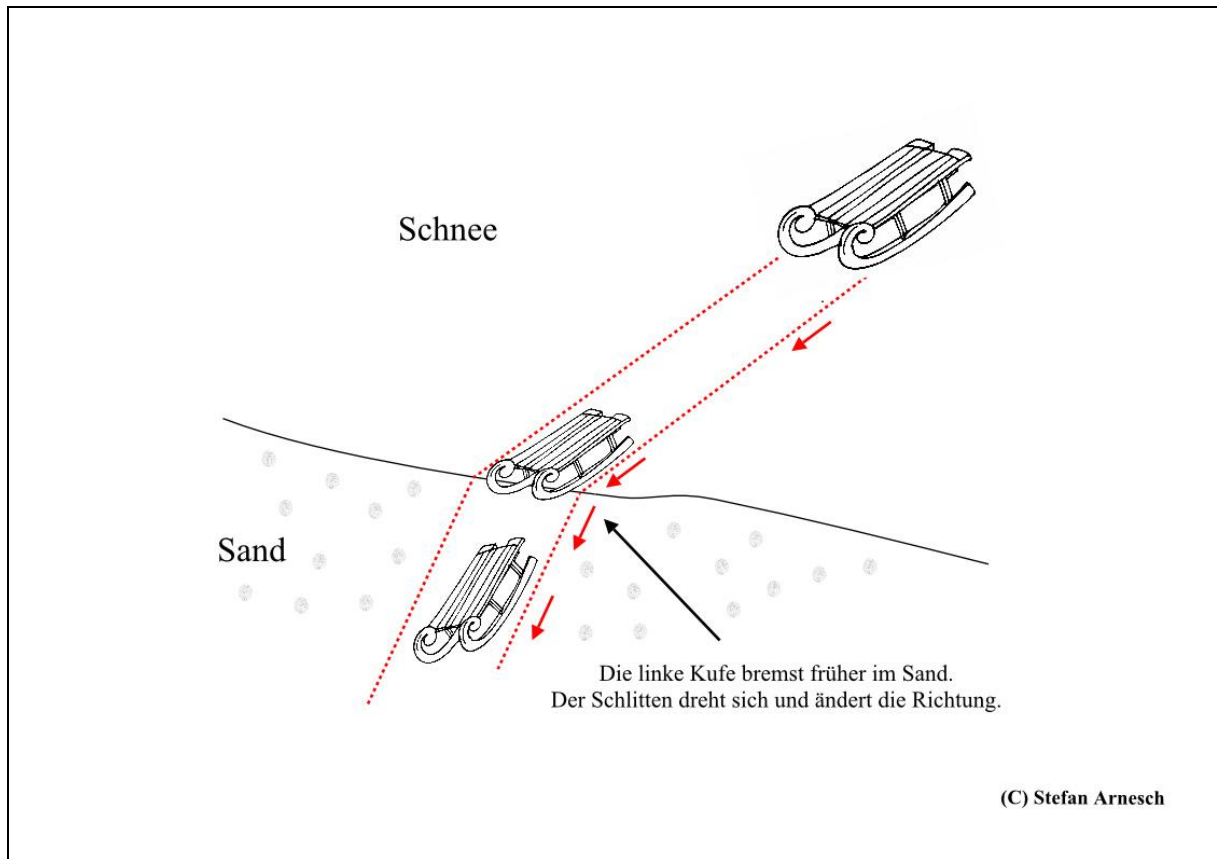


Abbildung 7

#### 4.2. Größer Sehen unter Wasser

Die optische Dichte von Wasser und Luft liegt im Verhältnis 4:3

**Luft = Brechzahl 1**

**Wasser = Brechzahl 1,33**

Also vereinfacht: Wasser 4 Teile (4 mal 0,33) und Luft 3 Teile (3 mal 0,33) = 4:3

Das bedeutet dass Objekte unter Wasser um **1/3 überschätzt** und die Entfernung um **1/4 unterschätzt** wird. Also beim Tauchen sind Objekte **scheinbar** um 1/3 Größer und 1/4 Näher (siehe Abbildung 8 und 9). Das Gefühl das einem Objekte manchmal Größer und Näher als üblich erscheinen, kommt daher das wir in unseren Gewässern wechselnde Bedingungen finden. Je klarer das Wasser und umso weniger Schwebstoffe im Wasser vorhanden sind, desto größer und näher erscheinen uns Objekte unter Wasser. Wichtig ist es Klarzustellen das es sich um eine „**scheinbare**“ Veränderung handelt. Vergleichbar mit dem Archimedischen Prinzip. Das ein Gegenstand der 100kg wiegt und 30kg Auftrieb erfährt immer noch 100kg schwer ist dürfte jedem einleuchten.

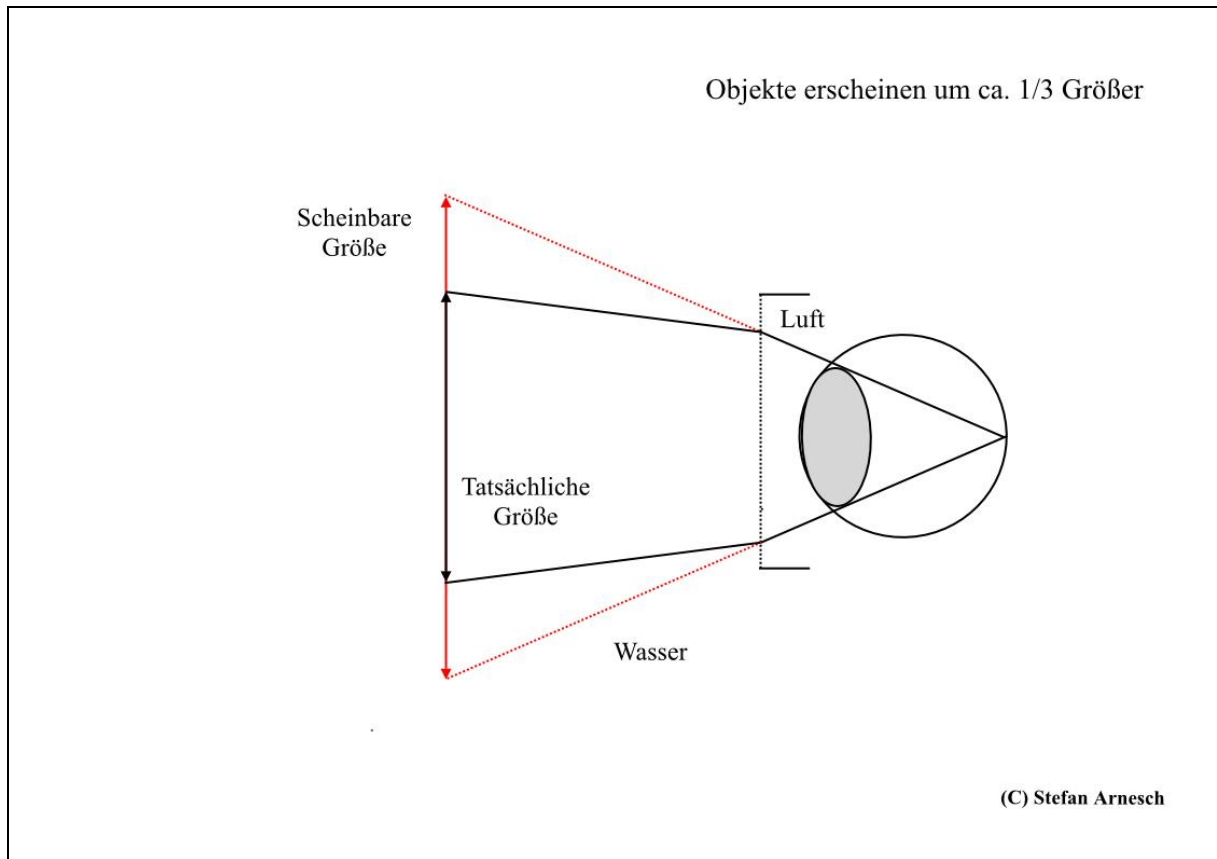


Abbildung 8

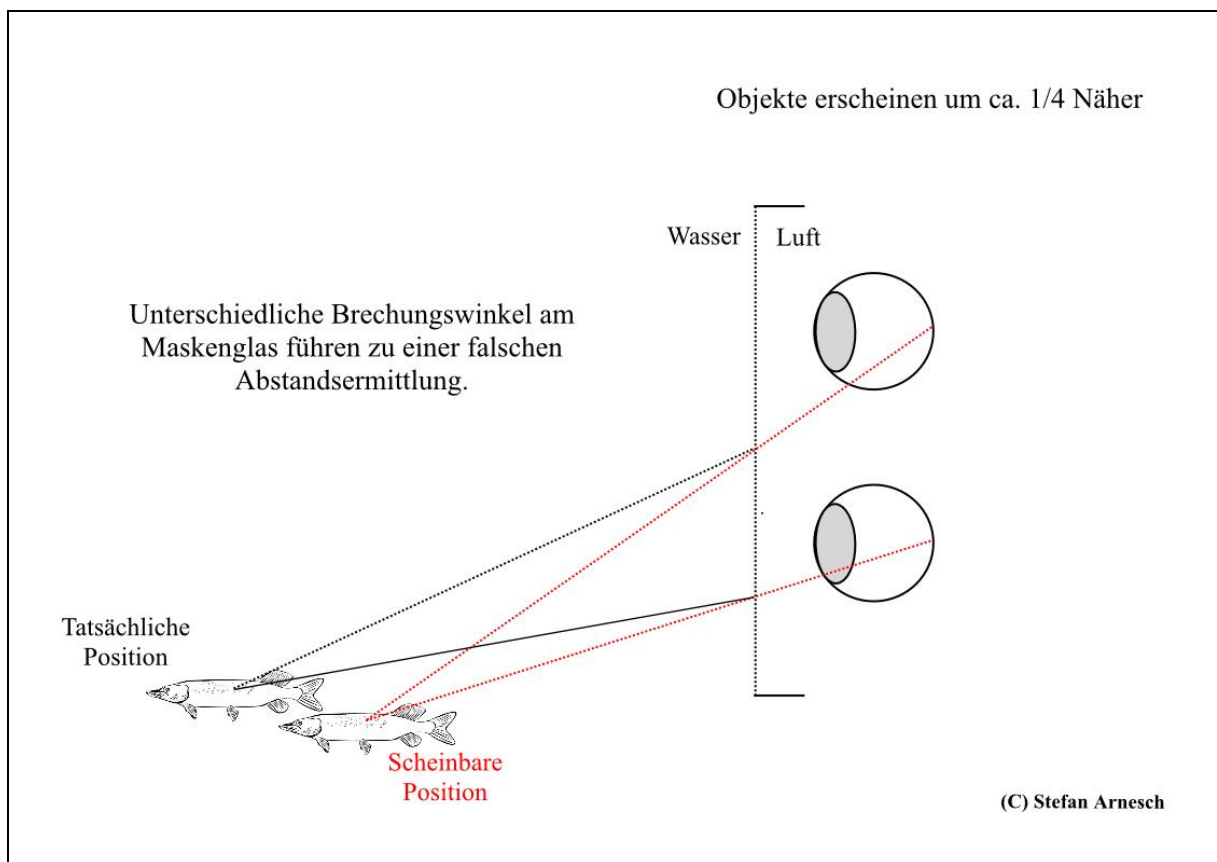


Abbildung 9



**Sehr trübes Wasser:**

Abstand von Objekten in 0,9 bis 1,2 m Abstand wird überschätzt.

**Mäßig trübes Wasser:**

Der Umkehrpunkt liegt zwischen 6,1 und 7,6 m Abstand.

**Sehr klares Wasser:**

Die Entfernung von Gegenständen in 15,2 bis 22,9 m Abstand wird unterschätzt.

Je näher der Gegenstand, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit das er „**zu Nahe**“ Wahrgenommen wird und je trüber das Wasser, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit das der Abstand als zu groß wahrgenommen wird. Dieses Phänomen können wir in der Natur sehr häufig beobachten, z.B. indem einem manchmal Berge Näher und dann wieder weiter Entfernt erscheinen.

-----

*Autor:*

*Stefan Arnesch, EOBV TL A-630*

*Email: tauchen@wasserservice.at*

*Web: www.wasserservice.at*

-----

*Literaturverzeichnis:*

*Ehm: Tauchen noch Sicherer*

*König/Lipp: Lehrbuch für Forschungstaucher*