

Diskussionspapier  
zum Thema

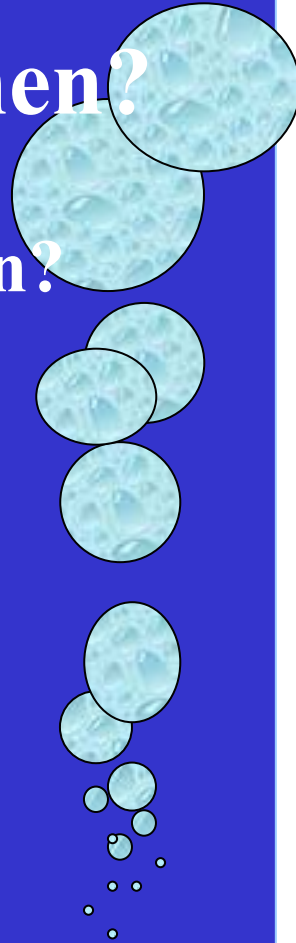
# Kinder tauchen!

**Kindertauchen?**

**Kindertauchen?**

**Kindertauchen?**

**Kindertauchen?**



# Inhalt:

Einleitung

## Physische Besonderheiten

1. Herz- Kreislauf- System
  - a. Immersionsreflex
  - b. Offenes Foramen ovale (PFO)
  - c. Funktionelle Herzgeräusche
  
2. Gasaustausch
  - a. Entwicklung der Alveolen
  - b. Lungenvolumen
  - c. Atemarbeit
  - d. Blutgasanalyse
  
3. HNO- System
  - a. Ohrtrompete
  - b. Mittelohr
  - c. Polypen
  - d. Nasennebenhöhlen
  
4. Bewegungsapparat
  - a. Knochenwachstum
  - b. Epiphysenfugen
  - c. Belastung durch hohes Gewicht, Arthrose
  
5. Nervensystem
  
6. Thermoregulation
  - a. Hypothermie
  - b. Hyperthermie

Gerätetechnische Anforderungen

## Psychische Besonderheiten

Allgemein

## **Einleitung**

Während Tauchen in den vergangenen Jahrzehnten zu einem Breitensport geworden ist und einerseits viele Tauchbasen dem Wunsch der Eltern entsprechen, die Sprösslinge auszubilden und ihnen die Faszination dieses Sports näher zu bringen, fehlen andererseits fundierte Erkenntnisse über die Langzeitauswirkungen auf den kindlichen Organismus und ebenso international einheitliche Richtlinien zur Erteilung der Tauchtauglichkeit.

Die tauchende Welt selbst scheint sich darüber einig zu sein, dass Kindern ab acht Jahren mit gewissen Schwimmkenntnissen und einer Tauchtauglichkeit das Tauchen zugänglich gemacht werden kann. Ab 14 Jahren können Jugendliche an Erwachsenenprogrammen teilnehmen, da sie zumeist die physiologischen Werte eines erwachsenen Körpers erreichen.

Die Tauchmedizin hinkt scheinbar der raschen Entwicklung des Kindertauchsports hinterher, denn längst haben die großen Tauchsportverbände reagiert und ihr Ausbildungs- und Brevetierungsangebot auf Kinder ausgedehnt, die Tauchindustrie reagiert ihrerseits mit der Vermarktung eigens für Kinder entwickelter Produktreihen und die aufmerksame Reisebranche vermittelt Tauchurlaube für die ganze Familie; nur der Hund darf unter Wasser noch nicht mit.

Die derzeit fehlende Etablierung einheitlicher Tauchtauglichkeitskriterien, Richtlinien oder Empfehlungen darf allerdings nicht darüber hinweg täuschen, dass es sehr aktive Arbeitsgruppen, die sich diesem Thema widmen, gegeben hat und gibt. So wurde beispielsweise bereits 1979 der Commission Medicale der CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques) eine Studie über die Leistungsfähigkeit Jugendlicher beim Flossenschwimmen und Steckentauchen vorgelegt, und 1998 wurde von der FFESSM (Französischer Verband der Tauchlehre und des Tauchsports) das „livret plongée enfant“, in dem medizinisch-psychologische Beurteilungskriterien erarbeitet sind, herausgegeben. Ebenso finden sich in den Ausgaben der Tauchzeitschriften lehrreiche Artikel zu diesem Thema.

Niemand kann den Eltern tauchwilliger Kinder unterstellen, die Gesundheit ihrer Kinder absichtlich für die junge Disziplin Kindertauchen zu opfern. Dennoch müssen sich diese Eltern unbedingt vor Augen führen, dass Kindertauchen eben eine junge Disziplin ist und langfristige Erkenntnisse und Studien fehlen. Den Erziehungsberechtigten kommt die Pflicht zu, ihre Schützlinge nach bestem Wissen und Gewissen zu unterstützen. Begriffe wie Verantwortung und Moral gewinnen beim Kindertauchen ein großes Maß an Bedeutung, da die Kleinen und Kleinsten das Ausmaß ihres Tuns noch nicht abzuschätzen vermögen und an ihrer Stelle übergeordnete Instanzen (Eltern, Tauchlehrer, etc.) oder gar der Gruppenzwang entscheiden, was richtig oder falsch für sie ist.

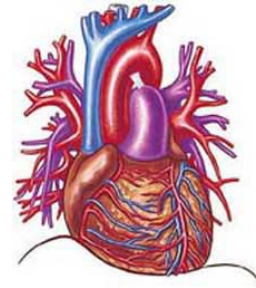
Ermutigend ist festzustellen, dass die Tauchmedizin, Tauchausbildungsorganisationen, Tauchartikelhersteller und Reisebranche an einem gemeinsamen Strang ziehen, wenn es darum geht, den Kindern den Weg in die Unterwasserwelt sicher und kindgerecht zu zeigen.

Nachfolgend möchte ich mich über die allgemeinen Grundlagen nähernd auf den Bereich der Tauchmedizin, der sich mit dem Kindertauchen auseinandersetzt, konzentrieren und medizinische Aspekte und physiologische Besonderheiten beim Kindertauchen herausarbeiten, um damit eine grundlegende Basis zur weiteren Diskussion und zum Verständnis der weitreichenden Problematik zu schaffen.

Mein Dank gilt Dr. Michael Almeling. Seine Unterstützung als Freund und Förderer sowie seine hohe fachliche Kompetenz waren eine wertvolle Hilfe bei der Entstehung der vorliegenden Arbeit.

Das vorliegende Diskussionspapier stellt eine Zusammenfassung vieler unterschiedlicher oder auch wörtähnlicher Quellen dar, weswegen auf ihre Auflistung verzichtet werden soll.

# Physische Besonderheiten



## 1. Herz-Kreislaufsystem

### a. Der (hydrostatische) Immersionsreflex

Der menschliche Körper ist bei Immersion (Eintauchen des Organismus in ein flüssiges Medium) mit einem Anstieg des Blutvolumens um ca. 700 bis 1100 ml im Brustkorb belastet.

Der Anstieg des zentralen Blutvolumens kommt grob durch zwei Mechanismen zustande:

1.) Der Wasserdruck wirkt auf die Venen. Da Venen dünnwandig und daher wand schwach sind, werden sie dadurch komprimiert. Während beim Wechsel vom Liegen zum Stehen ca. 0,5 Liter Blut in den Beinvenen versacken können, wird dieses Volumen im Wasser quasi schwerelos und kann somit leichter in Richtung Herzen zurück fließen.

2.) Im Blut gelöste Nährstoffe und Blutwasser werden durch den arteriellen Blutdruck (im Mittel 100 mmHg) in die umliegenden Gewebe ausgepresst und anschließend in den Venen (Zentralvenöser Druck 0-8 mmHg) die Abfallprodukte und Gewebewasser wieder resorbiert. Der Auspressdruck ergibt sich unter anderem aus dem Druck, den die Blutsäule selbst ausübt. Im Fall der Beinvenen beim aufrecht stehenden Menschen immerhin mehr als 1m (Blut-) Wassersäule. Im Zustand der Immersion fällt diese Komponente der arteriellen Wasser\_aus\_dem\_Blutstrom\_hinaus treibenden Kraft weg. Es wird demnach Gewebewasser eingeschmolzen, sprich resorbiert.

Ein Effekt, der sich zum ersten hinzuaddiert!

Als Konsequenz kommt es unter anderem zu:

- Einem erniedrigten Puls: Da das Herz vermehrt mit Blut gefüllt wird, weil der Blutrückstrom erhöht ist, genügt eine reduzierte Schlagfrequenz um dasselbe Volumen pro Minute zu fördern. Der Puls beruhigt sich schnell wieder.
- Einer Verengung der peripheren Gefäße: Der Wasserdruck lastet auf den Körpervenen. Kälte fördert diesen Mechanismus.
- Der längerfristigen Folge, das zusätzliche nicht benötigte Volumen über die Niere auszuschleiden (ein Mechanismus der „Taucherdiurese“).
- Einer Abnahme der Vitalkapazität (Volumen zwischen maximaler Ein- und maximaler Ausatmung) durch Einengung des Brustkorbs durch den Wasserdruck von außen und der Lungen durch das zentralisierte Blutvolumen (in den Lungengefäßen) von innen. Besonders deutlich ist diese Abnahme der Vitalkapazität beim Schnorchelnden, in dessen Lungen Oberflächendruck herrscht, während von außen der Wasserdruck auf den Brustkorb drückt. Dieser Mechanismus genügt schon bei Immersion eines aufrecht stehenden Erwachsenen bis zum Hals um eine milde Hypoxie auszulösen! Ein schlecht eingestellter Lungenautomat mit hohem Einatemwiderstand (und normalem Ausatemwiderstand) hat übrigens dieselbe Folge.

Obwohl vergleichbare Studien mit Kindern kaum zu finden sind, kann von einer ähnlichen physiologischen Situation ausgegangen werden.

Das Herz entspricht etwa der geschlossenen Faust des Trägers, ist also bei Kindern dementsprechend klein.

Je jünger das Kind ist, desto

- geringer ist die Kontraktilität seines Herzens (Fähigkeit sich zusammenzuziehen).
- geringer ist das pro Schlag ausgeworfene Herzvolumen (Schlagvolumen). Das Herzminutenvolumen muss daher vorwiegend über die Herzfrequenz geregelt werden.
- höher ist sein Sauerstoffverbrauch.

Jahre	Schlagvolumen (ml)	Herzfrequenz
2	15,3	100
4	23,7	98
6	28,2	96
8	32,4	94
10	37,1	90
12	42,0	86
14	47,1	84

Da also das kleine Kinderherz bereits unter Normalbedingungen die erforderliche Arbeit auf einem höheren Pulsniveau erbringt (es arbeitet bereits auf Hochtouren), ist seine Belastbarkeit eingeschränkt.

Der Immersionsreflex stellt damit eine zusätzliche Belastung (neben dem Hantieren mit schwerer sperriger Ausrüstung, dem psychischen Stress, etc.) dar, bei der es nebst den physiologischen Mechanismen der Herzdehnung aufgrund des erhöhten Blutvolumens und dem sich anschließenden gesteigerten Wasserlassen auch zu Herzrhythmusstörungen kommen kann.

Es ist wichtig, die Kinder vor unnötiger körperlicher Belastung bzw. Überforderung zum Beispiel durch lange Schnorchelstrecken, Strömungstauchgänge, etc. zu schützen. Eine mögliche präventive Konsequenz könnte in der Einführung eines Leistungstest für schnorchel- und tauchwillige Kinder liegen.

#### **b. Offenes Foramen ovale, PFO (Patent Foramen Ovale)**

Es handelt sich beim offen gebliebenen Foramen ovale um ein Relikt aus unserer fetalen Entwicklungszeit, in der das Blut über die Nabelschnur zum Mutterkuchen geleitet und dort mit Sauerstoff angereichert wird, und die Lungenbläschen, die erst im nachgeburtlichen Leben der Sauerstoffversorgung des Organismus dienen, ökonomischer Weise nur zur Eigenerhaltung durchblutet werden.

In dieser vorgeburtlichen Phase des Lebens wird das Blut direkt durch das Foramen ovale („ovales Loch“) in der Herzscheidewand vom rechten zum linken Herzvorhof kurzgeschlossen und damit der Lungenkreislauf umgangen bzw. eingespart. Wenn unmittelbar nach Durchtrennung der Nabelschnur die Lungen entfaltet und gebraucht werden und der Lungenkreislauf einsetzen muss, schließt sich das Foramen ovale in den ersten Lebensmonaten durch den nun erhöhten Druck im linken Vorhof und das dadurch ausgelöste Anpressen und Verwachsen eines Septums (Gewebekulisse) auf das Foramen ovale. Es wird also durch geänderte Druckverhältnisse das vorgeburtliche „Ventil“ Foramen ovale geschlossen und kann mit der Zeit verwachsen.

Allerdings schließt es sich in vielen Fällen nicht oder nur unvollständig. Angaben zur Häufigkeit des persistierenden Foramen ovale schwanken zwischen 40 – 50% bei 8-jährigen und fallen auf 30% bei über 20-jährigen.

Normalerweise kann ausgehend vom höheren Druck in der linken Herzkammer Blut nur von links nach rechts kreuzen. Es kann Blut vom Körper- in den Lungenkreislauf übertreten und nicht umgekehrt. Das ist sehr sinnvoll: eine Aufgabe der Lungenkapillaren besteht darin, das Blut von Keimen, Thromben, etc. zu filtern.

Ein *persistierendes* (andauerndes, verbleibendes) Foramen ovale kann Auswirkungen mit sich ziehen und damit funktionell wichtig werden: „*funktionelles* Foramen ovale“

- Durch ein großes PFO kann sehr viel Blut aus dem linken ins rechte Herzen übertreten (Shuntvolumen des Herzens) und damit den Lungenkreislauf belasten bzw. überlasten.
- Die Druckverhältnisse können sich durch gewisse Auslöser ändern (u.a. bestimmte Lungenerkrankungen, oder bei erhöhtem Druck im Brustkorb z.B. durch Husten, Trompete spielen, Pressen beim Stuhlgang, aber auch bei Verlegung vieler Lungengefäße durch multiple Gasembolien). Es herrscht dann die paradoxe Situation, dass Blut unter Umgehung des Lungenfilters von rechts (venös) nach links (arteriell) wechseln und den großen Kreislauf erreichen kann.

Die eigentliche medizinische Bedeutung liegt nun darin, dass Infektionen, Thromben, Bläschen etc., durch ein funktionelles PFO bei geänderten Druckverhältnissen von der venösen auf die arterielle Seite kreuzen können und so im gesamten Organismus „mit Hochdruck“ verstreut werden. Besonders sensibel auf eingeschwemmte Thromben, Bläschen, etc. reagiert das Gehirn. Somit kann aus einer vergleichsweise harmlosen, kleinen Lungenembolie eine arterielle Gasembolie (AGE) mit fatalen Folgen resultieren.

Die Risiken des Übertritts von Gasblasen durch Änderung der Druckverhältnisse im Brustkorb bzw. Herzen beim Tauchen z.B. ausgelöst mit Pressatmung, Valsalva-Manöver, Hustenattacken, etc. durch ein offenes Loch in der Herzscheidewand sind allgemein akzeptiert, obwohl zur Diskussion gestellt werden soll, dass Kinder unter Umständen einem höheren Risiko ausgesetzt sind.

Die Häufigkeitswahrscheinlichkeit eines PFO ist bei Kindern höher als bei Erwachsenen und es liegen zudem vor dem 8. Lebensjahr vermehrt nicht-belüftete aber durchblutete Lungenbläschen (Alveolen) vor. Diese Lungenbläschen tragen

wegen der fehlenden Belüftung nicht zur Abatmung von Inertgasen bei, und das Blut bzw. eventuell darin transportierte Thromben, Bläschen, etc. passieren ungehindert den Lungenfilter und gelangen so in den linken Herzvorhof, die linke Herzkammer und via Aorta (Körperschlagader) in den großen Kreislauf.

Da das Blut in diesen Alveolen geshuntet, also kurzgeschlossen, wird, spricht man vom Shuntvolumen der Lunge.

Dieses Shuntvolumen erhöht nicht nur das Risiko eines Übertritts unerwünschter Fremdkörper, sondern verlangsamt zusätzlich die Entsättigung während der Dekompression (Abgabe von Stickstoff aus dem Venenblut in die Lunge) und steigert dadurch das DCS-Risiko (Decompression Sickness).

Zwei weitere Umstände, die im Verdacht stehen zu einer erhöhten Gasblasenbildung zu führen, sind die bei Kindern kleinen Herzklappen (Mechanismus: gleiches Zeitvolumen bei kleinerem Durchmesser → höhere Geschwindigkeit → Strömung verändert sich von laminar → turbulent → rel. Unterdruck im Zentrum eines Wirbels (da die Schwerkraft nach außen drückt) → Bläschenbildung), und die Turbulenzen im Mündungsbereich der unteren Hohlvene, die sich im Herzultraschall ab dem 5. Lebensjahr konstant finden lassen.

Es bleibt festzuhalten, dass keine speziellen Austausch Tabellen für Kinder beim Tauchen verfügbar sind und gleichzeitig durch die veränderten physiologischen Bedingungen der Kinder ein unkalkulierbares Risiko entsteht, eine DCI (Decompression Illness) zu erleiden.

Es sollte daher mit Kindern weit innerhalb der (Erwachsenen-) Nullzeitgrenzen getaucht und auf Dekotauchgänge gänzlich verzichtet werden.

### **c. Funktionelle Herzgeräusche beim Kind**

Bei den Herzgeräuschen unterscheidet man die häufigeren, funktionellen Herzgeräusche, die besonders während der Wachstumsphase auftreten und aufgrund der Größenänderungen verschiedener Herzteile entstehen (sie haben keine Auswirkung und verschwinden von selbst mit dem Lebensalter), von den organischen Herzgeräuschen, die tatsächlich pathologisch und also wichtig sind.

Generell sind Herzgeräusche bei der Hälfte der 3-14 Jährigen zu finden. Organische Herzgeräusche betreffen nur 0,5% der Kinder, sind aber differentialdiagnostisch für Kinder mit dem Wunsch, eine Tauchtauglichkeit zu erlangen, besonders wichtig.

Die heutige Kinderkardiologie vermag Herzgeräusche mit hoher Trefferquote und großer Sicherheit zu diagnostizieren. Über die Auswirkungen des Tauchens auf Kinderherzen existieren keine langfristigen Studien und Folgeschäden sind bis dato nicht diagnostiziert worden

## 2. Gasaustausch

### a. Entwicklung der Lungenbläschen (Alveolen)

Während bei der Geburt die Zahl der Alveolen bei ungefähr 24 Millionen liegt, erreichen sie ihr Maximum (300 bis 600 Millionen) erst bis zum 8. Lebensjahr. Bis zu diesem Lebensalter vergrößern sich die Lungenvolumina anhand der zunehmenden Anzahl der Alveolen um später durch eine Größenzunahme der einzelnen Alveolen bis zum Ende des Knochenwachstums des Brustkorbs im 3. Lebensjahrzehnt zu zunehmen.

### b. Lungenvolumina

Wie bereits oben besprochen, ist eine Immersion bei Erwachsenen verbunden mit der Zentralisation von 700-1100 ml Blut. Dadurch nimmt sowohl die Vitalkapazität wie auch das expiratorische Reservevolumen ab.

Vergleichbare Studien bei Kindern stehen noch aus, weswegen von einer sehr ähnlichen Situation ausgegangen werden muss. Zur Messung der Lungenparameter ist eine gute Kooperationsbereitschaft des Kindes Voraussetzung.

### c. Atemarbeit

Betreffend die (statischen und dynamischen) Atemwiderstände von Kindern ist zu vermerken, dass

- Kinder vorwiegend durch die Nase atmen. Sie sind Nasenatmer! Die Nasenhöhle ist jedoch eng, woraus sich ein hoher Atemwegswiderstand ergibt, zumal auch die Zunge verhältnismäßig groß ist.
- die Atemwege bzw. deren Knorpelspannen noch wenig ausgesteift sind und deshalb leicht kollabieren können.
- das elastische Gewebe der Lungen erst im 18. Lebensjahr voll entwickelt ist; zuvor ist die Lunge noch relativ unelastisch und wenig dehnbar.

Bis zum Lebensalter von 18 Jahren nehmen die Atemwiderstände konstant durch eine Vergrößerung des Durchmessers der Bronchien und eine Verringerung der Dehnbarkeit (Compliance) der Luftröhre ab.

Beim Atmen werden jene Atemwege, die in den Lungen selbst verlaufen, durch den Einatemzug der umgebenden Lungen geöffnet und offen gehalten, während bei der Ausatmung dieser Zug entfällt und sogar ein gegenteiliger Effekt durch die sie umgebenden, komprimierenden Lungen auftreten kann.

Dementsprechend ist die Einatemzeit bei Kindern unter 8 Jahren verkürzt und die Ausatemphase verlängert.

Ruhefrequenzen:

Neugeborenes (bis 28. Tag)	40 - 60/min.
Säugling (bis Ende 1. Lj)	30 - 40/min.
Kleinkind (bis Ende 5. Lj)	25 - 30/min.
Schulkind (bis Ende 14. Lj)	14 - 20/min.
Jugendliche (Erwachsenenwert)	14 - 16/min.



Hinzu kommt noch, dass bei den häufigen Erkältungskrankheiten im Kindesalter (das Immunsystem lernt in diesen jungen Jahren seine potentiell feindliche Umgebung kennen und sich dagegen wehren!) auch die oberen Atemwege betroffen sind, die mit einer vermehrten Schleimproduktion reagieren, was zusätzlich die Atemtätigkeit erschweren, behindern, und sogar unmöglich machen kann.

Diese Umstände erklären, dass aufgrund der niedrigen Dehnbarkeit der Lungen selbst und aufgrund des erhöhten Ausatemwiderstands das Airtrapping („Gasblockade“, „Luftfang“, „Luftfalle“) bei einem Kind bereits unter normobaren Verhältnissen möglich ist, und erst recht unter den Bedingungen des Tauchens.

Ein Kind atmet unter Ruhebedingungen öfter und dabei weniger Volumen. Der kindliche Organismus antwortet auf Belastungen vorwiegend mit einer Erhöhung der Atemfrequenz. Dies ist kein Zeichen der Überanstrengung, sondern notwendig, um die mangelnde Atemtiefe aufgrund einer noch schwach entwickelten Inspirationsmuskulatur (Einatemmuskulatur) auszugleichen.

Erwähnenswert scheint noch die Tatsache zu sein, dass allergische Erkrankungen (z.B. allergisches Asthma) bei Kindern häufiger sind als bei Erwachsenen. Vorliegendes Asthma stellt eine Kontraindikation zur Ausübung des Tauchsports dar, und es muss beim Kind diesbezüglich auf eine gründliche Untersuchung Wert gelegt werden.

Da beim Schnorcheln gegen den Wasserdruck geatmet werden muss (oder beim schlecht eingestellten Regler gegen einen entsprechend hohen Einatemwiderstand), liegt hier eine ganz besonders intensive Atemarbeit vor, obwohl sie nicht als solche empfunden wird. Es handelt sich um eine leichte Unterdruckatmung, die in horizontaler Lage besser verkraftet wird, als in vertikaler.

#### **d. Arterielle Blutgasanalyse (Gasometrie)**

Der kindliche Körper benötigt für seine Entwicklung viel Sauerstoff (O<sub>2</sub>). Kinder haben eine gesteigerte Stoffwechselrate und damit einen erhöhten Sauerstoffverbrauch. Er ist (bezogen auf das Körpergewicht) doppelt so hoch wie bei Erwachsenen! Dementsprechend ist ihr Risiko eine Hypoxie (Sauerstoffarmut) zu erleiden erhöht.

Bei einem Kind besteht in Ruhe eine unauffällige, physiologische Sauerstoffarmut, die schnell bis zum 8. Lebensjahr und dann langsam abnimmt, um bis zum 14. Lebensjahr ganz zu verschwinden.

Alter	Blut pO <sub>2</sub> (mmHg)
Geburt	70
2. Lebensjahr	82
8. Lebensjahr	90
14. Lebensjahr	94
Erwachsene	94

Wie oben besprochen liegen vor dem 8. Lebensjahr vermehrt nichtbelüftete aber durchblutete Lungenbläschen (Alveolen) vor. Zu diesem Schluss kommt man anhand der Tatsache, dass einerseits die Vitalkapazität des Kindes erhöht, die Sauerstoffpartialdrücke im Blut allerdings erniedrigt sind. Ein Kind atmet also mehr Luft (und damit Sauerstoff) ein, im Blut findet sich allerdings weniger Sauerstoff als aufgrund der schnellen Atmung zu erwarten wäre. Der Gasaustausch funktioniert bei den nichtbelüfteten Alveolen nicht! Das hat Auswirkungen auf die Entsättigung während der Dekompression, wie bereits ausgeführt wurde.

Bedingt durch das unreife Nervenkleid bei Kindern können als Auslöser bereits kleine Mengen aspirierten Wassers genügen um über eine bronchiale Engstellung zu einem Stimmritzenkrampf zu führen. Eine dem Erwachsenen vergleichbare Atemwegskontrolle besteht nicht.

Es kann zusammenfassend gesagt werden, dass die Entwicklung der Lunge erst mit dem 18. Lebensjahr als abgeschlossen betrachtet werden kann und zuvor ein erhöhtes Risiko für Lungenbarotraumen, Essoufflement und Hypoxie angenommen werden muss. Die Druckbelastungen könnten zudem, besonders bei Kindern unter 8 Jahren, zu Entwicklungsstörungen der Lungenbläschen führen, und die Auf- und Entsättigungen sind bislang unbekannt und auch in keinem Versuch oder mathematischen Modell berechnet worden.

### **3. Kindliches HNO-System**

#### **a. Ohrtrumpete**

Die Ohrtrumpete (Tuba auditiva, Eustachische Röhre) ist im Vergleich zum Erwachsenen stärker gebogen und liegt bei Kindern mehr waagrecht, sodass die Muskeln für den Druckausgleich einen ungünstigen Winkel haben. Kinder sind daher anfälliger für Barotraumen in diesem Bereich. Ein Druckausgleich mit der Rachenmuskulatur, wie er geübten Erwachsenen gelingen kann, ist fast unmöglich, und so bleibt nur das Valsalva-Manöver (Druckausgleich mittels leichtem Ausatemdruck gegen die zugehaltene Nase) um einen Druckausgleich zu realisieren. Zumindest Tauchlehrer sollten sich dieser Tatsache bewusst werden, um den Kleinen diese Technik umfassend und schonend näher zu bringen.

Eine HNO-ärztliche Untersuchung mit Überprüfung des Druckausgleichs ist aus genanntem Grund dringend zu empfehlen. Ob ein Kind die Technik unter realen Bedingungen anzuwenden vermag, muss praxisnah erprobt werden. In der Literatur findet man Empfehlungen, die vom einfachen Ausprobieren im Schwimmbad bis zu einer Druckkammerfahrt reichen.

#### **b. Mittelohr**

Eine gründliche Untersuchung des kindlichen Mittelohrs scheint aus mehreren Gründen relevant.

Bis zu 50% aller 7- bis 8-jährigen leiden an einer Ohrenentzündung, die keinerlei Beschwerden im „normalen Leben“ hervorruft und deshalb unerkannt verläuft. Es sind die seromukösen HNO- Entzündungen im Kindesalter gleichfalls häufiger als im Erwachsenenalter.

Die Ursachen der auftretenden Mittelohrentzündungen sind banale Luftwegsinfekte, chronische Infekte der oberen Luftwege und chronisch entzündete Rachenmandeln. Eine Entzündung kann den Druckausgleich durch Schwellung der lokalen Schleimhaut erschweren bzw. unmöglich machen und damit an der Ausübung des Tauchsports hindern bzw. zu einem Barotrauma führen. Man kann sich leicht vorstellen, dass eine Schwellung der Schleimhaut im Bereich der Mündung der Ohrtrumpete deren Eingang verlegen kann.

Eine in der Regel HNO-ärztlich durchzuführende Tympanometrie (Messung der Trommelfellelastizität und der Tubendurchgängigkeit) zumindest bei der ersten Tauchtauglichkeitsuntersuchung kann klären, ob ein Druckausgleich überhaupt physiologisch machbar ist und prinzipiell erlernt werden kann.

### **c. Polypen**

Nasenpolypen sind gutartige Wucherungen der Nasenschleimhaut, die die Nebenhöhlen und die innere Nase auskleidet.

Da Polypen den Eingang zur Ohrtrumpete verlegen und so ein Druckausgleichsproblem schaffen können, wird eine Nasen-Rachen-Endoskopie zu deren Ausschluss dringend empfohlen. Mit fortschreitendem Schulalter sind die Adenoide (Polypen, drüsige Wucherungen), mit beginnendem Jugendalter auch die wiederholten Nasennebenhöhlen- und Mittelohrentzündungen, rückläufig.

### **d. Nasennebenhöhlen**

Während die Siebbeinzellen schon zur Geburt beginnend entwickelt sind, folgt die Entwicklung der Kiefer- und Keilbeinhöhlen im 3.-4. Lebensjahr, die Stirnhöhlen erst ab dem 6. Lebensjahr. Obwohl die Komplikationen bei Infektionen der kindlichen Nasennebenhöhlen gravierender verlaufen, sind sie doch glücklicherweise insgesamt sehr selten und das Risiko eines NNH (Nasennebenhöhlen)-Barotraumata nach HNO-ärztlicher Untersuchung gering.

## **4. Bewegungsapparat**

### **a. Knochen- und Muskelwachstum**

Das physiologische Wachstum der langen Röhrenknochen (Oberschenkel, Oberarm, etc.) und Wirbelkörper und auch der mitwachsenden Muskulatur ist bei Frauen bis zum 20. Lebensjahr, bei Männern mit 25 Jahren abgeschlossen. Bis zu diesem Alter finden sich an beiden Enden der Knochen nahe dem Gelenk sogenannte Wachstumszonen. Von diesen Zonen geht das Längenwachstum aus. Es liegt die Vermutung nahe, dass eine ungenügende Entsättigung im Bereich der Wachstumszonen zu einer Wachstumsstörung führen kann.

Es wird diskutiert, dass stille Bläschen die kleinen Blutgefäße im Knochen verlegen können und so eine Nährstoffminderversorgung oder im Extremfall sogar eine aseptische Knochennekrose (= Absterben des Knochens ohne Entzündung) bedingen können. Dies setzt voraus, dass Bläschen entstanden sein müssen.

Langfristige Studien fehlen derzeit noch und so besteht die einzige Möglichkeit in der Prävention von Bläschen durch Minimierung der Gewebeaufsättigung mit Inertgasen.

Die anaerobe Kapazität (die Leistungsfähigkeit oberhalb der Dauerleistungsgrenze) des Kindes ist durch den Mangel an Enzymtätigkeiten gegenüber Jugendlichen und

Erwachsenen wesentlich geringer. Kinder erreichen auch bei maximalen Belastungen nur mittelgradige Laktatwerte (Laktat = Milchsäure). Bezogen auf die Muskelmasse, stellen sie jedoch dieselbe Belastung dar wie hohe Werte im Erwachsenenalter, wie Messungen von Stresshormonen belegen. Auch die Laktatelimination und somit die Erholungsfähigkeit sind verringert.

Durch das Längenwachstum der Knochen und der folgenden Muskulatur kann eine mehr oder weniger ausgeprägte Störung der Feinmotorik resultieren. Die Kinder können teilweise grobmotorisch wirken.

Der Körper muss lernen, mit den geänderten Größen- und Längenverhältnissen zurecht zu kommen.

#### **b. Epiphysenfugen (Wachstumsfugen)**

In einigen Arbeiten wird insbesondere auf die Möglichkeit einer lokalen Entsättigungsstörung der Inertgase in Höhe der Wachstumszone der langen Knochen hingewiesen. Dies ist insofern nicht schlüssig, als dass es sich bei diesen Zonen um stoffwechselaktives, gut durchblutetes und damit „schnelles“ Gewebe handelt (im Gegensatz zum ausgereiften Knochen des Erwachsenen), das bei den üblichen kurzen Tauchgängen und den geringen Tiefen für Kinder nicht übersättigt sein kann/ sollte. Eventuell existiert der Unterschied in der Pathogenese, sodass zwischen der lokalen Blasenbildung im schnellen Gewebe „Wachstumszone“ und einer Verschleppung heterotoper Bläschen auf dem Blutweg, unterschieden werden muss.

Es gibt Verfasser, die der Meinung sind, die Wachstumszonen sättigen entsprechend ihrer guten Blutversorgung schnell auf und geben die Inertgase –wie alle Knochen- langsam wieder ab. Beweise gibt es bislang in keine Richtung.

#### **c. Belastung durch hohes Gewicht**

Der Tatsache, dass eine Schädigung der Knochenkerne, Wachstumsfugen und der Gelenke durch Tragen zu hoher Lasten bekannt ist, sollte Rechnung getragen werden indem den Kindern eine kindgerechte Ausrüstung -insbesondere eine leichte Tauchflasche- zur Verfügung steht. Manche Autoren tendieren dazu, der Gefahr einer Schädigung durch zu hohe Lasten beim Tauchen mehr Bedeutung zukommen zu lassen als den anderen Risiken.

## **5. Nervensystem**

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Beeinträchtigungen durch die erhöhten Partialdrücke der Atemgase auf das kindliche Gehirn nicht mit dem eines Erwachsenen gleichgesetzt werden können, sondern das unreife Nervensystem empfindlicher reagiert. Aus diesem Grund verbieten sich größere Tiefen. Ein Grund weshalb die ARPE das Tauchen vor/ in der Pubertät auf 15m beschränkt.

## 6. Thermoregulation

Der Mensch gehört zu den gleichwarmen Lebewesen, deren Körperkerntemperatur zur Aufrechterhaltung der Organfunktionen konstant gehalten werden muss. Diese Konstanz ist nur möglich, wenn Wärmeproduktion und Wärmeaufnahme mit der Wärmeabgabe im Gleichgewicht stehen.

Die Mechanismen, die den Taucher vor Auskühlung schützen, also dem Erhalt der Eigenwärme dienen, sind:

- Engstellung der Gefäße der Körperhülle, insbesondere der Haut.
- Erhöhte Wärmeproduktion in den inneren Organen (v.a. in der Leber) und in der Skelettmuskulatur.
- Bewußte Mechanismen zur Eindämmung der Wärmeabgabe sind –wie beim Tauchen üblich- der Tauchanzug und allenfalls eine Anpassung des Verhaltens (keine unnötigen Bewegungen im Nasstauchanzug bei Kaltwasser).

Als Ursachen für Wärmeverlust kommen für den Taucher die Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion in Frage, während die Abgabe mittels Verdunstung und Strahlung unter Wasser von untergeordneter Bedeutung sind. Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist 25mal höher als die von Luft. Durch die Gegenmaßnahmen kühlt der Körper zwar nicht 25mal schneller ab, aber immerhin noch um den Faktor 3-4.

Nicht unterschätzen sollte man die Auskühlung über die Atmung, da die trockene Luft angewärmt (direkter Wärmeverlust) und angefeuchtet (Verdunstungswärme) wird, und obendrein noch dichter –also besser wärmeleitfähig- ist. Zusätzlich wird durch die Anfeuchtung der trockenen Luft dem Körper Wasser entzogen. Er „dehydriert“.

Ganz allgemein ist das Temperaturregulationszentrum bei Kindern noch unterentwickelt und die Möglichkeiten zur Adaption in beide Richtungen (heiß/ kalt) eingeschränkt. Ebenso eingeschränkt ist ihre Fähigkeit, die eigene Unterkühlung oder Überhitzung wahrzunehmen.

### a. Hypothermie (Unterkühlung)

Ein Kind kühlt an Land durch sein ungünstiges Verhältnis von Körperoberfläche zu Volumen und die dünne Fettgewebsschicht sehr leicht aus. Die Hypothermie fördernd wirken noch kalte Wassertemperaturen, die hohe Wärmeleitfähigkeit von Wasser (25mal höher als Luft) und oftmals ein schlecht sitzender Tauchanzug.

Da bis zum 7. Lebensjahr der Körper eines Kindes also mit einem sehr hohen Energieumsatz arbeitet, kann ein Wärmeverlust in diesen Jahren schwer durch eine Erhöhung der Wärmeproduktion ausgeglichen werden. Nach diesem Alter nimmt der Grundumsatz (Umsatz in Ruhe) bis zum Erwachsenenalter ständig ab.

Kinder haben weiters aufgrund einer etwas unterschiedlichen Regulation ihrer Temperatur einen höheren Muskeltonus (Muskelspannung, die Muskeln sind steifer), was die Koordinationsfähigkeit bei Hypothermie beeinträchtigen kann.

Die FFESSM (Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins) empfiehlt:

<12°C	Kein Tauchen
12°C	Max 10 Minuten
>12°C	Max 25 Minuten
<25°C	Kompletter Neoprenanzug vorgeschrieben

Der alte Tauchanzug von Mutter oder Vater leistet im kalten Wasser nicht denselben Dienst wie ein neuwertiger Kindertauchanzug. Die Erwachsenen wachsen zwar viel langsamer aus ihren Tauchanzügen als die Kleinen, dafür haben die Kinder einen gut sitzenden Anzug umso nötiger!

### **b. Hyperthermie (Überhitzung)**

Bedingt durch die unreifen kindlichen Kälte- und Wärmeadaptionsmechanismen ist die Gefahr, eine Überhitzung zu erleiden, ebenfalls erhöht. Der obligate, gut isolierende Tauchanzug sollte deshalb erst direkt vor dem Tauchgang angezogen werden.

In diesem Zusammenhang sei auf das Risiko einer Hyperthermie durch Dehydratation (Wassermangel) hingewiesen. Der Wasser- und Elektrolytumsatz ist im Kindesalter generell höher. Ein Säugling beispielsweise trinkt täglich 1/6 seines Körpergewichtes, ein Erwachsener weniger als 1/20.

Defizite durch Verluste bei Durchfällen, Erbrechen oder Fieber führen schnell zur Austrocknung (Exsikkose). Auch eine Ernährungsstörung (z.B. Magersucht) kann zur Dehydrierung führen. Während eines Urlaubs mit tropisch heißen Temperaturen bietet sich ein Verzicht auf kulinarische Köstlichkeiten geradezu an...

Durch die Dehydratation nimmt die körperliche Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit ab, steht dem Körper weniger Blutwasser zum Schwitzen zur Verfügung (→Hyperthermie), und die Entsättigung der Körpergewebe via Blut und Lunge ist verlangsamt (→DCS –Risiko). Ein ungünstiger Zustand bei Kindern wie auch Erwachsenen.

Das kalte Wasser und die damit verbundene Unterkühlung limitiert das Tauchen in heimischen Gewässern. Das gilt in besonderem Maße für Kinder, da eine Unterkühlung bei ihnen sogar in sehr warmen Gewässern auftreten kann. In exotischen Gefilden denkt man an Dehydrierung und Hyperthermie aufgrund der hohen Temperaturen und der hohen Luftfeuchtigkeit, allerdings sollte im Zusammenhang mit tauchenden Kindern stets an eine mögliche Unterkühlung gedacht werden!

Die wichtigste Rolle kommt der Vorsorge zu. Die Eltern müssen aufmerksam das Wohlbefinden ihres Sprösslings verfolgen und bereits bei scheinbar harmlosen Unpässlichkeiten das Tauchen kategorisch verbieten bzw. sollten sie immer Rücksprache mit dem Tauchlehrer und/ oder einem Taucharzt halten. Ganz besonders muss bei Kindern für ausreichende Flüssigkeits- und Nährstoffzufuhr vor und nach dem Tauchen gesorgt werden. Dauer und Tiefe des Tauchgangs müssen angepasst sein an das Wohlbefinden, sodass auch zu Ende des Tauchgangs noch genügend kindliche Reserven verfügbar sind und damit die Lust am Tauchen nicht genommen wird.

## Gerätetechnische Anforderungen

Eine Ausrüstung, die nicht für Kinder adaptiert ist und den kindlichen Anforderungen nicht entspricht, kann Relevanz erlangen, weswegen hier am Ende der physischen Besonderheiten kurz auf die gerätetechnischen Anforderungen eingegangen werden soll.

Die Tauchausrüstung:

- weiche Flossen, die dem kindlichen Trainingszustand entsprechen.
- Kindertauchmaske, angenehmer und guter Sitz sind wichtig.
- Kinderschnorchel mit wenig Totraum
- Lungenautomat mit niedrigem Atemwiderstand, kleinem Totraum und weichem, kleinem Mundstück
- Neoprenanzug mit guter Passform
- Jacket mit weicher Rückenschale und gut zu bedienendem Inflatör
- Kleine, leichte Tauchflasche; wenn möglich im Wasser anziehen
- Tauchlehrer-Ausrüstung: Oktopus mit kleinem Mundstück

Verschiedene Hersteller widmen sich bereits aufmerksam der Entwicklung kindgerechter Tauchartikel. Hieran zu sparen und ausrangiertes Equipment aus Papas Gammelkiste zu verwenden, hilft nicht weiter und ist nicht zweckdienlich. Schließlich geht es darum, den Kleinen den Spaß am Tauchen zu vermitteln.

## Psychische Besonderheiten

Die psychische Reife von Kindern lässt sich insgesamt schwer beurteilen. Zum Erreichen der Tauchtauglichkeit sind gewisse intellektuelle Grundfähigkeiten erforderlich. Tauchende Kinder sollten die Grundtheorie des Tauchens begreifen, eine Situation sicher analysieren und erfassen können und in ihrem Wesen eine gewisse Selbständigkeit an den Tag legen.

Mediziner gehen von einer instabilen Psyche bis zum 10. Lebensjahr aus. Das bedeutet, dass unvorhersehbare Reaktionen in Stresssituationen nicht bewältigt werden können. Kinder haben eine deutlich erhöhte Panikbereitschaft und eine niedrigere Konzentrationsstärke (nur motivierte Kinder akzeptieren die zur Ausbildung erforderliche Disziplin) als Erwachsene. Weiterhin unterliegen sie starken gefühlsmäßigen Schwankungen. Sie sind somit auch mental nicht in der Lage, die in Notfallsituationen von einem erwachsenen Tauchpartner erwartete Hilfe zu leisten.

Beschränkungen kindlicher Aktivitäten wegen mangelnder psychischer Reife orientieren sich am chronologischen Lebensalter und schulischen Niveau. Im Straßenverkehr sind Kinder ab 14 Jahren strafmündig. Die Richtlinien der großen Tauchorganisationen gehen dahin, Schulkinder an Schnorchel- und leichten Tauchaktivitäten teilhaben zu lassen. Die Kinder befinden sich damit im Stadium der „Konkreten Operationen“ nach Piagets. Auf die entwicklungspsychologischen Hintergründe soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Eine entsprechende Analyse und Diskussion soll fachkompetente(re)n Personen überlassen bleiben.

## **Fazit:**

Besondere Aufmerksamkeit verdient:

- Tauchtauglichkeitsuntersuchung nach ECHM (European Committee for Hyperbaric Medicine)-Standard . Eine alleinige Auskunft der Erziehungsberechtigten im Rahmen eines Selbstauskunftsbogens ist nicht ausreichend!
- Sollte der untersuchende Taucherarzt die Lungenfunktion und die Tympanometrie nicht selbst durchführen können, muss diesbezüglich ein fachärztliches Konsil eingeholt werden.
- Der betreuende Tauchlehrer muss eine entsprechende pädagogische Ausbildung oder Erfahrung vorweisen können, um die kindliche Physiologie wissen und ein kindgerechtes Ausbildungsmaterial stellen.
- Für eine kindgerechte Ausrüstung muss gesorgt sein.
- Folgende z.B. von der ARPE (Association de Réflexion pour la Plongée des Enfants) empfohlene Tauchtiefen und –zeiten sollten eingehalten werden:

<b>Alter</b>	<b>Maximale Tiefe</b>	<b>Maximale Aufenthaltsdauer</b>
Bis zum 8. Lj.	2 bis 3 Meter	10 Minuten
9.-10. Lj.	3-5 Meter	15 Minuten
11.-12. Lj.	5-8 Meter	20 Minuten
13.-14. Lj.	8-10 Meter	25 Minuten
> 14. Lj. wenn vor / in Pubertät	15 Meter	30 Minuten
> 14 Lj. wenn nach der Pubertät	15-20 Meter	30 Minuten

- Auf Wiederholungstauchgänge muss gänzlich verzichtet werden.
- Selbstverständlich gelten bei Kindern alle Vorsichtsregeln in verstärktem Maß (z.B. einen Tag vor Abflug kein Tauchen mehr).

## **Schlussbemerkung**

Der Sinn vorliegender Arbeit soll einzig und ausschließlich dem Zweck dienen, eine verstärkte Aufmerksamkeit aller Betroffenen zu erreichen. Es soll weder abschrecken noch ermutigen, sondern motivieren zum Denken, in Anspruch nehmen eines ärztlichen Konsils und zur Kommunikation untereinander.

Alle ausgeführten Punkte bedürfen einer ausführlichen und fachkompetenten Diskussion, da die Korrektheit der zur Diskussion gestellten Punkte nicht endgültig beurteilt werden kann.