

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Institut für Rechtsmedizin

Direktor: Prof. Dr. Benjamin Ondruschka

Analyse tödlicher Tauchunfälle am Beispiel des Hemmoorsees und Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Dorit Schiller
aus Gettorf

Hamburg 2021

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 25.01.2022

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. Dirk Westermann

Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter: Prof. Dr. Klaus Püschel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1	Definition Tauchen	S. 1
1.2	Begriffsdefinition „tödlicher Tauchunfall“ .	S. 3
1.3	Veranlassung für das Thema einer Untersuchung tödlicher Tauchunfälle	S. 3
1.4	Problembereiche bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle	S. 4
1.5	Zielsetzung der Dissertation	S. 5

2. Material und Methoden

2.1	Primärdaten	S. 7
2.2	Methoden	S. 7
2.3	Literatur	S. 8

3. Häufige Todesursachen tödlicher Tauchunfälle

3.1	Begrifflichkeiten	S. 9
3.2	Auslöser, Schädigungsmechanismen, gesundheitliche Schädigungen und Todesursachen bei tödlichen Tauchunfällen	S. 10
3.3	Physiologische Besonderheiten des Tauchsports	S. 16
3.4	Barotrauma	S. 17
3.5.	Arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lungen	S. 17
3.6	Dekompressionskrankheit	S. 19
3.7	Bewusstseinseinschränkung und Bewusstlosigkeit durch Intoxikationen	S. 21
3.7.1	Stickstoffnarkose/“Tiefenrausch“	S. 21
3.7.2	Sauerstofftoxizität	S. 24
3.7.3	Kohlenstoffdioxid, Essoufflement und Kohlenstoffdioxid-Retainer	S. 24
3.8	Kardiale Vorerkrankungen	S. 28
3.8.1	Kardiovaskuläre und valvuläre Vorerkrankungen	S. 28
3.8.2	Herzrhythmusstörungen	S. 29
3.8.2.1	Tauchreflex und Badetod	S. 29
3.8.2.2	Ionenkanalerkrankungen	S. 30
3.8.2.3	Herzrhythmusstörungen anderer Genese	S. 32
3.8.3	Strukturelle Herzkrankheiten	S. 32
3.8.4	Immersionslungenödem/Taucherlungenödem	S. 32
3.8.4.1	Swimming induced pulmonary edema (SIPE)	S. 34
3.8.4.2	Taucherlungenödem (SDPE) und Stellenwert einer diastolischen Dysfunktion	S. 35
3.9	Besonderheiten beim Apnoetauchen	S. 43
3.10	Vereisung von Atemreglern	S. 44
3.11	Besonderheiten beim Rebreather-Tauchen	S. 46

4. Fallanalysen der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018

4.1.	Der Hemmoorsee - Überblick	S. 48
4.2.	Fallanalysen	S. 51
4.2.1	Fall 1	S. 51

4.2.2	Fall 2	S. 61
4.2.3	Fall 3	S. 69
4.2.4	Fall 4	S. 82
4.2.5	Fall 5	S. 86
4.2.6	Fall 6	S. 94
4.2.7	Fall 7	S. 103
4.2.8	Fall 8	S. 108
4.2.9	Fall 9	S. 112
4.2.10	Fall 10	S. 121
4.2.11	Fall 11	S. 128
4.2.12	Fall 12	S. 135
4.2.13	Fall 13 und 14	S. 144
4.2.14	Fall 15	S. 159
4.2.15	Fall 16	S. 165
4.2.16	Fall 17	S. 172

5. Entwicklung eines standardisierten Verfahrens bei Tauchunfällen

5.1	Vorgehen vor Ort	S. 178
5.1.1	Allgemeine Anamnese	S. 179
5.1.2	Tauchgangspezifische Befragung	S. 185
5.1.3	Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen	S. 190
5.1.4	Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau und Dokumentation der Ausrüstung	S. 192
5.2	Weiteres Vorgehen	S. 199
5.3	Technische Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchprofils, der Atemgase sowie Beurteilung der Umstände durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen	S. 200
5.3.1	Untersuchung der Tauchausrüstung	S. 201
5.3.2	Untersuchung der Atemgase	S. 206
5.3.3	Untersuchung des Tauchcomputerprofils	S. 208
5.3.4	Beurteilung der technischen Auswertung	S. 211
5.4	Rechtsmedizinische Untersuchung	S. 211
5.4.1	Allgemeines zur rechtsmedizinischen Untersuchung	S. 211
5.4.2	Postmortale radiologische Bildgebung	S. 213
5.4.2.1	Postmortale Dekompressionsartefakte (PMDA)	S. 215
5.4.2.2	Fäulnisgase	S. 215
5.4.2.3	Gasvolumina durch Trauma/Wiederbelebung	S. 216
5.4.2.4	Ertrinken	S. 216
5.4.2.5	Dekompressionskrankheit	S. 217
5.4.2.6	Arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lungen	S. 217
5.4.3	Externe Untersuchung	S. 219
5.4.4	Sektion/Interne Untersuchung	S. 223
5.4.4.1	Untersuchung des Thorax	S. 224
5.4.4.1.1	Besonderheit Überdehnung der Lunge/Luftembolie	S. 224
5.4.4.1.2	Besonderheit Gasanalyse	S. 225
5.4.4.1.3	Ausschluss eines Pneumothorax	S. 226
5.4.4.1.4	Untersuchung der Lunge	S. 226
5.4.4.1.5	Untersuchung des Herzens	S. 230
5.4.4.2	Untersuchung des Abdomens	S. 232
5.4.4.3	Untersuchung von Hals, Kopf und Gehirn	S. 233

5.4.4.4	Untersuchung des muskuloskelettalen Systems	S. 234
5.4.4.5	Untersuchung des Rückenmarks	S. 234
5.4.4.6	Histologie	S. 235
5.4.5	Toxikologie	S. 239
5.4.6	Genetische Tests/molekulare Autopsie	S. 240
5.4.7	Abschließende Beurteilung der rechtsmedizinischen Untersuchung	S. 243
6. Ergebnisse und Diskussion		S. 247
7. Zusammenfassung		
7.1	Zusammenfassung	S. 268
7.2	Conclusion	S. 270
8. Glossar und Abkürzungsverzeichnis		S. 273
9. Literaturverzeichnis		S. 277
10. Anhang		
10.1	Äquivalenztabelle der Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen	S. 287
10.2.	Tabellarische Gesamtübersicht des standardisierten Verfahrens zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle	S. 290
11. Danksagung		S. 303
12. Lebenslauf		S. 304
13. Eidesstattliche Erklärung		S. 305

1. Einleitung

1.1 Definition Tauchen

Unter dem Überbegriff „Tauchen“ werden mehrere Sport-, Freizeit- und professionelle Tätigkeiten zusammengefasst.

Das einfache **Schnorcheln** mit Taucherbrille, Schnorchel und Flossen direkt unter der Wasseroberfläche ist gleichsam Schwimmen in geringer Submersion, wobei durch den Schnorchel ein- und ausgeatmet wird. Beim tieferen **Schnorchel-** und beim **Apnoetauchen** wird die Tauchaktivität nur mit der Luft durch maximale Inspiration (ggf. durch den Schnorchel) vor dem Abtauchen durchgeführt. Es werden auch hier keine Tauchgeräte verwendet. [1] Diese Techniken mit angehaltenem Atem werden auch als „Freitauchen“ bezeichnet. Freitauchen ist die älteste Form des Tauchens und wurde ursprünglich zum Jagen und Fischen durchgeführt [3, S. 29]. Einfaches Schnorcheln ist heute ubiquitärer Wassersport, Freitauchen ist ein breit aufgestellter und weit entwickelter Trendtauch- und Wettkampfsport mit statischen, Strecken- und Tieftauchdisziplinen und tauchphysiologisch herausragenden weltbesten Einzelleistungen.

Unter dem Begriff **Gerätetauchen** werden das Tauchen mit Druckluft oder Mischgasen, das oberflächenversorgte Tauchen und das Tauchen mit Kreislaufgeräten zusammengefasst.

Das **Tauchen mit Druckluft oder Mischgasen** wird auch „**SCUBA Diving**“ genannt. SCUBA steht für: „Self Contained Underwater Breathing Apparatus“. Es handelt sich um Tauchen mit einer oder mehreren Druckgasflaschen, welche entweder gereinigte entfeuchtete Druckluft enthalten oder Mischgase wie Nitrox (Gasgemische mit einem höheren Sauerstoffanteil als 21 %) oder Trimix (Gasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium) [1 Kap. 2]. Dieser Bereich umfasst vor allem Freizeittaucher und technische Taucher, letztere sowohl im Freizeit- als auch im professionellen Bereich.

Unter **oberflächenversorgtem Tauchen** versteht man Tauchen mit schlauchgestützter Luftversorgung von der Oberfläche. Es handelt sich um eine modernisierte Fortführung des traditionellen Helmtauchens. Oberflächenversorgtes Tauchen wird vor allem von Berufstauchern durchgeführt, z. B. bei Hafen- und Bauarbeiten, sowie im Offshorebereich. Seit einigen Jahren wird ein ähnliches Prinzip in bestimmten Gegenden auch im Freizeitbereich unter den Begriffen Hookah oder Snuba-Tauchen angeboten.

Das klassische **Sporttauchen** als Form des SCUBA-Tauchens folgt einigen Regeln und Begrenzungen, beispielsweise, dass keine Solo-Tauchgänge durchgeführt werden sollen, Tauchgänge nicht tiefer als 30-40 m (je Empfehlung der Organisationen) sein sollten, keine dekompensationspflichtigen Tauchgänge durchgeführt werden sollten, dass die Oberfläche in kürzester Zeit erreicht werden kann und dass im Freiwasser getaucht werden sollte [1 Kap. 7].

Unter **technischem Tauchen** versteht man verschiedene Formen des Tauchens, die über die Grenzen des Sporttauchens hinaus durchgeführt werden und bei denen

zusätzliche oder spezielle Tauchausrüstung eingesetzt wird. Die verwendeten Techniken stammen unter anderem aus dem Berufstauchen, militärischen Tauchen und Forschungstauchen. Eingesetzt werden spezielle Hilfsmittel und Methoden zur Erhöhung der Tauchsicherheit und Leistungsfähigkeit die ermöglichen, Tauchgänge in Umgebungen durchzuführen, die weit über die Möglichkeiten des Sporttauchens hinausgehen. Technisches Tauchen unterscheidet sich vom Sporttauchen somit in Bezug auf den Aufwand, die Ausbildung, die Ausrüstung, die Tauchtiefe, die Tauchgangsdauer, die Verwendung der Gasgemische und die direkte Auftauchmöglichkeit. Zum technischen Tauchen zählen somit unter anderem Tauchgänge unterhalb von 40 m Tiefe, spezielle Atemgase abseits von Pressluft (beispielsweise Trimix, Heliox), Wechsel der Atemgase während eines Tauchgangs, Tauchgänge, bei denen ein direkter Aufstieg zur Oberfläche unmöglich ist, z. B. in Höhlen oder weil ein direkter Aufstieg eine erhebliche Dekompressionsverpflichtung verletzen würde. [1 Kap.7] Die Übergänge vom nicht-technischen zum technischen Tauchen sind fließend und hängen unter anderem von der die Begrifflichkeit festlegenden Tauchorganisation ab. Beispielsweise ist ein Tauchgang mit vorgemischtem Nitrox, einem Mischgas mit erhöhtem Sauerstoffanteil, per Definition ein technischer Tauchgang. Nitrox findet jedoch breite Verwendung bei Sporttauchgängen.

Das **Tauchen mit Kreislaufgeräten** (Rebreather-Geräten) ist eine Unterform des technischen Tauchens. Hierbei wird das ausgeatmete Gas aufgefangen, Kohlenstoffdioxid als metabolisches Abfallprodukt chemisch gebunden und der verbrauchte Sauerstoff ersetzt [1 Kap. 7]. Verwendet wird somit ein sogenanntes Diluentgas, wobei es sich um Pressluft oder Mischgase handeln kann, welches geatmet und unter Zumischung von Sauerstoff und Auswaschung von Kohlenstoffdioxid wieder aufbereitet wird. Diese Technik wird gern von Unterwasserfotografen und im militärischen Bereich genutzt, da es bei geschlossenen Systemen keine aufsteigenden Gasblasen gibt [6]. Rebreather finden auch zunehmend Interesse unter Freizeittauchern. Die Handhabung birgt besondere Risiken und erfordert umfangreiche Einweisungen, Training und Disziplin. Unter anderem ist ein sogenanntes Bailout-Gas nötig, ein offenes System mit Atemgas, das bei Problemen mit dem Rebreather ein sicheres Auftauchen ermöglicht [118]. Innerhalb der stetig wachsenden Gruppe von Rebreather-Tauchern bestehen gegenüber den offenen Systemen eine höhere Mortalität und Morbidität [6]. Es werden verschiedene Rebreather-Klassen unterschieden. Hauptsächlich unterteilt man in vollgeschlossene und halbgeschlossene Systeme. Bei der vollgeschlossenen Gerätekonfiguration handelt es sich um sogenannte CC-Rebreather (Closed Circuit Rebreather), die bei Gebrauch keinerlei Gas nach außen abgeben. Weil nur der metabolisierte Sauerstoff ersetzt wird, ist der Atemgasverbrauch sehr gering. Es erfolgt eine meist elektronisch gesteuerte Regelung des Sauerstoffanteils im Gerät. Halbgeschlossene Systeme stoßen bei Betrieb einen Teil des Atemgases aus, wodurch eine kontinuierliche Neueinspeisung von Gas notwendig und der Gasverbrauch höher ist als bei einem CCR. [23 S. 8-16] Der Aufbau der Geräte ist hingegen technisch einfacher [118].

In dieser Dissertation werden vor allem tödliche Tauchunfälle von Gerätetauchern im Sinne von Sporttauchern, sowie zum Teil auch von technischen Tauchern/Rebreathertauchern untersucht. Bei den stattgefundenen und analysierten tödlichen Tauchunfällen im Hemmoorsee hat es sich durchgehend um Tauchgänge in ebensolchem Rahmen gehandelt. Das hier entwickelte standardisierte Verfahren bei

tödlichen Tauchunfällen ist auch auf alle anderen Tauchverfahren übertragbar, wobei zu bedenken ist, dass andere tauchphysiologische Bedingungen und Risiken auftreten können als beim Tauchen mit Druckluft oder Mischgasen.

1.2 Begriffsdefinition „Tödlicher Tauchunfall“

Als tödlicher Tauchunfall wird in dieser Dissertation jeder Todesfall bezeichnet, der im Rahmen einer Tauchaktivität nach oben genannter Definition aufgetreten ist.

Die Definition beinhaltet keinen zwingenden kausalen Zusammenhang zwischen dem den Tod auslösenden Ereignis und der Tatsache, dass sich der Verstorbene dabei unter Wasser befand. Ebenso umfasst der Begriff ein weitläufigeres Verständnis eines „Unfalls“, als es aus versicherungsrechtlicher Sicht im Rahmen einer Personenunfallversicherung der Fall ist. Hier liegt ein Unfall definitionsgemäß vor, wenn eine Person durch ein plötzlich von außen auf den Körper wirkendes Ereignis unfreiwillig eine Gesundheitsschädigung erleidet [4]. Diese versicherungsrechtliche Definition schließt sowohl von innen auf den Körper wirkende Ereignisse im Sinne von Erkrankungen aus als auch freiwillig herbeigeführte Ereignisse wie Suizide aus.

Damit umständliche Umschreibungen vermieden werden wird in dieser Dissertation jeder Todesfall als „tödlicher Tauchunfall“ bezeichnet, der während oder nach einem Tauchgang aufgetreten ist, unabhängig von seiner Genese. Passender als der deutsche Begriff ist der Begriff „diving related fatalities“, welcher besser andeutet, dass er jedwede mit dem Tauchen in einem Zusammenhang stehende Todesursache umfasst.

Todesfälle beim Tauchen stellen aus rechtsmedizinischer Sicht nicht-natürliche Todesfälle dar, die aufgrund der diesbezüglichen Bestimmungen in der Strafprozessordnung von der Polizei und Staatsanwaltschaft zu untersuchen sind [2].

1.3 Veranlassung für das Thema einer Untersuchung tödlicher Tauchunfälle

Die Beweggründe zur Themenauswahl für diese Dissertation zur Analyse tödlicher Tauchunfälle basiert auf der Tatsache, dass diese derzeit häufig nur unzureichend untersucht werden und dass die eigentliche Todesursache häufig nicht festgestellt wird. Ein Tod beim Tauchen wird bei aller Tragik für die Beteiligten oft als „Tauchunfall“ akzeptiert und nicht weiter hinterfragt. Die häufig gestellte Diagnose „Ertrinken“ ist unzureichend. Eine genaue Klärung des Ereignishergangs sollte bei jedem tödlichen Tauchunfall die Regel sein. [110] Nur dann kommt man zu rational begründeten präventiven Strategien.

Es besteht erhebliches Interesse der Angehörigen und theoretisch auch der zuständigen Behörden, die exakte Todesursache zu erfahren. Unter Umständen besteht die Notwendigkeit einer Klärung im Rahmen eines Rechtsstreits. Erkenntnisse aus jedem tödlichen Tauchunfall tragen dazu bei, Risiken zu minimieren und vergleichbare Ereignisse in Zukunft zu verhindern. Eine genaue Analyse von Tauchunfällen liegt auch im Interesse der Tauchsportorganisationen, der Tauchindustrie und der Tauchmedizin. Die Klärung der Todesursache und des auslösenden Mechanismus haben auch eine große finanzielle Tragweite,

beispielweise in Versicherungsfragen, bei denen die Todesursache Auswirkungen auf die Leistungen einer Unfallversicherung oder Lebensversicherung hat.

1.4 Problembereiche bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle

Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle stellen sich im Vergleich zu Untersuchungen anderer Todesfälle in der Mehrheit als erschwert dar. Die genaue Todesursache, insbesondere der entscheidende auslösende Faktor für ein tödliches Ereignis unter Wasser, ist häufig multifaktoriell bedingt nicht eindeutig rekonstruierbar.

Wenn ein Taucher verunfallt und durch eigenes Handeln oder das anderer Personen wieder an die Oberfläche gelangt, kommt es in der Regel zu unterschiedlichen, teils reflexartigen Handlungen, die eine spätere Rekonstruktion des Ereignisses schwer bis unmöglich machen. Dies trifft im Rahmen der Rettung aus der Notfallsituation unter Wasser, der Bergung, von Erste-Hilfe-Maßnahmen, sowie dem Ablegen von und Manipulation an der Ausrüstung des tödlich verunfallten Tauchers zu. Die Untersuchung von Unterwasser-Todesfällen wird durch eine gewisse Zeitverzögerung zwischen Ereignis und Untersuchungszeitpunkt zusätzlich erschwert. Einerseits können bis zur Bergung der Person mehrere Tage vergehen. Andererseits kann bis zur Untersuchung des Falls so viel Zeit vergehen, dass Ausrüstungsgegenstände des Verunfallten nicht mehr vorhanden sind oder beispielsweise Leihequipment wie Tauchflaschen vor Ort nicht mehr geprüft werden können. Zeugen für das Ereignis unter Wasser sind häufig ebenfalls nicht oder nicht mehr verfügbar. Die ersteintreffenden Ermittler haben im Vergleich zu anderen Unfällen zudem keine Möglichkeit, den eigentlichen Ort des Geschehens zu inspizieren, da zwar Ermittlungen vor Ort, jedoch nicht unter Wasser durchgeführt werden können. Verkomplizierend kommt hinzu, dass es in vielen Tauchgebieten keine zur Untersuchung und Beurteilung von tödlichen Tauchunfällen speziell Qualifizierte gibt, welche die Befunde bei einem Verunfallten, seine Ausrüstung, den Unfallort und die situativen Rahmenbedingungen unter den notwendigen Gesichtspunkten analysieren können.

Deutlich erschwert wird die Untersuchung tödlicher Tauchunfälle auch dadurch, dass in vielen Fällen die Frage nach der Ursache gar nicht erst gestellt wird. Der Zusammenhang zwischen dem Tod einer Person und der Tatsache, dass dieser im Wasser und beim Tauchen eintrat, führt häufig automatisch zu der Deklaration eines „Tauchunfalles“ oder eines „Ertrinkens“. Hierbei handelt es sich allerdings um eine unzureichende Erklärung [5, 7]. Untersuchungsumfang und Umgang mit tödlichen Tauchunfällen zeigen sich im internationalen Vergleich als sehr inhomogen. In einigen Ländern werden Tauchunfälle in die Badeunfallstatistik integriert [57]. In Ländern wie den USA, Australien und Neuseeland finden hingegen eine gute Dokumentation und standardisierte Untersuchungen statt [2]. Zudem wurden von den Untersuchern aus diesen Ländern zahlreiche Publikationen zum Umgang mit tödlichen Tauchunfällen veröffentlicht. In Deutschland besteht für den Umgang mit tödlichen Tauchunfällen deutlicher Bedarf an einem robusten, standardisierten Verfahren und einer besseren statistischen Erfassung.

Das Spektrum allgemeiner Erkrankungen mit ihren denkbaren, auch unter Wasser auftretenden Komplikationen wird dabei oft vernachlässigt. Hinter vielen Ereignissen kann eine vorher bestehende Erkrankung stehen, die entweder an sich oder

gemeinsam mit der Tatsache, dass der Verunfallte sich zum Ereigniszeitpunkt unter Wasser befand, zum Tode geführt hat. Das Tauchen kann dann als auslösender Faktor, nicht als eigentliche Ursache gesehen werden. Dies gilt z. B. auch für die Beeinflussung durch chemische Substanzen, also Alkohol, Drogen und Medikamente.

Der Tauchsport findet Anhänger aller Altersklassen und unterschiedlichster körperlicher Kondition. Ein Teil der Taucher verfügt über einen unzureichenden Trainingszustand, sowie diverse körperliche Risikofaktoren und Erkrankungen. Hinzu kommt, dass viele Taucher mit ihrem Sport älter werden und auch im Alter weiterhin aktiv tauchen wollen. Medizinische Empfehlungen für oder gegen den Tauchsport werden hierbei häufig missachtet oder auch gar nicht erst bedacht. Standardisierte ärztliche Tauchtauglichkeitsuntersuchungen werden oft nicht oder nicht mit der erforderlichen tauchmedizinischen Kompetenz durchgeführt. Auch wenn Tauchen unter den Sportarten als ruhiger, entspannender Sport gilt, sind die damit verbundenen Anstrengungen über und unter Wasser sowie die auf den Körper einwirkenden Bedingungen anspruchsvoll und mit erheblichen körperlichen und psychischen Stressoren verbunden.

Todesfälle beim Tauchen sind häufig verkettete Folgen menschlicher Fehler. Hierbei spielen Fehlverhalten wie Tauchen jenseits allgemein empfohlener Grenzen und Regeln sowie Tauchgänge jenseits der erworbenen Ausbildungsgrade eine Rolle. Allerdings kommt es auch zu tödlichen Ereignissen bei routinierten Tauchern unter Einhalten aller Regeln. Technische Probleme mit der Tauchausrüstung können in einer zum Ertrinkungstod führenden Kausalkette eine bedeutende Rolle spielen.

Die Todesursache unter Wasser ist in der eindeutigen Mehrzahl der Fälle Ertrinken, was aber gerade bei tödlichen Tauchunfällen oft nur als letzte Folge verschiedener zuvor ablaufender Fehler und Probleme zu sehen ist. Bedeutender in der Analyse dieser Fälle sind eigentliche Auslöser und oder kritische Ereignisse, die zum Tod im Wasser geführt haben könnten [6]. Diese zu identifizieren ist von mindestens genauso großer Bedeutung, wie die Feststellung der Todesursache. Vor dem Hintergrund einer fast regelhaft auftretenden Ablaufkette von Ereignissen, die vor der eigentlichen Todesursache von Relevanz sind, kann die Bedeutung der sorgfältigen Ermittlung der Abläufe „zuvor“ prominent werden.

1.5 Zielsetzung der Dissertation

Eine robuste und umfassende Todesfallermittlung bei einem tödlichen Tauchunfall erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit mehrerer Instanzen [5, 6, 7, 109]. Erforderlich sind die umfangreiche Analyse des Falls mit Erhebung der Vorgeschichte, kriminalistische Ermittlungen, tauch- und rechtsmedizinische sowie technische Gutachten und tauchmedizinischer Beratung.

Folgende Instanzen sind in Deutschland bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle bisher mehr oder weniger beteiligt. Die Polizei leitet Ermittlungen vor Ort und die weitere Ermittlung. Sie ist zuständig für die Befragung von Zeugen, die mit dem Todesfall im und unter Wasser in Zusammenhang stehen, von Ersthelfern und Angehörigen, sowie für die allgemeine und tauchspezifische Anamnese. In einigen Fällen fließen Gutachten durch technische Sachverständige ein, beispielsweise für

die Analyse der Tauchausrüstung, sowie der verwendeten Atemgase, jedoch ist dies nicht immer der Fall. Die Rechtsmedizin bestimmt, wenn in die Untersuchung einbezogen, Todeszeitpunkt, Todesart- und Ursache. Dabei ist es für eine korrekte Interpretation der Sektionsbefunde wichtig, Kenntnisse über tauchphysiologische Risiken und mögliche postmortale Veränderungen nach tödlichen Tauchunfällen zu besitzen, ebenso wie über den Inhalt des Ermittlungsberichts und das Gutachten des technischen Sachverständigen [6].

Das Ziel dieser Dissertation ist die Entwicklung einer Anleitung zu einer qualitativ hochwertigen Analyse von tödlichen Tauchunfällen in Deutschland auf der Basis aktueller Forschungsergebnisse. Den polizeilichen Ermittlern und den mit einem tödlichen Tauchunfall betrauten rechtsmedizinischen Instituten soll der Umgang mit dieser für die meisten Beteiligten oft fremden und anspruchsvollen Thematik erleichtert und die Qualität der Untersuchungen gesteigert werden. Hierfür sollen den in der Untersuchung beteiligten Instanzen wichtige Kenntnisse zur tauchspezifischen Physik und Pathophysiologie vermittelt werden, die für eine korrekte Beurteilung tödlicher Tauchunfälle unabdingbar sind [5, 6, 7, 109]. Zudem erfolgt die Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Analyse und exakten Rekonstruktion tödlicher Tauchunfälle. Hierbei soll der besondere Stellenwert der multi- bzw. interdisziplinären Zusammenarbeit gezeigt werden, der in einer Vielzahl internationaler Veröffentlichungen betont wird [5, 6, 109, 110].

Durch diese Dissertation soll erreicht werden, dass die Ursachen tödlicher Tauchunfälle zukünftig verlässlicher identifiziert werden, durchaus auch mit dem Anspruch, durch die gewonnenen Erkenntnisse weitere tödliche Tauchunfälle verhindern zu können.

2. Material und Methoden

2.1 Primärdaten

Es erfolgte eine Auswertung von tödlichen Tauchunfällen im Hemmoorsee, Landkreis Cuxhaven, Niedersachsen, anhand von Ermittlungsberichten, die durch die Staatsanwaltschaft Stade zur Verfügung gestellt wurden. Weiterhin wurden, sofern vorhanden, Obduktionsberichte des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Eppendorf verwendet.

Der Untersuchungszeitraum beträgt rückwirkend 25 Jahre. Untersucht wurden insgesamt siebzehn Tauchunfälle mit tödlichem Ausgang in den Jahren von 1994 bis 2018.

Das Untersuchungsmaterial erwies sich dabei als außerordentlich inhomogen. Einige Akten enthielten umfangreiches Material mit Krankenvorgeschichte, Ausbildungsstand, Rekonstruktion der Ereignisse, der Situation bei Auffindung und Bergung, der Tauchausrüstung, sowie Sektionsberichte und Berichte zur technischen Analyse der Tauchausrüstung. In anderen Fällen lag nur ein kurzer polizeilicher Bericht vor, weil keine Sektion oder sachverständige Auswertung der Tauchausrüstung erfolgt war und die Fälle zügig abgeschlossen wurden. Insgesamt wurde in der Untersuchung der Todesfälle sehr unterschiedlich vorgegangen, wobei eine Tendenz zur umfangreicheren Ermittlung über die Jahre zu erkennen ist.

2.2 Methoden

Die einzelnen Fälle wurden systematisch aufgearbeitet und im Anschluss unter tauchmedizinischen und rechtsmedizinischen Gesichtspunkten analysiert. Anschließend wurde anhand der analysierten Fälle unter Berücksichtigung allgemein verfügbaren tauch- und rechtsmedizinischen Fachwissens, aktueller Leitlinien und Veröffentlichungen ein standardisiertes Verfahren zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle entwickelt. Zum besseren Verständnis tauchmedizinischer und tauchphysiologischer Besonderheiten wurden den Fallanalysen und dem standardisierten Verfahren zudem die Beschreibung häufiger Todesursachen tödlicher Tauchunfälle vorangestellt. Dies erfolgte ebenfalls auf der Basis aktueller tauchmedizinischer Literatur. Für die statistische Darstellung einiger Untersuchungsergebnisse in Form der in der Diskussion dargestellten Graphen wurde die Statistiksoftware GraphPad PRISM (Version 6) verwendet. Für ein besseres Verständnis der komplexen Abläufe der technischen Untersuchung (Tauchausrüstung, Atemgase, Tauchcomputerprofil) wurde die Zusammenarbeit mit Dr. Dietmar Berndt, einem durch die IHK Karlsruhe öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen, gesucht. Durch den von ihm gegebenen Einblick in die Arbeit eines Sachverständigen war es möglich, das standardisierte Verfahren auch für die für die Untersuchung tödlicher Tauchunfälle unverzichtbare technische Untersuchung detailliert zu erarbeiten. Wenn auf Basis der vorliegenden Daten zu den Fällen möglich, erfolgte eine diese Dissertation flankierende technische Nachbegutachtung, so dass sich für die Fallanalysen wichtige zusätzliche Aspekte ergaben.

In dieser Dissertation wird die Nummern-Zitierweise verwendet. Bei einem Quellenverweis vor dem Punkt bezieht sich die Quelle ausschließlich auf diesen Satz. Bei einem Quellenverweis nach dem Punkt des letzten Satzes bezieht sich die Quelle auf mehrere Sätze oder den gesamten Abschnitt.

Zur einfacheren Lesbarkeit und in Anlehnung an die meist englischsprachige Fachliteratur wird in dieser Dissertation die generische maskuline Form verwendet. Weibliche, männliche und diverse Personen sind gleichermaßen gemeint.

2.3 Literatur

Im deutschsprachigen Raum gibt es deutlich weniger Veröffentlichungen zu diesem Thema als im angloamerikanischen Raum, was unter anderem dadurch zu erklären ist, dass etwa Nordamerika und Australien über sehr große Küstengebiete mit vielen tauchtouristisch erschlossenen Gebieten verfügen. Dementsprechend groß ist dort der Erfahrungsschatz in der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle durch rechtsmedizinische Zentren. Die Anzahl der tödliche Tauchunfälle wissenschaftlich untersuchenden Mediziner ist allerdings auch auf internationaler Ebene überschaubar, so dass in dieser Dissertation vor allem auf die Veröffentlichungen einiger weniger Spezialisten aus den Vereinigten Staaten von Amerika und aus Australien Bezug genommen wird. Besonders hervorzuheben sind dabei Veröffentlichungen von James L. Caruso aus den USA, sowie von Carl Edmonds, Chris Lawrence und Clive Cooke aus Australien. An internationalen Lehrbüchern wurden vor allem die Standardwerke „Diving and subaquatic medicine“ [61] von Carl Edmonds, Michael Bennett, John Lippmann und Simon Mitchell sowie „Bennett’s and Elliott’s physiology and medicine of diving“ [3] als Quellen verwendet.

3. Häufige Ursachen tödlicher Tauchunfälle

3.1 Begrifflichkeiten

Zum besseren Verständnis der Begrifflichkeiten und der komplexen Abläufe, die zum Auftreten eines tödlichen Tauchunfalls führen können, wird an dieser Stelle auf die häufigsten Todesursachen, sowie die zugrunde liegenden Auslöser, Schädigungsmechanismen und gesundheitlichen Schädigungen eingegangen.

Insgesamt treten tödliche Tauchunfälle meist bei Freizeittauchern mit Gerät und seltener bei Schnorchel- und Freitauchern auf [6]. In den meisten Fällen ist die direkte Todesursache tödlicher Tauchunfälle Ertrinken [109]. Der Anteil des Ertrinkungstods an der Gesamtzahl tödlicher Tauchunfälle wird zwischen 52 und 86% angenommen [6]. Ertrinken stellt jedoch in der Regel nur das Schlussglied in einer Kausalkette dar. Jedes zur Bewusstlosigkeit führende Ereignis kann zum Ertrinken führen [109]. Für die Klärung eines tödlichen Tauchunfalls müssen die dorthin führenden am Anfang des Geschehens stehenden Auslöser, die darauffolgenden Ereignisse und gesundheitlichen Schädigungen untersucht werden. Das vierstufige Schema „Auslöser - Schädigungsmechanismus - gesundheitliche Schädigung - Todesursache“ wurde von Denoble et al. im Rahmen einer großen Studie zur Untersuchung gängiger Ursachen tödlicher Tauchunfälle entwickelt [28]*. Es findet in vielen internationalen Publikationen zu tödlichen Tauchunfällen Verwendung, etwa durch Koca in der Türkei und Casadesús in Spanien [109, 110]. Für die in dieser Dissertation untersuchten Fälle wird dieses bewährte Schema analog angewendet, weil das komplexe Geschehen im Rahmen eines tödlichen Tauchunfalls nur über umfangreiche Analysen der ineinandergreifenden Geschehnisse zu rekonstruieren ist.

Als Auslöser beschreiben Denoble et al. das erste identifizierbare Ereignis, welches einen unauffälligen Tauchgang zu einer Notfallsituation wandelt. Der Schädigungsmechanismus ist ein mit diesem Auslöser assoziierter gefährlicher Umstand oder ein riskantes Verhalten, welches gegebenenfalls die gesundheitliche Schädigung zur Folge hat. Die gesundheitliche Schädigung ist schließlich entweder direkt für den Tod verantwortlich oder führt durch Handlungsunfähigkeit zu einem Tod durch Ertrinken. Der Endpunkt des vierstufigen Schemas ist die medizinisch bestimmte Todesursache. Die Todesursache kann somit mit der gesundheitlichen Schädigung identisch oder ein der gesundheitlichen Schädigung folgender sekundärer Ertrinkungstod sein. [28]

In vielen Fällen bleiben einige Faktoren unbekannt, insbesondere Auslöser und Schädigungsmechanismen sind nicht immer leicht zu identifizieren. Teilweise können mehrere Auslöser zugeordnet werden Auch können manche Faktoren sowohl als Auslöser oder als Schädigungsmechanismus auftreten. [28] Bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle müssen somit in interdisziplinärer Zusammenarbeit Auslöser, Ereignisse, gesundheitliche Schädigungen und Todesursache/n aufgeklärt werden.

**Anm. zur Begrifflichkeit. In der Arbeit „Common causes of open-circuit recreational diving fatalities“ von Denoble et al werden im Rahmen des vierstufigen Schemas folgende Begriffe verwendet: „Trigger, disabling agent, disabling injury, cause of death“. In den DAN Annual Diving Reports wird anstatt „disabling agent“ der Begriff „mechanism of injury“ verwendet. Für diese Arbeit wurde als ideale Übersetzung beider, den gleichen Sachverhalt beschreibenden Begriffe der Ausdruck „Schädigungsmechanismus“ gewählt.*

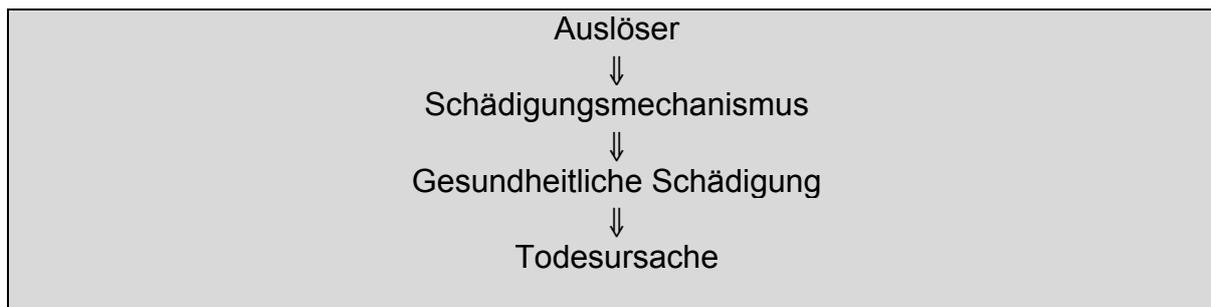


Abb. 1: Vierstufiges Schema einer Kausalkette bei tödlichen Tauchunfällen nach Denoble et al. [28]

Beispiel I	
Todesursache:	Ertrinken
gesundheitliche Schädigung:	Bewusstlosigkeit
Schädigungsmechanismus:	Hypoxie
Auslöser:	Vereisung des Atemreglers
Beispiel II	
Todesursache:	Ertrinken
gesundheitliche Schädigung:	pulmonales Barotrauma/ arterielle Gasembolie
Schädigungsmechanismus:	Notaufstieg
Auslöser:	Vereisung des Atemreglers
Beispiel III:	
Todesursache:	Ertrinken
gesundheitliche Schädigung:	Bewusstlosigkeit
Schädigungsmechanismus:	Hyperventilation
Auslöser:	Panik
Beispiel IV	
Todesursache:	Plötzlicher Herztod
gesundheitliche Schädigung:	akutes Koronarsyndrom
Schädigungsmechanismus:	verstärkte körperliche Anstrengung
Auslöser:	vorbestehende koronare Herzkrankheit

Tab. 1: Beispiele für eine zum tödlichen Tauchunfall führende Kausalkette

3.2 Auslöser, Schädigungsmechanismen, gesundheitliche Schädigungen und Todesursachen bei tödlichen Tauchunfällen

Am Anfang einer zum Tode führenden gesundheitlichen Schädigung stehen häufig auslösende Faktoren, die im Rahmen der Untersuchungen möglichst genau ermittelt werden sollten [109]. Häufig handelt es sich dabei um technische Probleme oder menschliche Unzulänglichkeiten [2]. Zu einem Unglück mit fatalem Ausgang bedarf es in der Regel einer Verkettung mehrerer ungünstiger auslösender Faktoren. Viele davon bestehen bewusst oder unbewusst bereits vor dem Tauchgang, einige kommen im Verlauf des Tauchgangs hinzu. Beim Überschreiten der individuellen Belastungsgrenze für auslösende Faktoren befindet sich ein Taucher meistens schon in größerer Tiefe. Ein Selbstrettungsversuch bleibt oft erfolglos. [116] Manchmal reicht jedoch auch ein einziger gravierender Auslöser aus. Das Spektrum möglicher Auslöser und Schädigungsmechanismen sowie verstärkender Faktoren ist dabei breit.

Menschliche Unzulänglichkeiten umfassen z. B. psychische Faktoren wie mangelnde Erfahrung und Überforderung, fehlerhafte Beurteilung von Situationen sowie Selbstüberschätzung. Auch Tauchgänge jenseits der individuellen Fähigkeiten, Leichtsinns und Missachtung der gängigen Praxis wie eine ungenügende Planung des Tauchgangs, mangelhafte Buddy Checks, mangelhafte Überwachung der Tauchparameter während des Tauchgangs, mangelhafte Interaktion von Tauchpartnern, Fehleinschätzungen oder Missachtungen von Empfehlungen für ein sicheres Tauchen können ursächlich sein. Ebenso zu nennen sind physische Probleme wie Erschöpfung, mangelhafter Trainingszustand und mangelnde Bereitschaft zu Fortbildung, akute gesundheitliche Probleme sowie Einschränkungen des Bewusstseins z. B. durch chemische Beeinflussung (Alkohol, sedierende Medikamente, Drogen) oder tauchphysiologische Phänomene wie eine Stickstoffnarkose, Sauerstoffintoxikation oder einer Ermüdung der Respiration (Essoufflement). Mangelnde gesundheitliche Eignung und Vorerkrankungen vor allem kardiovaskulärer oder pulmonaler Art, Epilepsie und Stoffwechselstörungen wie Diabetes können ursächlich sein. Bestehende Vorerkrankungen können dabei durch Immersionsereignisse verschlechtert oder auffällig werden. Traumata, Verfangen an oder in Gegenständen oder Pflanzen, Orientierungsverlust, Einschluss in Wracks, Höhlen oder unter Eis sowie Tiereinwirkungen können am Anfang einer Kausalkette stehen, ebenso wie schwierige Umgebungsfaktoren wie starke Strömung, starker Seegang, Brandung, ungewohnte Tiefe, schlechte Sicht oder Kälte. Von besonderer Bedeutung am Anfang einer fatal endenden Kausalkette sind häufig Probleme mit der Tauchausrüstung oder dem Atemgas. Eine Rolle spielen können technische Defekte, eine mangelhafte Funktion der Ausrüstung, Wartungsfehler oder Verschmutzung, Anwendungsfehler, Verlust von Ausrüstungsteilen, eine Vereisung des Atemreglers aus diversen Gründen mit darauf folgender Unterbrechung der Atemgaszufuhr oder einem Abblasen größerer Mengen von Atemgas bis hin zur Entleerung der Atemgasreserve. Probleme mit dem Tarierungssystem sowie Probleme mit dem Gewichtssystem können auftreten. Ebenso genannt werden müssen Situationen, in denen es zu unzureichenden Gasreserven in Form eines geringen oder verbrauchten Atemgasvorrats kommt, so genannten „low on air“ oder „out of air“-Situationen. In manchen Fällen ist ein für den Tauchgang inadäquates Atemgas oder ein fehlerhaftes Atemgasgemisch ursächlich. [2, 6, 12, 13, 107, 110, 116] Pacher betont in einer Veröffentlichung den Stellenwert einer Scheinsicherheit durch High-Tech. Viele Taucher verlassen sich auf ihr in Werbung und Testberichten angepriesenes überkomplettes und hochmodernes Tauchgerät. Fehlfunktionen werden nicht einkalkuliert und der Umgang mit selbigen nicht trainiert. [116] Auch verunreinigtes Atemgas kann ein Auslöser sein, z. B. durch Normüberschreitungen in Bezug auf Feuchtigkeit, Kohlenstoffdioxid oder Kohlenstoffmonoxid [116]. Eine erhöhte Konzentration von Kohlenstoffmonoxid kann zu Bewusstseinsstörungen führen [109]. Oehmichen et al. publizierten den tödlichen Tauchunfall eines 23-jährigen Studenten, der beim Tauchgang über Atembeschwerden klagte. Die Analyse des Atemgases ergab eine Kohlenstoffmonoxid-Konzentration von 16%. [2] Umgebungsfaktoren wie Strömung, Seegang, Brandung, Tiefe und Sicht können signifikante Bedeutung haben. Nicht zuletzt kann auch die Interaktion von Tauchpartnern eine Rolle spielen. Pacher erwähnt die Problematik von fest gesteckten Tiefenzielen und bewusstem oder unbewusstem Partner- oder Gruppenzwang, durch die Sicherheit und Vernunft oft in den Hintergrund treten [116]. Gelegentlich kommt es auch zu Doppel-Todesfällen, da menschliche Unzulänglichkeiten oder Panik oder eine hilflose Situation den Tauchpartner eines Verunfallten überfordern und seinerseits in Probleme bringen [2].

In Kombination mit allen genannten Faktoren spielt in vielen tödlichen Tauchunfällen die Ereigniskette Stress-Angst-Panik eine große Rolle, da sie dazu führt, dass eine eigentlich beherrschbare, wenngleich kritische Situation fatal endet, da Stress, Angst und Panik zu einer Beeinträchtigung von Urteilsfähigkeit und Handlungsfähigkeit führen. Oft folgt einem primären Auslöser aufgrund von Panik eine zum fatalen Ausgang führende inadäquate Handlung wie das Entfernen vermeintlich funktionsgestörter Ausrüstungsteile, ein Notaufstieg oder auch das Zurücklassen des Tauchpartners, so dass eine gegenseitige Hilfe nicht möglich ist. Stress, Angst und Panik führen zudem zu einem deutlich gesteigerten Atemgasverbrauch mit möglichen Komplikationen.

Denoble et al. haben in ihrer oben erwähnten Studie zur Untersuchung gängiger Ursachen von tödlichen Tauchunfällen bei Freizeit-Gerätetauchern insgesamt 947 tödliche Tauchunfälle untersucht. Als häufigste Auslöser zeigten sich dabei unzureichende Atemgasreserven mit 41 %, Verfangen an oder in Gegenständen mit 20 %, sowie Probleme mit der Ausrüstung mit 15 %. Letztere umfassten Probleme mit dem Tarierungssystem, einen unerwartet hohen Verbrauch von Atemgas, Anwendungsfehler in der Bedienung des Atemreglers, Probleme mit dem Gewichtssystem oder Tauchanzug und multiple Probleme. Schwierige Bedingungen im Wasser waren in 10 % der Fälle der Auslöser. Die häufigsten Schädigungsmechanismen waren Notaufstiege in 55 %, unzureichende Atemgasreserven in 27 % und Tarierungsprobleme in 13 % der Fälle. Die häufigsten gesundheitlichen Schädigungen waren Asphyxie in 33 %, arterielle Gasembolie in 29 % und kardiovaskuläre Vorfälle in 26 % der Fälle. Weniger häufige gesundheitliche Schädigungen waren Traumata (5 %), Dekompressionskrankheit (2,5 %) und Bewusstlosigkeit unklarer Genese (2 %). Häufigste Todesursachen waren Ertrinken in 70 %, arterielle Gasembolie in 14 % und kardiovaskuläre Ereignisse in 13 % der Fälle. [28]

Denoble et al. betonen in der Auswertung ihrer Daten, dass der gesundheitlichen Schädigung für das Verständnis tödlicher Tauchunfälle eine größere Bedeutung zuzuschreiben ist als der Todesursache. Im Rahmen der Studie wurden deshalb Häufigkeit und Zusammenhang von Auslösern und Schädigungsmechanismen in Bezug auf die häufigsten gesundheitlichen Schädigungen untersucht. Auslöser für eine Asphyxie waren in 40 % der Fälle ein Verfangen (Kelp, Wracks, unter Eis, Fischernetze, Leinen), in 32 % eine unzureichende Atemgasreserve, in 17 % Tarierungsprobleme, in 15 % Probleme mit der Ausrüstung und in 11 % schwierige Wasserbedingungen (Seegang, Strömungen, Brandung). Die häufigsten Schädigungsmechanismen in den Fällen einer Asphyxie waren unzureichende Atemgasreserven mit 62 %. Diese waren ausgelöst durch Verfangen, Probleme mit der Ausrüstung oder erhöhtem Atemgasverbrauch z. B. durch erschwerte Bedingungen unter Wasser. Tarierungsprobleme stellten mit 17 % den zweithäufigsten zur Asphyxie führenden Schädigungsmechanismus dar, gefolgt von Notaufstiegen mit 13 %. Auslöser für eine arterielle Gasembolie infolge Überdehnung der Lunge waren in 63 % unzureichende Gasreserven, in 17 % Probleme mit der Ausrüstung und in 9 % ein Verfangen. Als Schädigungsmechanismus war mit 96 % der Fälle eine ausgeprägte Assoziation mit Notaufstiegen nachweisbar. Denoble et al. heben hervor, dass in gut $\frac{3}{4}$ der Fälle einer arteriellen Gasembolie die Taucher am Ende ihrer Gasreserven waren, Panik entwickelten oder Probleme mit der Ausrüstung hatten. Typisch sei gewesen, dass es während des folgenden Notaufstiegs zur Bewusstlosigkeit gekommen sei, oft mit einem sekundären Ertrinken

als Todesursache. [28] Bezüglich der Auslöser für kardiovaskuläre Ereignisse ließen sich Assoziationen zu kardiovaskulären Vorerkrankungen und einem Alter von > 40 Jahren verzeichnen. Auslöser und Schädigungsmechanismen waren schwer in Verbindung zu setzen. Jedoch berichteten 60 % der Verunfallten über Atemnot, Brustschmerzen, Erschöpfung oder Unwohlsein, wobei diese Symptome in 10 % der Fälle schon vor dem Tauchgang bestanden. Dekompressionskrankheiten als gesundheitliche Schädigung standen in starker Korrelation mit Tieftauchgängen über 180 fsw (> 55 m), zu Solotauchgängen und Notaufstiegen ohne Dekompressionsstopp. [28]

Denoble et al. erwähnen in ihrer Studie zudem, dass die bereits in ihrer Bedeutung weiter oben erläuterten Faktoren wie Stress und Panik eine wichtige Rolle spielen, jedoch schwer in diesem Schema zu beurteilen sind. Jedoch seien Stress und/oder Panik in einem Fünftel der Fälle beschrieben worden und hätten u. a. zu einer Aspiration oder erhöhtem Atemgasverbrauch geführt. [28]

Einen Überblick über den aktuellen Stand der häufigsten Todesursachen und die beteiligten Auslöser und Ereignisse bietet die jährliche sehr ausführliche Veröffentlichung von DAN (Divers Alert Network) USA, der „DAN Annual Diving Report: A Report on Diving Fatalities, Injuries, and Incidents“. In diesen Berichten werden unter anderem die Ergebnisse der Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle des Vorjahres veröffentlicht. Die Schlussfolgerungen basieren auf gewonnenen Informationen aus der Sektion, den Ermittlungsergebnissen, dem Tauchprofil, den technischen Auswertungen der Ausrüstung und der Atemgasprofile und auf der Expertenmeinung der DAN Gutachter. [12] Die oben erklärten Begrifflichkeiten aus der Studie von Denoble et al. werden auch in den Annual Diving Reports angewendet.

Laut „DAN Annual Diving Report 2018 Edition: A Report on 2016 Diving Fatalities, Injuries and Incidents“ von Divers Alert Network USA lagen als häufigste Auslöser im Rahmen von Tauchgängen mit gesundheitlichen Schäden und/oder Todesfolgen im Jahr 2016 in den USA und Kanada eine vorbestehende Erkrankung (15 % der Fälle) oder Probleme mit der Ausrüstung vor (15 % der Fälle). Von 32 analysierten Fällen tödlicher Tauchunfälle lag bei 6 Fällen ein Problem mit der Ausrüstung vor, in 5 Fällen ein vorbestehendes Herzleiden. Weitere Trigger waren: Verfangen, Wellen, Strömungen, Seegang, Alkohol, Tarierungsprobleme, Probleme mit der Atmung, Erschöpfung, unzureichende Atemgasreserven, und Panik. [12] Als häufigste Schädigungsmechanismen im Rahmen tödlicher Tauchunfälle gibt der Bericht unzureichende Atemgasreserven in 12 % der Fälle (n=4), Panik in 9 % der Fälle (n=3) und schnelle Aufstiege/Notaufstiege in 9 % der Fälle (n=3) an. Weitere Schädigungsmechanismen waren: Erschöpfung, Hypoxie beim Tauchen mit einem Rebreather, natürliche Erkrankungen, Intoxikation. Die Datenlage zeigte, dass die häufigsten zum Tode führenden gesundheitlichen Schädigungen entweder ein Bewusstseinsverlust (7 von 32 Fällen) oder ein akutes kardiovaskuläres Problem (6 von 32 Fällen) waren. In 3 von 32 Fällen lag ein Dekompressionsunfall vor, wobei hier beachtet werden muss, dass der im Angloamerikanischen verwendete Begriff „decompression injury“ (DCI) als Überbegriff für die Dekompressionskrankheit, „decompression sickness“ (DCS) und die arterielle Gasembolie (AGE) dient [1 Kap. 14]. In den meisten Fällen wurde bei den analysierten tödlichen Tauchunfällen laut Bericht von den Gerichtsmedizinern Ertrinken als Todesursache festgestellt (20 von 32 Fällen).

Weitere Todesursachen waren: Kardiovaskuläre Ereignisse in 8 von 32 Fällen, Dekompressionsunfälle in 3 von 32 Fällen und Immersions-Lungenödem in einem Fall. [12]

Im „DAN Annual Diving Report 2018 Edition“ sind arterielle Gasembolien im Vergleich zu anderen Veröffentlichungen vergleichsweise unterrepräsentiert. Lawrence/Cooke geben an, dass arterielle Gasembolien durch pulmonales Barotrauma in 13-24 % der tödlichen Tauchunfälle auftreten und somit nach dem Ertrinken die zweitgrößte Gruppe darstellen [6, 110]. Studien zu tödlichen Tauchunfällen aus Spanien und der Türkei gaben ebenfalls die arterielle Gasembolie als zweithäufigste Todesursache nach dem Ertrinken an [109, 110]. In manchen Studien wird die arterielle Gasembolie mit kardialen Ereignissen zusammengefasst. Die arterielle Gasembolie kann bei tödlichen Tauchunfällen sowohl die Todesursache als auch die zum Ertrinkungstod führende Schädigung sein.

Auch im „DAN Annual Diving Report 2017 Edition: A Report on 2015 Diving Fatalities, Injuries, and Incidents“ von Divers Alert Network USA werden arterielle Gasembolien als häufige gesundheitliche Schädigungen und Todesursachen genannt [13]. Von 34 analysierten Fällen wurde in 14 Fällen als Todesursache ein Ertrinken verzeichnet, in 5 Fällen eine arterielle Gasembolie. In den restlichen Fällen wurden bis auf 4 unklare Todesursachen kardiovaskuläre Erkrankungen (11 Fälle) verzeichnet. In absteigender Reihenfolge handelte es sich dabei um folgende Erkrankungen: koronare Herzkrankheit, akuter Myokardinfarkt, hypertensive Herzkrankheit, dilatative und hypertrophe Kardiomyopathie. Die gesundheitlichen Schädigungen waren 2015 in den genannten 34 Fällen: Ertrinken (6 Fälle), arterielle Gasembolie (6 Fälle), Herzerkrankungen (9 Fälle), sowie Bewusstlosigkeit und Intoxikation in jeweils einem Fall. In 7 Fällen war die Schädigung unklarer Genese. Die häufigsten Auslöser waren 2015 in 15 % der Fälle vorbestehende gesundheitliche Probleme, in 6 % der Fälle unzureichende Atemgasreserven. Weitere Auslöser waren Alkoholintoxikation, Probleme bei der Atmung, Probleme mit der Ausrüstung, Panik, Seegang und Übergewichtung. Die häufigsten Schädigungsmechanismen waren ebenfalls vorbestehende gesundheitliche Probleme in 12 %, sowie mangelhaftes Atemgas in 9 % der Fälle. Weitere Ereignisse waren Alkoholintoxikation, schnelle oder Notaufstiege und Panik. [13]

Das breite Spektrum an Auslösern und Schädigungsmechanismen, sowie verstärkenden Faktoren stellt die Beteiligten einer Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls vor eine große Herausforderung. Casadesús et al. betonen in einer Veröffentlichung über Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle die Notwendigkeit einer engen multidisziplinären Zusammenarbeit um die Vielzahl möglicher Faktoren abzuklären. [110]

Auf einige der in diesem Abschnitt erwähnten Auslöser, Schädigungsmechanismen und gesundheitlichen Schädigungen soll im Folgenden genauer eingegangen werden. Zudem soll ein Verständnis für wesentliche tauchphysiologische Besonderheiten und im Rahmen von Tauchunfällen auftretende Erkrankungen vermittelt werden, da dies sowohl für die polizeilichen Ermittler als auch für die Rechtsmedizin essentielle Voraussetzung ist [5,7].

Probleme mit dem Atemgas unzureichende Gasreserven unerwartet hoher Verbrauch „low on air“/„out of fair“ verunreinigtes Atemgas unpassendes Atemgas (Tiefe) fehlerhaftes Atemgasgemisch	Schwierige Umgebungsfaktoren starke Strömung Starker Seegang Starke Brandung Ungewohnte Tiefe Schlechte Sicht Kälte/Unterkühlung
Probleme mit der Ausrüstung Technische Defekte mangelhafte Funktion Wartungsfehler/Verschmutzung Anwendungsfehler Verlust von Ausrüstungsteilen Vereisung des Atemreglers Probleme mit dem Tarierungssystem Probleme mit dem Gewichtssystem	Verfangen/Einschluss/Verletzung Verfangen an/in Gegenständen (Netze, Leinen) oder Pflanzen Orientierungsverlust Einschluss in Höhlen/Wracks/unter Eis Einklemmung Traumata Tiereinwirkung (Bisse/Stiche)
Vorerkrankungen Kardial/kardiovaskulär Pulmonal (Asthma, COPD) Epilepsie Stoffwechselstörungen/Diabetes	Chemische Beeinflussung Alkohol sedierende Medikamente Drogen
Psychische Faktoren mangelnde Erfahrung Überforderung Ereigniskette Stress-Angst-Panik Selbstüberschätzung	Tauchphysiologische Besonderheiten Stickstoffnarkose/Tiefenrausch Sauerstoffintoxikation Essoufflement/Hyperkapnie
Physische Probleme Aspiration Erschöpfung mangelhafter Trainingszustand Überschreiten individueller Fähigkeiten akutes gesundheitliches Problem	Weitere Begleitfaktoren Fest gesteckte Tiefenziele Partner-/Gruppenzwang Mangelnde Bereitschaft für Fortbildung Scheinsicherheit durch High-Tech Involvierung in ein Problem des Tauchpartners
Immersionseffekte Steigerung Vorlast Nachlast Rhythmusereignisse	Besonderheit Rebreather: Anspruchsvolle Handhabung Gefahr einer Hypoxie/Hyperkapnie
Notaufstiege/Schnelle Aufstiege aus einem/ mehreren o.g. Gründe	Handlungs-/Orientierungsverlust aus einem/ mehreren o.g. Gründe
Missachtung der gängigen Praxis Ungenügende Planung des Tauchgangs Mangelhafte Buddy Checks Solotauchgänge mangelhafte Überwachung der Tauchparameter während des Tauchgangs mangelhafte Interaktion von Tauchpartnern Fehleinschätzungen/Missachtungen von Empfehlungen für ein sicheres Tauchen	

Tab. 2: Übersicht gängiger Auslöser und Schädigungsmechanismen sowie verstärkender Faktoren tödlicher Tauchunfälle

Ertrinken	Kardiale/kardiovaskuläre Vorfälle
Asphyxie/Hypoxie	Überdehnung der Lunge arterielle Gasembolie Pneumothorax
Bewusstlosigkeit	Intoxikation
Traumata	Dekompressionskrankheit (selten)

Tab. 3: Übersicht gängiger gesundheitlicher Schädigungen/Todesursachen auf Basis diverser möglicher Auslöser/Schädigungsmechanismen bei tödlichen Tauchunfällen

3.3 Physiologische Besonderheiten des Tauchsports

Der Körper eines Tauchers wird zwei physiologischen Besonderheiten ausgesetzt, die einzeln oder in Kombination zu einer Belastung des kardiovaskulären und respiratorischen Systems führen können: Die Immersion mit Auswirkungen auf das kardiovaskuläre System und der erhöhte Umgebungsdruck mit physikalischen Effekten gemäß den Gesetzen nach Boyle-Mariotte, Dalton und Henry.

Druck ist definiert als Kraft, die auf eine Flächeneinheit wirkt. Hydrostatischer Druck ist die Kraft, die aus dem Gewicht des Wassers resultiert und auf eine Flächeneinheit oder einen Körper unterhalb der Wasseroberfläche wirkt. Im deutschsprachigen Raum ist für den Tauchbereich der hydrostatische Druck in Bar angegeben. Ein Bar ist der Druck, der sich ergibt, wenn eine Kraft von 10 Newton auf eine Fläche von 1 cm² einwirkt. Eine weitere Einheit ist die Atmosphäre (atm). 1 atm entspricht 1,01325 bar, die Einheiten werden jedoch oft gleichgesetzt (1 atm = 1 bar). Auf Meereshöhe liegt ein atmosphärischer Druck von 1 bar vor. Unter Wasser beträgt die Druckzunahme ungefähr 1 bar pro 10 m Wassertiefenzunahme. Beim Tauchen entsteht der Umgebungsdruck somit auf einer Aufsummierung von Luftdruck und Wasserdruck. Das Gesetz von Boyle-Mariotte sagt aus, dass der Druck idealer Gase bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibender Stoffmenge umgekehrt proportional zum Volumen ist. Es gilt: $p \times V = K$ (p = absoluter Druck, V = Volumen, K = Konstante). Somit ist ein bestimmtes Gasvolumen an der Oberfläche (1 bar) in einer Tiefe von 10m (2 bar) auf die Hälfte reduziert. Umgekehrt verdoppelt sich ein Gasvolumen auf dem Weg aus einer Tiefe von 10 m (2 bar) an die Oberfläche. Dieser Zusammenhang ist von großer Wichtigkeit in Bezug auf Gasvolumen im Körper beim Tauchen. [1 Kap. 2, 104]

Tiefe	Umgebungsdruck	Gasvolumen (Bsp.)	
Wasseroberfläche/Meereshöhe	1 bar	1	10 L
Wassertiefe 10 m	2 bar	1/2	5 L
Wassertiefe 20 m	3 bar	1/3	3,33 L
Wassertiefe 30 m	4 bar	1/4	2,5 L

Tab. 4: Relation zwischen Wassertiefe, Umgebungsdruck und Gasvolumen

Das Dalton-Gesetz besagt, dass sich der Gesamtdruck eines Gasmisches additiv aus den Partialdrücken der einzelnen Gaskomponenten zusammensetzt. In der Zusammensetzung trockener sauberer Luft in Nähe des Meeresniveaus haben

Sauerstoff und Stickstoff gemäß ISO 2533:1975 Volumenanteile von 20,947 % (Sauerstoff) und Stickstoff von 78,084 % [123]. Entsprechend bestehen bei 1 bar Umgebungsdruck Partialdrücke von 0,209 bar und 0,7808 bar. [107] Bei 30 m (4 bar) liegt beispielsweise ein Stickstoffpartialdruck von $4 \times 0,7808 = 3,1232$ bar vor.

Das Henry-Gesetz besagt, dass der Partialdruck eines Gases über einer Flüssigkeit direkt proportional zur Konzentration des Gases in der Flüssigkeit ist. Der Partialdruck ist der Teildruck einer einzelnen Komponente eines Gasgemischs und ist definiert als das Produkt des Umgebungsdrucks und dem Anteil des Gases am Gasgemisch. Mit zunehmender Tiefe und somit zunehmendem Partialdruck löst sich beim Atmen von Druckluft beispielsweise mehr Stickstoff im Blut und später in den Geweben. Mit abnehmender Tiefe verringert sich der Partialdruck wieder und es kommt zur Rückdiffusion aus den Geweben ins Blut. Das Henry-Gesetz ist somit von Wichtigkeit bei der Entstehung der Dekompressionskrankheit und bei toxischen Effekten von Atemgasen bei hohem Umgebungsdruck, z. B. der Stickstoffnarkose (Tiefenrausch). [104]

In Immersion kommt es durch den erhöhten Umgebungsdruck zu einer Umverteilung des Blutvolumens von den peripheren Venen in die zentrale Zirkulation. Dieses sogenannte „blood pooling“ (im deutschen Sprachgebrauch: Blutpooling) kann bis zu 700 ml betragen. Durch die erhöhte Vorlast kommt es gemäß des Frank-Starling-Mechanismus zu einem erhöhten kardialen Auswurf. Zudem kommt es zu erhöhtem Druck in den Pulmonalgefäßen. Immersionseffekte spielen eine Rolle bei vorbestehenden kardialen Erkrankungen und bei der Entwicklung des Taucherlungenödems. [61, 74, 104]

3.4 Barotrauma

Bei einem Barotrauma kommt es zu Verletzungen durch die sich mit wechselndem Umgebungsdruck verändernden Gasvolumina in Körperhöhlen und Organen. Die häufigste Verletzung beim Tauchen ist das Mittelohrbarotrauma. Die luftgefüllten Körperhöhlen des Kopfes, Mittelohr und der Nasennebenhöhlen sind sehr empfindlich für Barotraumata bei Volumenschwankungen vor allem beim Abtauchen. [104]. Bei tödlichen Tauchunfällen kann ein Mittel- oder Innenohrbarotrauma in Form einer schmerzbedingten Verminderung der Handlungsfähigkeit oder einer Gleichgewichtsstörung mit Orientierungslosigkeit eine Rolle in der zum Tode führenden Kausalkette spielen.

3.5 Arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lunge („Pulmonales Barotrauma“)

Arterielle Gasembolien sind als Todesursache bei Tauchunfällen häufig (13-23 %) [6]. Gerätetaucher atmen Druckluft über den Atemregler, der das Atemgas aus der Tauchflasche dem Umgebungsdruck anpasst und ein normales Tidalvolumen zur Verfügung stellt. Beim Auftauchen muss das in der Lunge komprimierte Gas abgeatmet werden, da es sich sonst gemäß dem Gesetz von Boyle-Mariotte ausdehnt und zur Lungenruptur führen kann. Das aus dem Lungenriss entweichende Gas kann dann in den die Bronchien umgebenden Raum austreten. Dies kann zu einem Pneumothorax, einem Pneumomediastinum, einem Hautemphysem,

Pneumoperitoneum oder zu einer arteriellen Gasembolie durch Eindringen von Luft in die Lungenkapillaren führen. Die arterielle Gasembolie ist dabei die häufigste der genannten Komplikationen und tritt bei 60% aller tauchbedingten pulmonalen Barotraumata auf [1 Kap. 16]. Tritt Gas ins pulmonalvaskuläre Gefäßsystem über, gerät es zum Herzen und mit dem kardialen Auswurf in den systemischen Kreislauf und somit in ischämie-kritische Areale wie das Gehirn oder die Koronararterien.

Begünstigt wird das Auftreten eines pulmonalen Barotraumas bei gefangener Luft im Sinne eines „Air Trappings“. Unter Air Trapping versteht man eine Kompression der kleinen Atemwege (Bronchialkollaps) durch eine starke Erhöhung des intrathorakalen Drucks bei forcierter Expiration, wodurch distal der komprimierten Bronchien bzw. Bronchiolen Luft in den Alveolen eingeschlossen bleibt [121]. Erkrankungen, die ein Air Trapping in der Lunge verursachen, können während eines Tauchgangs katastrophale Auswirkungen haben. Mit einem besonderen Risiko verbunden sind die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) insbesondere bei Vorliegen eines Lungenemphysems mit Bullae, Asthma bronchiale und ein Pneumothorax in der Vorgeschichte. Bei Verlegung der Atemwege während des Tauchgangs, beispielsweise durch muköses Sekret oder ein Schleimhautödem mit konsekutivem Air Trapping, kann es beim Auftauchen zu einer Alveolarruptur kommen. Kalte, trockene Atemluft begünstigt die Bronchokonstriktion und somit das Air Trapping, insbesondere bei Menschen mit hyperreagiblen Bronchialsystemen.

Ebenso begünstigt wird ein pulmonales Barotrauma durch Auftauchen mit angehaltener Luft bei Panik-Notaufstiegen, Aufstieg ohne Gerät, Aufstieg unter Wechselatmung oder bei Rettungsaktionen von Tauchern mit partiellem oder voll ausgeprägtem Stimmritzenkrampf. [1 Kap. 16, 5, 6, 104]

Ein häufiges Szenario ist ein Problem mit der Ausrüstung oder dem Atemgas, Panik oder gesundheitliche Probleme mit folgend schnellem Aufstieg, eingeschränkter Atmung, Lungenüberdehnung und Auftreten einer Luftembolie [5]. Oft kommt es an der Wasseroberfläche nach dem Notaufstieg zu einer Bewusstlosigkeit innerhalb von Sekunden bis Minuten [6, 104]. Generell sind die Symptome einer Gasembolie jedoch davon abhängig, wo und wie ausgeprägt sich die Obstruktion der arteriellen Gefäße darstellt. In den Koronararterien kann eine Gasembolie zum akuten Myokardinfarkt bis hin zum sofortigen Herztod führen. Die zerebrale arterielle Gasembolie (CAGE) kann zu schlaganfallartigen Symptomen führen (Halbseitensymptomatik, Schwindel, Übelkeit, Krämpfe, Sehstörungen u.a.).

Eine Überdehnung der Lunge kann auch schon beim Aufstieg aus geringen Tiefen auftreten. Das Risiko, ein Überdruckbarotrauma zu erleiden ist in den ersten 10 m unter der Wasseroberfläche am größten, da dort die größte relative Druckabnahme während des Aufstiegs erfolgt [1 Kap. 16]. Berichtet wurde über Ereignisse nach Tauchgängen unter 2 m Tiefe [6, 104]. Die erforderliche Therapie ist eine hyperbare Sauerstofftherapie in einer Druckkammer, wodurch intravaskuläre Stickstoff-Gasvolumina verkleinert und durch Sauerstoff ersetzt werden. Sauerstoff wird schneller metabolisiert und das intravaskuläre Gasvolumen somit reduziert [104]. Bei tödlichen Tauchunfällen sind Kenntnisse bzgl. des exakten Tauchprofils des Verunfallten von großer Bedeutung für die differentialdiagnostische Abklärung einer Gasembolie. Von zentralem Interesse sind Fragen nach schnellen Aufstiegsphasen, Notaufstiegen und sogenannten „JoJo-Profilen“ (wiederholtes kurzfristiges Auf- und Abtauchen) sowie die exakte Auffindesituation im Rahmen einer Bergung aus der

Tiefe. Gab es keinen schnellen Aufstieg, ist eine Luftembolie weniger wahrscheinlich [5, 109]. Ausgeschlossen ist sie aufgrund des möglichen Air-Trappings jedoch niemals. Aufgrund der häufig auftretenden Bewusstlosigkeit erhalten tödliche Tauchunfälle mit stattgehabter arterieller Gasembolie oft die Todesursache „Ertrinken“ als Diagnose [6].

Besonderes Augenmerk ist auf Fälle zu legen, bei denen es in der Tiefe zu einer Bewusstlosigkeit und nachfolgend zu einem schnellen Notaufstieg im Rahmen einer Rettungsaktion durch Tauchpartner kam. In diesen Fällen können post mortem in der Sektion neben Dekompressionsartefakten Zeichen einer stattgehabten Gasembolie vorliegen. Zu bedenken ist dann, dass die Gasembolie nicht der ursprüngliche Auslöser gewesen sein kann, da die Bewusstlosigkeit bereits vor dem Notaufstieg eintrat. Hier müssen andere Ursachen, die zu einer Bewusstlosigkeit geführt haben können, überdacht werden. [6, 109]

3.6 Dekompressionskrankheit

Die uneinheitliche Begrifflichkeit und die Klassifikation verdienen eine Erklärung. Gerade im Vergleich mit englischsprachiger Fachliteratur ist die Differenzierung zwischen einem Dekompressionsunfall (engl. decompression injury, DCI, s.o.) und einer Dekompressionskrankheit (engl. decompression sickness, DCS) wichtig. Die DCI gilt als Überbegriff für akute dysbare Erkrankungen und umfasst somit sowohl die DCS, als auch die arterielle Gasembolie, AGE. Die traditionelle, noch weltweit gebräuchliche Klassifikation der Dekompressionserkrankung („DCS-System“) umfasst die DCS Typ I mit Beteiligung der Haut und des Bewegungsapparats und die DCS Typ II mit Beteiligung des zentralen Nervensystems, des Innenohrs, der Lunge oder des Herz-Kreislaufsystems und anderer Organsysteme. Als DCS Typ III wird oft eine fulminante Manifestation mit unmittelbarem Beginn und rasch progredienter Symptomatik durch eine begleitende arterielle Gasembolie bezeichnet. [1 Kap.14] Da die DCS zunehmend als systemische Erkrankung angesehen wird und Kritikpunkte am traditionellen System entstehen, wurde von Francis und Smith bereits Anfang der 1990er Jahre ein deskriptives Klassifikationssystem vorgeschlagen („DCI-System“) [124]. Die deskriptive Klassifikation umfasst die zeitliche Dynamik, den Beginn der Symptomatik, die Organmanifestation, die geschätzte Belastung des Körpers mit Inertgas anhand des Tauchprofils und das Vorliegen eines Barotraumas. Genutzt werden derzeit beide Klassifikationen [1 Kap. 14]. Die deskriptive Terminologie liefert jedoch deutlich prägnantere Informationen. Für den Untersucher eines tödlichen Tauchunfalls wichtig zu wissen ist, dass zwischen einer schweren zerebralen DCS und einer arteriellen Gasembolie klinisch so gut wie nicht differenziert werden kann [1 Kap. 14].

Bei einer Dekompressionserkrankung kommt es bei sinkendem Umgebungsdruck zur Bildung von Inertgasbläschen aus zuvor mit Stickstoff gesättigten Geweben oder Blut. Dabei kommt es zu einer konsekutiven Gewebsschädigung, wobei je nach Ort und Art der Schädigung unterschiedliche Symptome auftreten können. Die entstandenen Gasbläschen haben unterschiedliche Größe und können sich anhäufen, was entweder zu einer direkten mechanischen Schädigung von Geweben führen kann oder aber zu indirekten Schädigungen durch Mikro- oder Makroembolien und somit zu einer Gewebshypoxie [1 Kap. 14, 104]. Die verschiedenen Gewebe des Körpers zeigen dabei eine unterschiedliche Aufsättigungs- und Entsättigungskinetik.

Zur Vermeidung einer Dekompressionskrankheit wurden Dekompressionsstopps in den Vorgang des Auftauchens integriert, um die Stickstoffkonzentration in übersättigten Geweben und den Übergang in Gasblasen im Gewebe zu mindern. [104]

Direkte Todesfälle durch eine Dekompressionskrankheit sind bei Freizeittauchern selten [6, 109]. Hingegen besteht eine relativ hohe Morbidität, wobei dank gut entwickelter Behandlungsmöglichkeiten eine geringe Spätmortalität besteht [6]. Bei tödlichen Tauchunfällen durch eine Dekompressionskrankheit besteht typischerweise eine signifikante Überlebenszeit nach dem Auftauchen. Zumeist folgt noch eine klinische Behandlung vor dem Ableben [5]. Die Symptome entwickeln sich in der Regel kurze Zeit nach dem Tauchgang, wobei die Erkrankung umso schneller auftritt, je ausgeprägter die Bildung von Inertgasbläschen abgelaufen ist. Zudem ist die zeitliche Dynamik bis zum Auftreten der Symptome von den Sättigungs- und Entsättigungsspezifika der betroffenen Gewebe abhängig. Am häufigsten treten die Symptome innerhalb von 6 Stunden nach dem Tauchgang auf [1 Kap. 14].

Besonders früh kommt es zum Auftreten neurologischer Symptome; diese manifestieren sich oft schon nach wenigen Minuten. Dies ist dadurch bedingt, dass das ZNS aufgrund seiner guten arteriellen Blutversorgung zu den schnell aufsättigenden Geweben gehört. Typische Tauchprofile sind u.a. sehr tiefe Presslufttauchgänge mit nachfolgend raschem Aufstieg. Die Symptomatik bei zerebraler Manifestation einer DCS kann wie auch z. B. bei Schlaganfällen vielgestaltig sein (siehe Tabelle 5). Die weiße lipidhaltige Substanz des Rückenmarkes hat eine weniger ausgeprägte arterielle Versorgung als das Gehirn und gehört somit zu den langsamer aufsättigenden Geweben. Spinale Symptome treten deshalb etwas später auf; typisch sind hier Wiederholungstauchgänge von mäßiger Tiefe und Dauer. [1 Kap. 14]

Die neurologische Symptomatik gilt als häufigste Organmanifestation gefolgt von der Manifestation an Muskulatur und Gelenken der Extremitäten und unspezifischen körperlichen Symptomen wie Abgeschlagenheit, Müdigkeit, Kopfschmerzen und diffusen Schmerzen am ganzen Körper. Manifestationen an Haut, Innenohr und kardiopulmonale Symptome sind seltener.

Bei Vorliegen eines persistierenden Foramen ovales (PFO) kann es zum Übergang venöser Gasblasen ins arterielle System und zu arteriellen Gasembolien kommen. [104] Ein erhöhtes Risiko besteht bei einem PFO mit spontanem großem Shunt und bei einem PFO mit einem Vorhofseptumaneurysma [1 Kap. 25]. Das Risiko für einen Dekompressionsunfall ist bei Tauchern mit PFO erhöht. Jede relevante und wiederholte Dekompressionskrankheit sollte an einen Shunt über ein PFO denken lassen. Dabei muss auch die Möglichkeit einer Embolie über einen intrapulmonalen Rechts-Links-Shunt bedacht werden, der sowohl über präformierte Kurzschlüsse oder auch durch Ventilations-Perfusions-Missverhältnisse entstehen kann. In Taucherkreisen und auf Taucherarzttagungen ist das Thema PFO omnipräsent. PFO und Tauchen ist auch gegenwärtig noch Gegenstand kontroverser wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. Die Indikation für einen Verschluss mit der Indikation eines sicheren Tauchens wird selten gestellt.

Tab. 5 beschreibt Beispiele von Organmanifestationen und häufigen Symptome im Rahmen einer Dekompressionskrankheit [1 Kap. 14].

Organ	Häufige Symptome
Gehirn	Bewusstseintrübungen verschiedener Ausprägung, Desorientierung, Verwirrung, epileptische Anfälle, Halbseitensymptomatik, Sehstörungen, Aphasien, Kleinhirnsymptomatik z. B. mit Koordinationsstörungen, Dysdiadochokinese, Schwindel und Dysarthrie
Rückenmark	Gürtelförmige Rückenschmerzen, Gefühlsstörungen oder Paresen, oft Symptomatik eines meist inkompletten Querschnittsyndroms
Bewegungsapparat	Muskuläre und Gelenkschmerzen (ugs. „bends“) mit ggf. Schonhaltung
Haut	Juckreiz (ugs. „Taucherflöhe“), Erythem, umschriebene Schwellungen der Haut, Cutis marmorata
Lymphatisches System	Drainagestörungen mit abhängigem Lymphödemen
Innenohr	Vertigo, Hörstörungen, Tinnitus, Nystagmus, Übelkeit, Erbrechen
Lunge und Herz-/ Kreislaufsystem	Tachypnoe, Dyspnoe, Husten, „Chokes“ (Thoraxschmerz mit Zunahme bei tiefer Inspiration), Lungenödem, ARDS, Brustschmerzen, Herzrhythmusstörungen, Schock, embolische Infarkte (Herzkranzgefäße, Niere, Milz, Darm, Schlaganfall)
Allgemeinsymptome	Abgeschlagenheit, Müdigkeit, Kopfschmerzen, diffuse Schmerzen, grippeähnliches Bild, „Seekrankheits-symptome“

Tab. 5: Beispiele von Organmanifestationen und häufigen Symptomen einer Dekompressionskrankheit [1]

3.7 Bewusstseinsbeschränkung und Bewusstlosigkeit durch Intoxikationen

Beim Gerätetauchen wird komprimiertes Gas, in der Regel Druckluft, durch den Lungenautomaten dem Umgebungsdruck angepasst. Taucher sind somit erhöhten Gaspartialdrücken ausgesetzt. [107] Verwendete Atemgase können aufgrund des steigenden Umgebungsdrucks in der Tiefe und der konsekutiv höheren Partialdrücke toxisch wirken und/oder zur Bewusstlosigkeit führen.

3.7.1 Stickstoffnarkose/„Tiefenrausch“

Das Inertgas **Stickstoff** ist mit 78,08 % Hauptbestandteil der Atemluft [108]. Stickstoff ist bei Druckexposition die häufigste Ursache für Bewusstseinsstörungen und führt ab einem Stickstoffpartialdruck (p_{N_2}) von 3,2 bar zur beginnenden Stickstoffnarkose, die auch als Tiefenrausch oder im Taucherjargon „the narcs“, „rapture of the deep“ bezeichnet wird. Dieser Grenzwert wird ab einer Tiefe von etwa

30 m, entsprechend 4 bar erreicht. [6, 105] Viele Tauchorganisationen, international auch einige Behörden, setzen deshalb ein Tiefenlimit für Sporttaucher mit Pressluft auf 30 m [108]. An den Folgen einer Stickstoffnarkose sterben mehr Taucher als an einer Dekompressionskrankheit. Die Stickstoffnarkose ist in 6 % der tödlichen Tauchunfälle direkte Todesursache, zudem ist sie in vielen Fällen indirekt am Unfallhergang beteiligt. [108] In der Folge kommt es zum Tod durch Ertrinken bei herabgesetzter Handlungsfähigkeit oder Bewusstlosigkeit.

Die Pathophysiologie der Stickstoffnarkose wird kontrovers diskutiert. Lange Zeit wurde die Ursache im Rahmen der Lipid-Theorie in einer Anreicherung des Stickstoffs in den Zellwänden mit Zunahme der Wanddicke und Behinderung der Diffusion von Neurotransmittern angesehen. Mittlerweise wird die Protein-Theorie als ursächlich angesehen, wenngleich möglicherweise eine multifaktorielle Ursache besteht. Die Protein-Theorie beschreibt Gase mit narkotischer Potenz, die sich an die Zellmembran-Proteine exzitatorischer Neuronen an den Nervenzellmembranen der Synapsen binden und die Nervenleitung hemmen. Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass Bildung, Freisetzung und Aufnahme von diversen Neurotransmittern im ZNS im Rahmen einer Stickstoffnarkose beeinflusst werden. [105] Eine Stickstoffnarkose ähnelt der Symptomatik einer Alkoholisierung oder den frühen Phasen einer Anästhesie oder Hypoxie [105, 106]. Die Symptome werden vom Betroffenen selbst oft nicht als solche wahrgenommen, zudem kommt es zum Teil zu einer retrograden Amnesie in Bezug auf die Symptome, die zeitliche und räumliche Desorientierung, Verlust von Reaktionsvermögen, Urteilskraft und Vernunft, Koordinationsstörungen, Euphorie und Stimmungsschwankungen, Halluzinationen, kognitive Beeinträchtigungen und Gedächtnisstörungen beinhalten [105, 108]. Studien zeigten, dass diese kognitiven Defizite auf ein herabgesetztes Arousal zurückzuführen sind, also einen reduzierten Grad der Aktivierung des ZNS. Das Arousal wird von der Formatio reticularis gesteuert und beinhaltet Wachheit, Wachsamkeit und erhöhte Reaktionsbereitschaft. [106, 107]

Die Narkosewirkung und -häufigkeit nehmen mit steigendem Umgebungsdruck zu. Die Effekte und Symptome sind in ihrer Ausprägung außerordentlich individuell. Einige Taucher zeigen schon bei geringeren Tiefen Symptome, wenngleich eine Stickstoffnarkose in der Regel mit tieferen Tauchgängen assoziiert ist. Ab einem pN_2 von 3,2 bar sind im Laborversuch erste leichte Symptome bei jedem Taucher nachweisbar. [105, 108] Sie betreffen Einschränkungen von Entscheidungsfähigkeit, Kurzzeitgedächtnis und der manuellen Geschicklichkeit. Mit steigendem pN_2 sinkt die Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeit. Ab einem pN_2 von 4 bar kann es zum Verlust der Selbstkontrolle, Selbstüberschätzung, Albernheit, fixen Ideen sowie zu Einbußen bei der Konzentration und zu Erinnerungslücken kommen. Die Reaktionszeit auf visuelle und auditorische Reize ist verzögert. Bei einem pN_2 von 4,5 bar beginnen Schläfrigkeit und Halluzinationen. Es kann zur Hysterie kommen. Die Reaktionszeit auf Signale, Instruktionen und andere Stimuli ist stark herabgesetzt. Ab einem pN_2 von 5 bar kommt es zu Verwirrtheit, Benommenheit, komplettem Verlust des Urteilsvermögens und, abhängig von individuellen Empfindlichkeiten gegenüber durch Stickstoff bedingten Ausfällen, bei weiterer Steigerung zur Bewusstlosigkeit. [1 Kap. 18, 108]

Neben individuellen können auch intraindividuelle Faktoren das Auftreten einer Stickstoffnarkose begünstigen. Von Bedeutung sind diesbezüglich Stress, Angst, Erschöpfung, Drogen und Alkohol, Medikamente mit sedierender Wirkung,

Schlafmangel und Kälte. Ein schnelles Abtauchen begünstigt ebenfalls eine Stickstoffnarkose. [1 Kap. 18, 108] Körperliche Anstrengung geht mit einer erhöhten Plasmakonzentration von CO_2 und erhöhten CO_2 -Partialdrücken einher. Eine Hyperkapnie unter hyperbaren Bedingungen kann ein Trigger für eine Stickstoffnarkose sein und in Bezug auf die Narkosewirkung additiv sein.

Bei Sporttauchern weit verbreitet ist die Annahme, dass nach wiederholten Tauchgängen eine physiologische Anpassung im Sinne einer Toleranzentwicklung an die Stickstoffnarkose stattfindet. Diese „Rausch-Adaptation“ wird von vielen erfahrenen Tauchern berichtet, z. B. für das Ende einer Serie von Wiederholungstauchgängen oder am Ende einer Tauchsaison. Für den Bereich des Sporttauchens konnte der Effekt durch Studien nicht nachgewiesen werden. Einige Studien zeigten einen Gewöhnungseffekt, welcher jedoch nicht mit einer Adaption gleichzusetzen ist. Die Gewöhnung ist als bessere Kompensation im Umgang mit den Beeinträchtigungen durch die Stickstoffnarkose zu verstehen. Eingeübte Fähigkeiten können auch unter den Wirkungen der Stickstoffnarkose qualitativ besser abgerufen werden. In nicht vorhersehbaren Akutsituationen ist die Reaktionsfähigkeit allerdings weiterhin deutlich reduziert. [108]

Ebenfalls verbreitet ist die auf der Lipid-Theorie basierende Annahme, dass sich die Symptome der Stickstoffnarkose durch Verringerung des pN_2 rasch zurückbilden können, was die weit verbreitete Empfehlung begründet, bei Auftreten von Symptomen einer Stickstoffnarkose über eine gewisse Strecke aufzutauchen [105]. Eine Studie von Balestra et al. konnte jedoch zeigen, dass die kognitiven Beeinträchtigungen auch noch 30 min nach dem Tauchgang bestehen [105]. Die Studie erbrachte zudem weitere eindrückliche Erkenntnisse zur Stickstoffnarkose. Beim CFFF (critical flicker fusion frequency) Test wird die Frequenz einer blinkenden Lichtquelle solange erhöht, bis der Proband das Blinken als kontinuierliche Lichtquelle wahrnimmt. Die Grenzfrequenz (Filmverschmelzungsfrequenz) ist ein objektiver Parameter für die Bewertung höherer Hirnfunktionen. Vorangegangene Studien zeigten, dass das CFFF parallel zu Änderungen im EEG verläuft und die Ergebnisse von CFFF-Tests mit Verhaltenstests wie den PEBL (psychology experiment building language battery tests) korrelieren, so dass mittels CFFF verlässliche Aussagen über das Arousal und somit die Aktivierung des zentralen Nervensystems in Bezug auf Aufmerksamkeit, Wachheit, Reaktionsbereitschaft gemacht werden können [105, 107]. Der CFFF Test hat sich bereits als zuverlässige, reproduzierbare, objektive und quantitative Methode zur Messung von kognitiven Veränderungen unter Alkohol, Anästhesie, Hypoxie und Enzephalopathien bewährt und ist im Gegensatz zu anderen kognitiven Tests unter einfachen und auch in verschiedenen Umgebungsbedingungen anwendbar, so auch unter Wasser [105, 106]. Balestra et al. führten den Test an ihren Probanden vor dem Tauchgang, 5 min nach Abtauchen auf 33 m, nach 15 min auf 33 m und 30 min nach dem Tauchgang durch. Im Anschluss atmeten die Probanden 15 min lang 100 % Sauerstoff und wurden ein letztes Mal getestet. Wichtige Erkenntnisse waren, dass es nach dem Abtauchen zu einer kurzfristigen Verbesserung der Hirnleistung kam, was auf den zunehmenden Sauerstoffpartialdruck zurückzuführen ist. Bei Luftatmung liegt der pO_2 auf 33 m etwa bei 0,9 bar, also nahe dem pO_2 bei normobarer Sauerstoffatmung von 1 bar. Eine Verbesserung der Hirnfunktion unter normobarer Sauerstoffatmung wurde bereits nachgewiesen [107]. Nach 15 min zeigte sich ein signifikanter Abfall der Hirnleistung. Vermutet wurde, dass die Einflüsse der Stickstoffnarkose im Verlauf gegenüber den positiven Effekten durch den erhöhten pO_2 überwiegen. 30 min nach

dem Tauchgang bestand weiterhin eine signifikante Minderung der Hirnleistung. Nach der Sauerstoffatmung wurde die initiale Hirnleistung sogar noch übertroffen, was auf den erwähnten positiven Effekt von Sauerstoff zurückzuführen ist. Die Studie von Balestra et al. zeigt eindrucksvoll, dass die physiologischen Veränderungen im Rahmen der Gas-Protein-Interaktion trotz der subjektiven Verringerung der Symptome einer Stickstoffnarkose nach Verlassen der Testtiefe weiterhin für einen längeren Zeitraum bestehen bleiben und die kognitive Einschränkung mit verminderter Handlungs- und Reaktionsfähigkeit bis 30 min nach Beendigung des Tauchgangs anhält. [105] Diese Erkenntnis ist von wesentlicher Bedeutung bei der Rekonstruktion tödlicher Tauchunfälle in Bezug auf das Verhalten des Verunfallten und seiner Tauchpartner bei Tauchgängen in Tiefen von mehr als 30 m Wassertiefe bzw. den Äquivalenten bei Verwendung von Mischgasen.

Zur Reduzierung der Stickstoffnarkose werden Tauchtiefen mit Pressluft bis maximal 30 m angestrebt oder aber Mischgase eingesetzt. Der Anteil von Stickstoff wird hierbei zugunsten eines Inertgases mit geringerer narkotischer Wirkung verringert. Aufgrund seiner geringen narkotischen Potenz wird Helium hierzu gerne genutzt, etwa. in Trimix- Gasmischungen (Sauerstoff, Helium, Stickstoff). [1 Kap. 18, 108]

3.7.2 Sauerstofftoxizität

Maximale normobare Sauerstoffatmung führt zu einer erhöhten Nervenleitung [105, 107]. Die Studie von Balestra et al. zur prolongierten Stickstoffnarkose konnte als Nebeneffekt zeigen, dass es unter Atmung von normobarem Sauerstoff zu einer Steigerung der Hirnleistung um 25 % kommt. Sauerstoff hat jedoch eine druckabhängige Toxizität für das zentrale Nervensystem. Diverse neurophysiologische Interaktionen führen zur verstärkten Hemmung inhibitorischer Neuronen. Hyperoxische Krämpfe sind das Resultat eines Ungleichgewichts von glutaminerger exzitatorischer Wirkung und GABA-erger inhibitorischer Wirkung. [105] Der empfohlene Partialdruck für das Tauchen mit Sauerstoff oder sauerstoffreichen Mischgasen liegt deshalb bei 1,4 bis 1,6 bar [1 Kap. 38]. Bei höheren Partialdrücken kann es zu epileptiformen Anfällen mit häufig konsekutivem Ertrinken kommen [6, 107]. Dies ist z. B. zu überdenken, wenn ein tödlich verunfallter Taucher Gasmischungen wie Nitrox verwendet hat. Bei Nitrox handelt es sich um Gasmischungen mit einem erhöhten Sauerstoffanteil (> 21 %) unter Verringerung des Stickstoffanteils. Durch den verringerten Stickstoffanteil ist es Tauchern möglich, die Dekompressionspausen zwischen den Tauchgängen zu verringern oder längere Tauchgänge unter Verringerung der Dekompressionszeiten durchzuführen. [1 Kap. 6] Zudem haben Studien gezeigt, dass es nach Nitrox-Tauchgängen zu signifikant weniger Müdigkeit und weniger CFFF-Verminderung kommt als bei Tauchgängen mit Luft [105]. Nitrox-Tauchgänge sind aufgrund der Gefahr von zerebralen Krämpfen bei neuronaler Sauerstoffvergiftung (Paul-Bert-Effekt) abhängig vom pO_2 allerdings tiefenlimitiert [1 Kap. 6].

3.7.3 Kohlenstoffdioxid (CO₂), Essoufflement und CO₂-Retainer

Auch erhöhte Kohlenstoffdioxidspiegel können zu mentalen und physischen Beeinträchtigungen bis hin zur Bewusstlosigkeit mit konsekutivem Ertrinken führen

[58]. Eine Hyperkapnie ist beim Tauchen meist schwer vorhersehbar und kann abseits eines Ertrinkungsvorgangs durch mehrere Mechanismen entstehen.

In manchen Fällen entstehen CO₂-bedingte Zwischenfälle durch erhöhten inspiratorischen CO₂-Partialdruck (piCO₂). Beim Tauchen mit Rebreather-Geräten kann beispielsweise eine Hyperkapnie auftreten, wenn das Kohlenstoffdioxidbindemittel in der Ausatemluft nicht rechtzeitig ausgetauscht wurde, aufgebraucht ist oder die Absorption von Kohlenstoffdioxid im Atemkalk aus anderen Gründen versagt (s. u. „Besonderheit Rebreather-Tauchen“). Es kann schnell zu einer lebensbedrohlichen Hyperkapnie kommen. [58, 61 Kap. 18] Eine Hyperkapnie kann auch durch Kontamination des Atemgases mit erhöhtem Kohlenstoffdioxidgehalt auftreten oder beispielsweise durch Atmung eines Umgebungsgases in Höhlen, in denen große Gasvolumina präsent sind. Größere Gasansammlungen befinden sich auch im sogenannten „Rüttler“ im Hemmoorsee. Taucher fühlen sich auch dort gelegentlich verleitet, in solchen Gaseinschlüssen den Atemregler zu entfernen und in der vermeintlichen „Luftblase“ zu atmen, was bei entsprechender Gaszusammensetzung zu einer Kohlenstoffdioxidintoxikation führen kann. Bei Helmtauchern und in Druckkammern kann eine ungenügende Ventilation im geschlossenen System eine Rolle spielen, was für den in dieser Dissertation behandelten Bereich des Tauchens zu vernachlässigen ist. [61, Kap. 18] Unter dem Begriff „skip breathing“, einem bewussten Auslassen jedes 2. Atemzugs bei erhöhtem Sauerstoffpartialdruck mit Anstieg des CO₂, ist ein problematisches Verfahren bekannt, welches von Tauchern angewandt wird, um durch reduzierte Ventilation unter Inkaufnahme einer leichten Hyperkapnie den Atemgasverbrauch zu reduzieren, um die Tauchzeit zu verlängern. [61, Kap. 18]

Von unterschätzter Bedeutung ist das Phänomen einer inadäquaten pulmonalen Ventilation in größerer Tauchtiefe, das in der französischsprachigen und deutschsprachigen tauchmedizinischen Literatur als Essoufflement („außer Atem kommen“) bekannt ist [57, 117]. Beschrieben wurde es erstmals bei Helmtauchern der Royal Navy in den 1920er Jahren bei bewusstlosen und/oder als „greatly exhausted“ beschriebenen Tauchern, die unter Wasser in größerer Tiefe starke körperliche Arbeit verrichtet hatten und deren Atemgasproben auf die Oberfläche korrigiert bis zu 9 % CO₂ Anteil in der Expirationsluft (etCO₂) zeigten [58]. Essoufflement ist heute ein Begriff für eine Form der alveolären Ventilationsstörung, die in Hyperkapnie und Bewusstlosigkeit münden kann, vor allem aber in Dyspnoe und konsekutive Panik [61, Kap. 18]. Während der paCO₂ bei starker körperlicher Anstrengung an der Oberfläche absinkt kommt es in hyperbarer Umgebung zu einem reduzierten Atemminutenvolumen und verminderter alveolärer Ventilation [58]. In einem sich aufschaukelnden Prozess von Hypoventilation mit einer allmählichen Verschiebung der Atemmittellage in Richtung des inspiratorischen Reservevolumens kommt es zu einer flachen, schnellen, hechelnden Atmung. Dies führt zur raschen Ermüdung der Atemhilfsmuskulatur. [117] Bei erhöhter Atemfrequenz und flacherer Atmung kommt es zur Behinderung des Gasaustausches in den Alveolen, da die Atemzugvolumina in das inspiratorische Reservevolumen verlagert werden. Kohlenstoffdioxid kann nicht mehr vollständig abgeatmet werden. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration im Blut steigt schleichend an bis zur manifesten Intoxikation an. [61, Kap. 18] Innerhalb weniger Minuten kann es zur Hyperkapnie mit Dyspnoe, Schwindel und Bewusstseinstrübungen bis zur Bewusstlosigkeit kommen [117]. Unter Ruhebedingungen liegt der alveoläre pCO₂ bei Gesunden bei 40 mmHg [58, 117]. Schnelle flache Atmung in Verbindung mit größerer körperlicher Belastung

und resultierenden erhöhten CO₂ und O₂-Umsätzen führt rasch zu einem pCO₂ um 60 mmHg mit beginnender Symptomatik. Zu diesem Zeitpunkt liegt meist noch keine wesentliche Hypoxie vor. Ab einem Wert von 80-90 mmHg wirkt CO₂ narkotisch. [117] Die Hauptursache des Essoufflements liegt in der höheren Gasdichte, die proportional mit der Tiefe ansteigt und bei höherem Umgebungsdruck zu einem erhöhten Atemwiderstand sowohl in den Atemwegen als auch im Atemregler mit konsekutiv erhöhter Atemarbeit führt [58, 61]. Für eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff ist bei erhöhtem Atemwegswiderstand (Resistance) eine größere Anstrengung nötig, was allein schon den subjektiven Eindruck von Dyspnoe vermitteln kann [61, Kap. 18]. Ein Review von Dunworth et al. über Hyperkapnie bei Tauchern aus 2017 betont weitere ursächliche Mechanismen für die Hypoventilation bei einem Essoufflement. Die Atemarbeit ist durch Immersionseffekte zusätzlich erschwert, da die pulmonale Elastance durch das immersionsbedingte „blood pooling“, also eine Flüssigkeitsverlagerung in die Thoraxorgane, eingeschränkt ist. Zudem spielt der Sauerstoffpartialdruck (pO₂) in hyperbarer Umgebung eine Rolle. Ein erhöhter pO₂ ist assoziiert mit verminderter Chemosensitivität der CO₂-Rezeptoren, die eine große Rolle in der Atemregulation spielen. Es kommt zu einer Reduktion des Atemminutenvolumens und zur verminderten HCVR (hypercapnic ventilatory response). Die genauen Mechanismen, durch die eine Hyperoxie auf diesem Weg zu einer Hyperkapnie führt, sind dabei nicht zufriedenstellend erklärt. Bekannt ist der Effekt jedoch von COPD-Patienten, die unter forcierter Sauerstoffgabe eine Hyperkapnie entwickeln. Anders als bei COPD-Patienten führt eine Hyperoxie bei Tauchern nicht nur zur Hyperkapnie, sondern auch zu einem verminderten Atemminutenvolumen bei körperlicher Arbeit. [58] Ein erhöhter pO₂ und erhöhte Atemgasdichte führen zudem additiv zu einem vergrößerten Totraumvolumen. Es kommt zu Veränderungen im Ventilations-Perfusions-Verhältnis und einer Zunahme des Totraumvolumens, was zu einem erhöhten paCO₂ führt. Zudem kommt es durch den sogenannten „Haldane-Effekt“, bei dem eine Hyperoxie zu einer verminderten CO₂-Löslichkeit im Blut führt, zu einem Anstieg des gemischtvenösen pCO₂. [58] Weitere auslösende und verstärkende Faktoren für ein Essoufflement können ein enger Tauchanzug und eine enge Tariierhilfe, ein hoher Atemwiderstand des Atemreglers, Fremdkörper und Salzpartikel im Atemregler sein. [17, 57] Starke körperliche Anstrengung und Kälte sind verstärkende Faktoren durch vermehrte Muskelarbeit und Kältezittern [117]. Auch Angst stellt mit einer signifikanten Steigerung des Luftverbrauchs einen starken Trigger dar, ebenso wie die Unkenntnis des Phänomens eines Essoufflements. Ist die Atemmittellage bei einem Essoufflement bereits verschoben, signalisiert die resultierende Hyperkapnie dem Taucher einen Lufthunger, was seinerseits Angst generiert und die erforderliche Rückkehr zu einer effektiven langsamen und tiefen Atmung über eine zunächst forcierte Ausatmung erschwert. Vor allem unerfahrene, von diesem Phänomen überraschte Taucher atmen in einer solchen Situation in der Regel noch schneller und verzweifelter. [117] Die Dyspnoe im Rahmen eines Essoufflements führt oft zum subjektiven Eindruck eines Gerätedefekts, was weitere Unruhe bis hin zur Panik auslösen kann. Tauchpartnern gegenüber werden dann Probleme mit der Atmung signalisiert. Jedoch wird der übergebene Oktopus oder Zweitautomat oft nach wenigen Versuchen wieder abgelehnt, weil sich das Grundproblem der zunehmenden Hyperkapnie nicht verändert. Gegenmaßnahme ist sofortiger kontrollierter Partneraufstieg ins Flachwasser (bei Dekompressionspflicht) oder direkt an die Wasseroberfläche [17]. Die Gefahr eines Essoufflements liegt in den meisten Fällen weniger in einer primären Bewusstlosigkeit durch Hyperkapnie als in der durch die subjektive Dyspnoe ausgelöste Ereigniskette Stress-Angst-Panik und dadurch

bedingte Fehleinschätzungen und Fehlentscheidungen, wie das Ablehnen eines durchaus voll funktionierenden Atemreglers. Bereits eine milde Hyperkapnie steigert zudem die Anfälligkeit für einen Tiefenrausch oder Sauerstofftoxizität (s. u.). Eine leichte Hypoventilation und Hyperkapnie wurden in Studien bereits bei submaximaler Anstrengung nachgewiesen. [58]

Manche Taucher, sogenannte „CO₂-Retainer“, bauen bei körperlicher Arbeit unter Wasser abnorm hohe Kohlenstoffdioxidkonzentrationen auf, selbst unter optimalen Bedingungen [3 S. 98-101, 61 Kap. 18]. Morrison berichtete 1978 über Fälle bewusstlos geborgener Taucher, die bei körperlicher Arbeit bereits in Tiefen um 30 m einen erhöhten CO₂-Partialdruck im ausgeatmeten Gasgemisch (end-tidal CO₂ = etCO₂) aufwiesen [3 S. 98-101, 59]. Erhöhte Atemwiderstände führen bei einem CO₂-Retainer nicht zu einer erhöhten Ventilation, sondern zu schleichend steigenden Kohlenstoffdioxidkonzentrationen. In diesen Fällen kann es zur ausgeprägten Hyperkapnie mit toxischer Wirkung bis zum Bewusstseinsverlust kommen. In mehreren Studien konnte bei Tauchern, die einen Bewusstseinsverlust unklarer Genese erlitten, nachgewiesen werden, dass diese auf erhöhte Kohlenstoffdioxidpartialdrücke mit einer reduzierten Ventilation reagierten. [61 Kap. 18] In der Vergangenheit wurden Empfehlungen zu Screening-Tests ausgesprochen, um das Risiko für akute Bewusstlosigkeit bei CO₂-Retainern zu reduzieren. Elliott empfahl in einer Veröffentlichung 1990 einen Screening Test für Taucher zu entwickeln, die mit Pressluft in Tiefen > 37 m Arbeit verrichten müssen. Allerdings konnten die bisherigen Studien, die es sich zum Ziel machten, CO₂-Retainer zu screenen und zu identifizieren, keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen. Auch die Ätiologie des Phänomens bleibt unklar. [3, S. 98-101] Die höhere CO₂-Toleranz bei CO₂-Retainern führt dazu, dass manche Taucher eine besondere Eignung für Arbeit in Tiefe zu haben scheinen, da sie einen geringen Atemgasverbrauch haben. CO₂-Retainer sind neben der Gefahr akuter Bewusstlosigkeit jedoch auch anfälliger für neurologische Symptome einer Sauerstoffintoxikation bei niedrigeren Sauerstoffpartialdrücken oder kürzeren Expositionen von hohen Sauerstoffpartialdrücken. Bedingt ist dieser Effekt durch eine Vasodilatation der Hirngefäße durch die Hyperkapnie mit entsprechend starker Anflutung von Sauerstoff im Gehirn. Bei einer Hyperkapnie kommt es allgemein auch zu einem rascheren Eintritt der Beeinträchtigungen durch stickstoffbedingte Mechanismen. [3 S.98-101, 58, 61 Kap. 18]

Auch bei Nicht-CO₂-Retainern kann bei signifikant erhöhtem pCO₂ ein Additionseffekt bei Erreichen narkotischer oder beinahe narkotischer Partialdrücke von Inertgasen auftreten. Der additive Effekt von erhöhtem pCO₂ und Sauerstoff- bzw. Stickstofftoxizität wurde in mehreren Studien beschrieben. [3 S. 98-101, 58, 61 Kap. 18] Aggraviert werden kann eine Hyperkapnie beim Tauchen zudem durch ein Asthma bronchiale, welches per se mit einer CO₂-Retention einhergeht [61, Kap. 18]. Ebenso verhält es sich mit respiratorischen Infekten [117].

Die toxische Wirkung von Kohlenstoffdioxid zeigt eine starke Abhängigkeit vom Partialdruck, weniger von der tatsächlichen Kohlenstoffdioxidkonzentration des Atemgases (p_iCO₂). Sehr hohe CO₂-Konzentrationen im Atemgas (> 10 %) führen jedoch direkt zur Bewusstlosigkeit. In größerer Wassertiefe treten Symptome aufgrund des hohen Partialdrucks auch bei relativ niedrigen Kohlenstoffdioxidkonzentrationen im Atemgas (niedrigem p_iCO₂) auf. Die Klinik einer Kohlenstoffdioxidintoxikation ist zudem abhängig von der Geschwindigkeit der

Anflutung und der tatsächlichen Kohlenstoffdioxidretention. Eine geringe Hyperkapnie wird meistens gut toleriert. Das schnelle Anfluten von Kohlenstoffdioxid oder eine ausgeprägte Hyperkapnie können zu Bewusstseinsverlust ohne Vorzeichen führen. Die Symptome bei einem langsamen Anfluten und gering ausgeprägter Hyperkapnie wurden bisher nicht einheitlich definiert. Ergebnisse verschiedener Studien zeigen ein mögliches Auftreten verschiedener kognitiver und psychomotorischer Störungen wie Schwindel, Desorientierung, Palpitationen, Unruhe und Dyspnoe. Die Fähigkeit zum Multitasking scheint besonders betroffen zu sein. Berichtet wurde zudem über (im Wasser meist unbemerktes) Schwitzen, Koordinationsprobleme, Faszikulationen und Ataxie, ebenso über Kopfschmerzen und Übelkeit. [58, 61 Kap. 18] Im dichten Medium Wasser und bei körperlicher Anstrengung werden die Symptome vom Betroffenen und vor allem den Tauchpartnern häufig nicht als solche wahrgenommen, so dass es auch bei langsamer Anflutung zu scheinbar plötzlichen Bewusstseinsverlusten kommt. Wird ein Betroffener dann in geringere Tiefe verbracht oder an die Wasseroberfläche geborgen, kommt es zur raschen Besserung der Symptome. Für einige Zeit anhaltend können typischerweise Kopfschmerzen und Übelkeit sein. [61 Kap. 18] Die klinische Auswirkung bei CO₂-Retainern ist ähnlich der bei erhöhter CO₂-Konzentration im Atemgas (p_iCO₂) oder erhöhtem paCO₂, allerdings zeigt sich seltener eine Dyspnoe als der Bewusstlosigkeit vorangegangenes Symptom. Studien belegen, dass hier gerade bei akut erhöhtem Atemwiderstand eine Bewusstlosigkeit auch ohne vorausgegangene Symptome wie Dyspnoe oder kognitive Einschränkungen auftreten kann. [3, S. 98-101]

3.8 Kardiale Vorerkrankungen

Casadesús et al. beschreiben eine Zunahme tödlicher Tauchunfälle bei älteren Tauchern nach körperlicher Anstrengung, aber auch bei Tauchgängen ohne besondere Anforderungen [110]. Diese Fälle sind häufig auf kardiale Ursachen zurückzuführen. Herz-Kreislaufkrankungen sind in Deutschland derzeit die häufigsten natürlichen Todesursachen. Unter Wasser stehen kardiale Erkrankungen und Ereignisse nach dem Ertrinken an zweiter Stelle der häufigsten Todesursachen. Zudem besteht sicherlich eine hohe Dunkelziffer, da Arrhythmien und Besonderheiten wie das Taucherlungenödem retrospektiv schwer zu diagnostizieren sind und oftmals keine fundierte Kenntnis zu diesen vermutlich häufig mit tödlichen Tauchunfällen assoziierten Krankheitsbildern besteht.

3.8.1 Kardiovaskuläre und valvuläre Vorerkrankungen

Die „DAN Annual Diving Reports“ beschreiben einen insgesamt sehr hohen Anteil kardiovaskulärer Erkrankungen an mindestens einem der zum Tode führenden Faktoren. Im Jahr 2015 lag der Anteil kardiovaskulärer Erkrankungen an den Todesursachen nach o.a. Datenlage bei 32 %, im Jahr 2016 bei 25 %. [12,13] Koca et al. berichten über das Vorliegen einer mittel- bis hochgradigen Stenose bei Koronarsklerose in 38 % der autopsierten tödlichen Tauchunfälle [109]. Zudem liegt auch den Ertrinkungstodesfällen als gesundheitliche Schädigung oft ein kardiovaskuläres Ereignis zugrunde. Beispielsweise verzeichnet der „DAN Annual Diving Report 2017“ akute kardiale Ereignisse in 32 % der gesundheitlichen Schädigungen [13]. Eine Studie von Denoble et al. ergab, dass bei 27% der 947

untersuchten tödlichen Tauchunfälle eine kardiovaskuläre Vorerkrankung in der Anamnese bestand [28].

Kardiovaskuläre Ereignisse können bei Vorerkrankten durch die körperliche Arbeit unter Wasser und durch Auswirkungen der Immersion wie z. B. die Steigerung von Vor- und Nachlast (durch Immersions- und Kälteeffekte) getriggert werden. Zudem kann es beim Tauchen zu einer Mobilisierung von Leistungsreserven bei häufig schlechtem Wirkungsgrad des Flossenschwimmens kommen. Kommt es bei einem per se nicht tödlichen kardiovaskulären Ereignis zur Bewusstlosigkeit oder Handlungsunfähigkeit anderer Art, endet dies unter Wasser oft fatal [28]. Somit ist bei der Untersuchung ein besonderes Augenmerk auf kardiovaskuläre Erkrankungen zu legen, vor allem bei älteren Tauchern. Dies gilt für die allgemeine Anamnese wie auch für die Sektion und die begleitende Bildgebung.

Herzklappenvitien können zur Druck- und/oder Volumenbelastung der Herzhöhlen und in Kombination mit immersionsbedingten Volumenumverteilungen beim Tauchen und Anstrengung zu einer reduzierten ventrikulären Funktion mit kardialer Dekompensation führen [104]. Die Pathophysiologie des Taucherlungenödems lässt darauf schließen, dass bereits eine Einschränkung der diastolischen Funktion bei erhöhten ventrikulärem diastolischem Füllungsdruck, wie es z. B. bei der Mitralklappeninsuffizienz der Fall ist, zur Bildung eines Taucherlungenödems disponiert.

3.8.2 Herzrhythmusstörungen

3.8.2.1 Tauchreflex und Badetod

Der Tauchreflex ist für viele Meerestiere und Seevögel für das Leben im und unter Wasser von essentieller Bedeutung. Er ist bei allen Wirbeltieren und somit auch beim Menschen in unterschiedlicher Ausprägung zu finden. In Immersion kommt es zur reflektorischen Bradykardie und peripheren Vasokonstriktion. Diverse Mechanismen können den Tauchreflex verstärken, etwa ein Luftanhalten nach tiefer Inspiration oder die Stimulation des N. trigeminus durch Wasserkontakt und Kältereiz. Bei Meeressäugern macht der Tauchreflex sehr lange Phasen in Apnoe bei ausgeprägter Bradykardie und Zentralisierung des Blutkreislaufs möglich („Bloodshift“). Damit werden der Sauerstoffverbrauch auf die überlebenswichtigen Organe wie Herz und Gehirn reduziert und lange Phasen in Apnoe möglich gemacht, beispielsweise zur Beschaffung von Nahrung in großen Tiefen. Seehunde können beispielsweise mit einem Atemzug bis zu 30 min lang tauchen. Die Bradykardie beim Tauchreflex wird über eine erhöhte parasymphatische Aktivität vermittelt. Der Ausprägung des Tauchreflexes beim Menschen variiert stark von rudimentär bis stark. Bei trainierten Apnoetauchern auf Wettkampfniveau wurden Bradykardien auf unter 10-20 Schläge pro Minute beschrieben. Bei starker Ausprägung kann der Tauchreflex zu Bewusstlosigkeiten und Herzrhythmusstörungen mit fatalem Ausgang führen. [1 Kap. 8, 60, 104] Diese als klassischer Badetod bezeichneten primär rhythmogenen Synkopen werden vor allem durch vagale Reflexe durch Wasserkontakt ausgelöst. Prädisponierend für einen Badetod können kardiale Erkrankungen sein. Eine besondere Rolle spielen hier genetische Dispositionen beispielsweise in Form von Ionenkanalerkrankungen.

Bei tödlichen Tauchunfällen in jungen Jahren ist dieser Aspekt speziell zu bedenken [55].

3.8.2.2 Ionenkanalerkrankungen

Neben substantiellen kardiovaskulären Erkrankungen können auch Herzrhythmusstörungen eine Rolle als gesundheitliche Schädigung oder Todesursache spielen. Zunehmend im Fokus kardiologischer Forschung stehen in den letzten Jahren Ionenkanalerkrankungen, die kardiale Arrhythmien auslösen können wie unter anderem das Brugada Syndrom, die Long QT-Syndrome und die katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT). Die Gruppe von Ionenkanalerkrankungen ist durch aktuelle Forschung ständig wachsend. Die Pathophysiologie wird durch eine Kombination von Molekulargenetik und Elektrophysiologie detailliert erforscht [14]. Es ist anzunehmen, dass sowohl für viele Fälle von „idiopathischem Kammerflimmern“ als auch bei vielen unklaren Fällen von plötzlichem Herztod bei Erwachsenen und plötzlichem Kindstod Ionenkanalerkrankungen ursächlich sind. Diese treten entweder als Neumutationen oder als erbliche Form auf. [72]

Die Long QT-Syndrome umfassen den Phänotyp einer großen Gruppe genetischer Veränderungen, die durch Mutationen der Kalium- oder Natriumleitfähigkeit zu einer elektrischen Repolarisationsstörung und einem verlängertem QT-Intervall führen. Es gibt Spontanmutationen, meistens liegt jedoch eine autosomal-dominante Vererbung vor. Mit einer Prävalenz von 1:5000 sollte das Long QT-Syndrom bei der Beurteilung unklarer tödlicher Tauchunfälle vor allem bei jüngeren Verunfallten Beachtung finden. Das Durchschnittsalter bei Erstmanifestation liegt bei 14 Jahren. Long QT-Syndrome führen zu ventrikulären Tachykardien und Kammerflimmern mit Synkopen, Krampfanfällen oder plötzlichem Herztod. [72] Von besonderem Interesse in Bezug auf tödliche Tauchunfälle ist das Long QT-Syndrom 1, welches vor allem bei starker körperlicher oder emotionaler Anspannung symptomatisch wird. Typisch ist der vermeintliche Ertrinkungstod beim Schwimmen, ausgelöst durch Kammerflimmern. [71, 72, 104] Eine Alkoholisierung oder die Einnahme bestimmter Medikamente können das QT-Intervall verlängern und das Auftreten einer Arrhythmie begünstigen.

Die katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT) zeigt ebenfalls meistens einen autosomal-dominanten Erbgang. Die Mutationen des kardialen Ryanodin-Rezeptors führen zu einer veränderten Kalziumkonzentration in den Kardiomyozyten. Die Erstmanifestation ist meistens bereits im Kindesalter mit Schwindel und Synkopen, die Ereignisrate bis zum 40. Lebensjahr liegt bei 30-40 %. Die ventrikulären, meist bidirektionalen Tachykardien sind typischerweise belastungsinduziert bei emotionalem Stress oder körperlicher Belastung. Auch polymorphe ventrikuläre Tachykardien und Kammerflimmern treten auf. In 30 % der Todesfälle liegt eine positive Familienanamnese auf Synkopen, Krampfanfälle oder plötzlichem Herztod vor. [72]

Eine weitere häufige, autosomal-dominant vererbte, Ionenkanalerkrankung ist das Brugada-Syndrom, bei dem ein gestörter Natriumeinstrom vorliegt und bei dem es zu typischen polymorphen ventrikulären Tachykardien und Kammerflimmern kommen kann [15]. Zur Erstmanifestation kommt es in der Regel zwischen dem 38. und 48. Lebensjahr in Form von Synkopen, Palpitationen sowie plötzlichem Herztod.

Betroffen sind vorwiegend Männer. Die Beschwerden beginnen aus der Ruhe heraus. Körperliche Belastung kann die typischen EKG-Veränderungen provozieren, jedoch ist keine vermehrte Provokation der ventrikulären Tachykardien durch Belastung bekannt. Trigger für Arrhythmien sind hingegen Fieber, Ess- und Alkoholexzesse. Aufgrund der Häufigkeit des Syndroms sollte es bei unklaren tödlichen Tauchunfällen bei entsprechender Familienanamnese Beachtung finden. Ein typisches Brugada-EKG zeigen 0,05-0,1 % der Bevölkerung. Zur Diagnosestellung bedarf es mindestens eines arrhythmiebedingten Ereignisses. Die Inzidenz von Vorhofflimmern ist beim Brugada-Syndrom erhöht. [15, 72]

Weitere erwähnenswerte Ionenkanalerkrankungen sind das seltene autosomal-dominant vererbliche Short QT-Syndrom mit stark erhöhtem Risiko für einen plötzlichen Herztod und das „early repolarisation syndrome“ mit erhöhtem Risiko für idiopathisches Kammerflimmern [72].

Tester et al. veröffentlichten 2011 eine Studie, im Rahmen derer als unklare Ertrinkungstodesfälle deklarierte Verunfallte post mortem genetisch auf das Vorliegen einer Ionenkanalerkrankung untersucht wurden. Untersucht wurde auf das Vorliegen eines Long QT-1 Syndroms und einer CPVT, da Schwimmen bei beiden Erkrankungen einen starken arrhythmogenen Trigger darstellt. 28,6 % der Ertrinkungsfälle, die beim Schwimmen auftraten, zeigten eine Genmutation für das Long QT-Syndrom 1 (KCNQ1) oder für die katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (RYR2). Hierbei waren 62,5 % der beim Schwimmen Verunfallten mit nachgewiesener Genmutation weiblichen Geschlechts. Zusätzlich zeigten weitere 25 % der Verunfallten unspezifische Ionenkanal-Polymorphismen, welche ebenfalls das Risiko für eine Arrhythmie beim Schwimmen erhöhen können. Bei keinem der Verunfallten war eine Ionenkanalerkrankung vorbekannt, jedoch war die Familienanamnese in 50 % der Fälle positiv in Bezug auf plötzlichen Herztod, Ertrinkungstodesfälle oder eine verlängerte QT-Zeit. [71]

Es liegt nahe, dass sich die Erkenntnisse der Studie von Tester et al. auf tödliche Tauchunfälle übertragen lassen. Gerade bei jüngeren tödlich verunfallten Tauchern sollte eine detaillierte Anamnese zu Synkopen, Krampfanfällen, und anderen kardialen Ereignissen in der Vorgeschichte sowie zu Synkopen, Todesfällen in jungen Jahren, Badeunfällen und ungeklärten Unfalltodes-/Verkehrsunfällen in der Familie erhoben werden. Ergeben sich diesbezüglich positive Befunde, sollte vor allem bei jüngeren Tauchern eine molekulargenetische Abklärung einer Ionenkanalerkrankung erfolgen. Die Aufklärung einer einem tödlichen Tauchunfall zugrundeliegenden Ionenkanalerkrankung hat höchsten Stellenwert für die Angehörigen, bei denen ein plötzlicher Herztod durch Arrhythmien gegebenenfalls verhindert werden kann. Durch die Studie von Tester et al. konnte bei mehreren Angehörigen der verstorbenen Mutationsträger ebenfalls eine Mutation nachgewiesen werden. [71] Eine frühe Diagnose kann wichtige primärprophylaktische Konsequenzen haben. Mutationsträger eines Long QT-Syndroms 1 sollten mit Betablockern behandelt werden. Zudem müssen QT-verlängernde Medikamente gemieden werden. Bei Nachweis einer CPVT wird ein Vermeiden von körperlicher Anstrengung und Wettkampfsport empfohlen, ebenso die Einnahme von Betablockern. Bei symptomatischen Mutationsträgern einer Ionenkanalerkrankung wird zudem in der Regel großzügig die Indikation zur ICD-Implantation gestellt. [72]

3.8.2.3 Herzrhythmusstörungen anderer Genese:

Abseits der Ionenkanalerkrankungen können auch Arrhythmien anderer Genese beim Tauchen über eine Bewusstlosigkeit oder eine Verhaltensänderung bei Unwohlsein zu einem fatalen Ausgang führen. Vorhofflimmern kann im Rahmen körperlicher Belastung ischämiegetriggert auftreten. Zudem kann Vorhofflimmern bei Dehnung der Vorhöfe durch immersionsbedingte Volumenumverteilungen getriggert werden [104]. Weiterhin kann eine Arrhythmie durch Präexzitationssyndrome auftreten. Es wurden Fallbeschreibungen einer Manifestation eines Immersionslungenödems bei Wolff-Parkinson-White-Syndrom publiziert. Eine weitere Studie zeigte eine signifikante Erhöhung von ventrikulären Extrasystolen bei Anstrengung im Wasser bei Triathleten. Ventrikuläre Extrasystolen sind häufig Auslöser von Tachykardien bei Präexzitationssyndromen. Hohmann et al. äußern in einem Review über das Immersionslungenödem die Vermutung, dass die Kombination von Herzerkrankungen, Stressreaktionen, Kälte und Immersion zu Arrhythmien mit fatalem Ausgang führen kann. [103]

3.8.3 Strukturelle Herzkrankheiten:

Auch die arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) und die hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) haben eine erbliche Komponente und führen durch Veränderungen der Strukturproteine zu Herzinsuffizienz und Rhythmusstörungen [72]. Ebenso kann eine floride oder stattgehabte Myokarditis zu Herzinsuffizienz und Rhythmusstörungen führen und eine Rolle in der Kausalkette eines tödlichen Tauchunfalls spielen.

Kardiale Vorerkrankungen spielen zudem eine Rolle als einer der multifaktoriellen Trigger eines Taucherlungenödems (s.u.)

3.8.4 Immersionslungenödem/Taucherlungenödem

Während des Tauchens oder Schwimmens kann es zu einem spontanen Auftreten eines Lungenödems kommen. Symptome des SDPE (scuba diving pulmonary edema, Taucherlungenödem) und anderer immersionsbedingter Lungenödeme haben eine Vielzahl an Symptomen von leichter Dyspnoe über eine kurze flache Atmung, Erschöpfung, Zyanose, Husten und schaumigem, in manchen Fällen blutig tingiertem Auswurf, Hypoxie und Tod [65, 89, 94, 103]. Oft sind auskultatorische und radiologische Zeichen eines Lungenödems (Röntgen, Computertomographie) nachweisbar. Die Symptome können in jeder Wassertiefe auftreten und bilden sich nach Beendigung der Immersion meistens rasch zurück. Es wurden jedoch auch fatale Ausgänge beschrieben. [94]

Welche Rolle das Taucherlungenödem bei tödlichen Tauchunfällen spielt, ist noch nicht hinreichend geklärt. Als interessantes und womöglich unterschätztes tauchphysiologisches Phänomen sollte es einem Untersucher von tödlichen Tauchunfällen bekannt sein. Vor allem für tauchmedizinische Laien kann die Differenzierung zu anderen tauchunfall-typischen Erkrankungen wie einer DCS oder pulmonalem Barotrauma ohne genauere Kenntnis über Immersionslungenödeme erschwert sein, zudem können Komorbiditäten auftreten. Für die Behandlung von

Überlebenden eines SDPE ist die akutmedizinische Differenzierung von einem pulmonalen Barotrauma und einer Dekompressionskrankheit von größter Bedeutung, da die sofortige Standardtherapie der Dekompressionskrankheit (Volumenzufuhr, Flachlagerung) sowie eine hyperbare Sauerstofftherapie nicht indiziert sind und sogar zu weiteren Schäden führen können. [89, 101]

Ein Auftreten von Immersionslungenödemem wurde bei Tauchern und Schwimmern festgestellt. In der Literatur werden drei Formen von immersionsbedingten Lungenödemem (IPE - immersion pulmonary edema) beschrieben: SIPE (swimming-induced pulmonary edema), SDPE (scuba diver pulmonary edema) und das Lungenödem beim Apnoetauchen [61]. Über die Nomenklatur wurde in der Literatur kontrovers diskutiert. Einerseits besteht die Ansicht, dass alle drei Krankheitsbilder aufgrund gleicher Pathophysiologie unter dem Überbegriff IPE einheitlich zusammengefasst werden sollten [75]. Andererseits wird von einigen Autoren aufgrund der erheblichen Unterschiede bezüglich Epidemiologie, der Tätigkeit im Wasser und den auf den Körper einwirkenden Stressfaktoren konsequent in Unterformen aufgeteilt. Zu letzteren gehört Carl Edmonds, der auch viele Studien zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle veröffentlicht hat. Er argumentiert, dass trotz Gemeinsamkeit einer Immersion die Stressoren für Oberflächenschwimmer beim SIPE andere sind als für Gerätetaucher unter hohen Umgebungsdrücken beim SDPE. Zu beachten ist zudem, dass von einem SIPE meistens junge Angehörige einer militärischen Eliteeinheit und Athleten ohne Vorerkrankungen und in ausgezeichnetem Fitnesszustand betroffen sind, wohingegen das SDPE zwar auch bei jungen gesunden Tauchern, häufiger jedoch bei älteren Tauchern mit eingeschränktem Fitnesszustand sowie Komorbiditäten wie arteriellem Hypertonus oder Herzkrankheiten auftritt. [68, 70, 89, 94] Gemäß Edmonds sollte das Lungenödem beim Apnoetauchen aufgrund seiner verschiedenen Pathophysiologie nicht in den Überbegriff IPE integriert werden. Beim Lungenödem infolge eines Abtauchens in Apnoe führt eine Komprimierung der Lunge auf ein Gasvolumen, das geringer als das Residualvolumen der Lunge ist, zu einem Unterdruck in der Lunge relativ zum hydrostatischen Druck, so dass Gewebeflüssigkeit und Blut in Alveolarraum und Bronchiolen übertreten kann. [61 Kap. 30]

Die Pathophysiologie des IPE ist noch nicht vollständig geklärt [68]. Seit Erstbeschreibung des IPE 1981 durch Wilmshurst et al. wurden zahlreiche Studien, Fallbeschreibungen und Reviews veröffentlicht. Gemeinsame Erkenntnis ist, dass ein IPE durch eine Kombination von Faktoren entsteht, die jeweils zu einer Erhöhung des hydrostatischen Druckgradienten zwischen den Lungenkapillaren und den Alveolen führen. Den Unterformen des IPE gemein ist definitionsgemäß der externe Faktor einer Immersion. Immersion führt durch erhöhten hydrostatischen Umgebungsdruck zu einer verminderten Compliance der peripheren Gefäße und somit durch einen Transfer größerer Blutvolumina in den Thorax zu einer Zunahme des thorakalen Blutvolumens (blood pooling) mit erhöhter kardialer Vorlast, erhöhtem Druck in den pulmonalen Gefäßen und erhöhter Permeabilität der Lungenkapillaren, was für ein Lungenödem prädisponiert. Auch Untersuchungen von subklinischen Fällen zeigten eine gestörte Kapillarpermeabilität mit pathologischer Sauerstoffsättigung und Lungenfunktion. [61 Kap. 30, 74]

Die frühen Studien der 1980er Jahre führten zu der Annahme, dass ein SDPE wie auch das SIPE eine seltene, kälte- und immersionsinduzierte Erkrankung von ansonsten gesunden Wassersportlern sei [94]. Wilmshurst et al. untersuchten

Kälteinduktion als Auslöser für ein hypertensives Lungenödem. Die erste Studie beschrieb 1981 initiale Beobachtungen von SDPE-Symptomen bei Tauchern. Es wurde eine kälteinduzierte überschießende Gefäßreaktion in Form einer Vasokonstriktion beschrieben, welche zu einer erhöhten Nachlast und somit zu kardialen Stress führt. Die immersionsbedingten Effekte des blood poolings und einer erhöhten Vorlast verstärken den kardialen Stress. Diese Kombination führt zur Ausprägung eines Lungenödems in Immersion. [24, 61 Kap. 30, 62] Eine weitere Studie von Wilmshurst et al. verglich 1989 Taucher, die ein SDPE erlitten, mit einer Kontrollgruppe. Die Betroffenen und die Mitglieder der Kontrollgruppe waren im Alter von 38 bis 60 Jahren, hatten keine kardialen Vorerkrankungen und wiesen gute Belastbarkeit vor. Bei den Studienteilnehmern, die ein SDPE entwickelt hatten, wurde eine überschießende Vasokonstriktion bei Immersion, Kälte und erhöhtem Sauerstoffpartialdruck sowie ein erhöhter peripherer Widerstand in den Gefäßen beobachtet. Einige der SDPE-Betroffenen entwickelten im follow-up von acht Jahren einen arteriellen Hypertonus. [61 Kap.30, 65] Viele nachfolgende Studien stützten die Hypothesen von Wilmshurst et al. [94]. In der Literatur wurden im Verlauf auch Fälle von SDPE im warmen Wasser beschrieben, so dass Kälte nicht als alleiniger Auslöser gesehen werden kann [95, 96]. Eine Studie von 1995 (Pons et al.) widerspricht denen von Wilmshurst et al., da kein Zusammenhang zwischen Vasokonstriktion und dem Auftreten eines Taucherlungenödems festgestellt werden konnte. Die Testpersonen hatten hierbei jedoch einen deutlich niedrigeren Altersdurchschnitt als die Studienteilnehmer von Wilmshurst et al. und waren überwiegend männlich. [61 Kap. 30, 63, 65] Wilmshurst et al. beschrieben in den initialen Studien neben Kälteinduktion und Immersion auch einen erhöhten Sauerstoffpartialdruck als IPE-Trigger. Ein erhöhter Sauerstoffpartialdruck führt zu einer Zunahme des systemischen Gefäßwiderstands durch einen direkten vasokonstriktiven Effekt und somit zur Verstärkung der zu einem SDPE führenden Prozesse. [25,90]

In den folgenden Dekaden wurden in der Literatur die Stellenwerte folgender Prädispositionen und Zusammenhänge kontrovers diskutiert: erhöhte kardiale Drücke, Vorlast-/Nachlastserhöhung, Atmung gegen einen negativen Druck, die Position der Lunge in Relation zum Lungenautomat, der Atemwiderstand des Lungenautomaten, kälteinduzierte Vasokonstriktion, starke körperliche Belastung, emotionaler Stress und kardiale Vorerkrankungen. Eine multifaktorielle Ursache ist hochwahrscheinlich, ebenso eine individuelle Disposition. [65, 89, 94] Viele Studien zeigten eine Häufung von SDPE-Fällen bei älteren, kardial vorerkrankten Tauchern mit Hypertonus, Kardiomyopathie oder diastolischer Dysfunktion und insbesondere bei Frauen, wohingegen das SIPE weiterhin gehäuft bei gesunden Personen in gutem Trainingszustand auftritt. Alle Formen des IPE zeigen jedoch die Tendenz zu Rezidiven bei ähnlichen Bedingungen nach initialem Auftreten. Die Rezidivrate wird mit bis zu 30% beschrieben. [94, 102]

3.8.4.1 Swimming induced pulmonary edema (SIPE)

Über das SIPE wurden seit den 1980er Jahren viele Publikationen veröffentlicht, unter anderem wurden Studien an Triathleten und jungen, gesunden Militärschwimmern durchgeführt [24, 61 Kap. 30, 68, 96]. Die untersuchten Fälle traten somit überwiegend bei gut trainierten gesunden Personen auf. Eine Studie ergab, dass 1,4 % der Triathleten in den USA mit einem SIPE symptomatisch

werden [69]. Bei Militärschwimmern liegt die Prävalenz mit 1,8 % sogar noch höher [73]. Inzidenz und Prävalenz werden jedoch vermutlich weiterhin unterschätzt [68]. Studien an israelischen militärischen Kampfschwimmern ergaben Zusammenhänge mit extremer Anstrengung [73, 96]. Adir et al. beschreiben als auslösende Faktoren bekannte Immersionseffekte wie thorakales blood pooling sowie Kälteexposition. In der Studie wird die zusätzliche Belastung durch hydrostatische Effekte auf den Pulmonalkreislauf bei extremer Anstrengung betont. Beschrieben werden die gegensätzlichen Ansprüche an die Blut-Luft-Schranke der Lungenkapillaren. [73] Diese dünnste Membran im menschlichen Körper muss einerseits den Gasaustausch durch passive Diffusion ermöglichen. Andererseits muss sie den massiven Druckanstiegen bei Maximalbelastung standhalten. Spitzendrücke bei extremer Anstrengung können Schäden an den Lungenkapillaren verursachen und zu vermehrter Permeabilität führen. Mehrere sportmedizinische Studien konnten eine vermehrte Permeabilität der Lungenkapillaren bei hohem Herzzeitvolumen und extremer Anstrengung auch an Land bei Leistungssportlern unterschiedlicher Sportarten und Rennpferden belegen [65, 74]. Weitere Studien ergaben, dass das zentrale Blutvolumen in Immersion bei einer Wassertemperatur von 33-35°C um 700 ml zunimmt und der pulmonalarterielle Druck von 13 auf 21 mmHg ansteigt. Hypothermiebedingte Vasokonstriktion verstärkt diesen Effekt zusätzlich. Von den Effekten sind vor allem tiefer gelegene und somit höheren hydrostatischen Drücken ausgesetzten Lungenabschnitte betroffen. [73] Bei Militärschwimmern tritt das SIPE häufig einseitig auf aufgrund spezieller halbaufrechter oder asymmetrischer Schwimmstile wie dem US-Navy side stroke, bei dem eine Lunge in Immersion tiefer liegt als die gegenseitige [73, 97]. Auch forcierte Hydrierung vor Anstrengung wird als auslösender Faktor angenommen [61 Kap. 30, 73, 94]. In einem Literatur-Review haben Spencer et al. 2018 die Erkenntnisse der bisherigen Studien zum SIPE zusammengefasst mit dem Ziel, den aktuellen Kenntnisstand zur Inzidenz, zu Risikofaktoren, zum Verlauf, zur Wahrscheinlichkeit eines Wiederauftretens und zu Präventionsmöglichkeiten darzustellen [68]. Neben den bereits erwähnten Fakten wurden Zusammenhänge zu langen Distanzen im Wasser (Triathlon), niedrigen initialen Lungenvolumina und Atemflusswerten und hohen pulmonalarteriellen Drücken und Wedge-Drücken gesehen. Untersuchungen an Triathleten zeigten eine Häufung beim weiblichen Geschlecht, vermutlich aufgrund des im Vergleich zu Männern niedrigeren Lungenvolumens. [68, 69] Viele SIPE-Patienten entwickeln im weiteren Leben einen Hypertonus oder waren bereits betroffen [69,73]. Das Review von Spencer et al. ergab, dass die Symptome eines SIPE in den meisten Fällen innerhalb von 24 Stunden rückläufig sind, sich jedoch eine Restriktion in der Lungenfunktion bis zu einer Woche zeigen kann. 55 % der Fälle von SIPE wurden hospitalisiert. 30 % der Betroffenen haben wiederkehrende Symptome bei gleichen Bedingungen. Die Letalität eines SIPE ist unbekannt, da Todesfälle meistens als Ertrinkungstod verkannt werden und es für ein SIPE keinen ICD-Code gibt. [68]

3.8.4.2 Taucherlungenödem (SDPE) und Stellenwert einer diastolischen Dysfunktion

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts kam es zu neuem Verständnis des SDPE. Edmonds beschreibt, dass die initiale Annahme, das SDPE sei eine seltene Erkrankung von gesunden Tauchern ähnlich wie beim SIPE, verworfen wurde. Vielmehr ist das SDPE eine häufige Erkrankung, die vor allem ältere Gerätetaucher mit multiplen Komorbiditäten betrifft. [70] Die genaue Pathogenese konnte weiterhin

nicht zufriedenstellend geklärt werden. Neben den bekannten IPE-auslösenden Faktoren rücken zunehmend kardiale Vorerkrankungen in den Fokus [94]. Eine multifaktorielle Kausalität ist hochwahrscheinlich [61 Kap.30, 65, 89, 101].

Das SDPE zeigt eine sehr variable Ausprägung. Eine individuelle Disposition scheint eine Rolle zu spielen [89]. Einige Gerätetaucher sind wiederholt betroffen, während ihre Tauchpartner bei gleichen extrinsischen Bedingungen kein SDPE entwickeln. Initial bestanden nur wenig Fallberichte, viele davon durch Wilmshurst et al. im Rahmen mehrerer Studien zum IPE/SDPE [25, 62, 65]. Mit wachsendem Bekanntheitsgrad des Krankheitsbildes wurde vermehrt publiziert, nun auch über schwerere und fatale Verläufe [98]. Der potentiell letale Ausgang eines SDPE fand mehr Beachtung, vor allem, weil tödliche Tauchunfälle durch SDPE häufig als Rezidiv nach milderer Episoden in der Vorgeschichte auftraten [61 Kap. 30, 94, 101]. Die Inzidenz bleibt dennoch unklar und variiert in den Publikationen stark. Aufgrund der variablen und zum Teil subklinischen Ausprägung wird sie höchstwahrscheinlich weiterhin unterschätzt. Todesfälle, die durch SDPE induziert wurden, werden mutmaßlich zumeist als Ertrinken diagnostiziert, daher besteht eine hohe Dunkelziffer. Klinisch und pathologisch bestehen Parallelen zu Salzwasseraspiration und Ertrinken mit und ohne Todesfolge. [61 Kap.30, 65, 89] Bei der Anamnese bei tödlichen Tauchunfällen sollte somit gezielt nach vorangegangenen Episoden mit Symptomen eines SDPE gefragt werden [61 Kap.30].

Die Symptome eines SDPE treten häufig beim Auftauchen nach Erreichen geringerer Tiefen auf, häufig auf den letzten 10 m. Als Vorzeichen kann ein Kältegefühl auftreten. [61, 90] Nach Verlassen der Immersion kommt es zum zügigen Abklingen der Symptome in Stunden bis Tagen. Eine klinische Abklärung sollte deshalb zügig erfolgen. Bei Betroffenen wurden Veränderungen in den bildgebenden Verfahren im Sinne eines bilateralen Lungenödems sowie eine Restriktion und verminderte Compliance in der Lungenfunktionsprüfung beschrieben. Es kann zur Hypoxie, EKG-Veränderungen, erhöhten Troponinwerten und NT-proBNP-Anstiegen kommen. Die genannten pathologischen Befunde normalisieren sich nach 24-48 h.

Die Fallbeispiele der vergangenen zwei Dekaden erbrachten Rückschlüsse auf mögliche Prädispositionen für ein SDPE. Die häufigste Prädisposition für ein SDPE ist demnach ein arterieller Hypertonus [65]. Zudem wurden Fälle von SDPE bei verminderter linksventrikulärer oder diastolischer Dysfunktion beschrieben, was den Stellenwert kardialer Vorerkrankungen als Prädisposition stärkte [94]. In einigen Fällen von SDPE bestanden Hyperlipidämie und Arteriosklerose in der Vorgeschichte. In vielen Fällen waren jedoch keine Vorerkrankungen bekannt. [61 Kap. 30] Einige Studien zeigten eine Korrelation mit weiblichem Geschlecht und fortschreitendem Alter (46-61 Jahre) [94]. Bei einigen Betroffenen von SDPE bestand auch ein gehäuftes Auftreten eines Höhen-Lungenödems (HAPE), das hinsichtlich der Pathophysiologie Parallelen aufweist [65, 103]. Die bekannten IPE-auslösenden Faktoren (Kälteinduktion, Immersionseffekte, hydrostatischer Druck, körperliche Anstrengung) wurden in den neueren Studien kontrovers diskutiert, ebenso der Einfluss von Aspiration, psychischem Stress, intrapulmonalem Druck, erhöhtem Sauerstoffpartialdruck und enger Tauchbekleidung [94]. Einige dieser Faktoren verdienen genauere Aufmerksamkeit.

Unklarheit besteht weiterhin, ob das SDPE kardiogener Genese, ein Permeabilitätsödem oder eine Mischform ist [65]. Wilmshurst et al. äußern in einem

Review von 2019 die Vermutung, dass es sich bei einem IPE und somit auch beim SDPE um eine Form eines kardiogenen bzw. hydrostatischen Lungenödems handelt, bei dem es durch erhöhten hydrostatischen Druck in den Lungenkapillaren zu einer erhöhten Flüssigkeitssezernierung in Form eines Transsudats in die Lunge kommt. Die Grenzen zum nicht-kardialen Lungenödem sind hierbei jedoch schmal. Hohe Drücke in den Lungenkapillaren können zu einer Schädigung der Kapillaren führen, die Kapillarpermeabilität steigern und zu blutig tingiertem Lungenödem und Hämoptysen führen. [65] Adir et al. sprechen von einem mechanischen bzw. Stressversagen der Blut-Luft-Schranke und somit für ein nicht kardiogenes Lungenödem, wofür auch das häufige Symptom einer Hämoptysis spricht [73]. Höchstwahrscheinlich handelt es sich um ein Mischbild. Wilmshurst et al. beschreiben, dass erste Zeichen eines Lungenödems schon bei einer Steigerung des Drucks in den Lungenkapillaren vom Normalwert in Ruhe (< 12 mmHg) auf 15-20 mmHg auftreten. Zu einem ausgeprägten Lungenödem kommt es jedoch bei raschen akuten Anstiegen des pulmonalarteriellen Drucks, vor allem bei starken Anstiegen des linksatrialen Drucks, akuter extrathorakaler Atemwegsobstruktion und bei hohen negativen Atemwegsdrücken.

Ein erhöhter hydrostatischer Druck spielt vor allem in Kombination mit einem intrapulmonalen negativen Druck eine Rolle in der Ausbildung eines SDPE wie auch bei anderen Formen des IPE. In Immersion wirkt bei vertikaler Körperposition ein unterschiedlicher hydrostatischer Druck auf höher und tiefer im Wasser gelegene Lungenabschnitte. In den tiefer gelegenen Lungenabschnitten ist dadurch für die Inspiration ein erhöhter intrapulmonaler negativer Druck nötig. Ein erhöhter negativer Druck wird als Ursache für ein SDPE diskutiert. Negativer intrapulmonaler Druck zieht verstärkt Flüssigkeit aus dem Plasma der Lungenkapillaren in die Alveolen. Schwimmer und Schnorcheltaucher sind einem negativen intrapulmonalen Druck ausgesetzt, da ihre Lungen unterhalb der Wasseroberfläche sind. Bei Gerätetauchern besteht in der Lunge beim Abtauchen mit dem Kopf zuerst ein positiver intrapulmonaler Druck. In Tauchlage, insbesondere aber beim Auftauchen mit dem Kopf voran, kommt es zu einem negativen intrapulmonalen Druck, was eine physikalische Ursache für das gehäufte Auftreten von SDPE beim Auftauchen sein kann. [65, 73, 90] Neben der Immersion kann es zu einer Verstärkung des negativen intrapulmonalen Drucks durch einen erhöhten Einatemwiderstand (z. B. bedingt durch den Lungenautomaten und eine zunehmende Gasdichte beim Abtauchen) sowie durch Hyperventilation bei Anstrengung und Angst und durch eine zu enge Ausrüstung (Anzug, Jacket) mit konsekutiver Erhöhung der Atemarbeit kommen. [61 Kap. 30, 65] Negativer intrapulmonaler Druck kann auch bei CC-Rebreathertauchgängen entstehen, wenn die sogenannte Gegenlunge - ein das Atemgas aufnehmender Beutel, der sich beim Ausatmen ausdehnt und beim Einatmen zusammenzieht - höher als die Lunge des Tauchers positioniert ist [65].

Ein weiterer Grund, warum das SDPE häufig beim Auftauchen auftritt, besteht im mit dem Umgebungsdruck abnehmenden Sauerstoffpartialdruck gemäß dem Henry-Gesetz. Hierdurch kommt es auch zur Abnahme der Sauerstoffsättigung. Diskutiert wird zudem der Effekt von Inertgasblasen während der Dekompression, welche einen pulmonalen Hypertonus begünstigen, die Kapillaren schädigen und die Wahrscheinlichkeit für ein Lungenödem erhöhen [94].

Dass starke Anstrengung ein IPE begünstigen kann, wurde schon in den zahlreichen Studien zum SIPE beschrieben [65, 74, 103]. Boussuges et al. veröffentlichten 2017

eine Studie, die den Stellenwert der körperlichen Anstrengung in der Pathogenese eines SDPE bei gesunden Tauchern betonte [74]. Es wurde eine große Gruppe Taucher ohne Vorerkrankungen mit einem Durchschnittsalter von 31+/- 7 Jahren jeweils vor und nach den Tauchgängen sonographisch auf Kometenschweife (ULC - ultrasound lung comets, in der deutschen Literatur eher B-Linien genannt) untersucht. Diese sonographischen Zeichen weisen unspezifisch auf eine erhöhte Flüssigkeitsmenge in der Lunge hin, wie z. B. bei einem Lungenödem [76]. ULC-Detektion zum Nachweis von klinischen und subklinischen Lungenödem nach Tauchgängen wurde zuvor schon in einer Studie von Frassi et al. angewendet [88]. Ein Auftreten von SDPE-Symptomen bei der von Boussuges et al. untersuchten Kohorte war selten (1%), allerdings wurde bei manchen asymptomatischen Tauchern eine Vermehrung von ULC und somit der Nachweis einer Zunahme von Lungenwasser nachgewiesen. Bei gesunden Tauchern ist das Auftreten von ULC nach einem kontrollierten Tauchgang ohne besondere Anstrengung selten. Die Studie zeigte, dass ein vermehrtes Auftreten von ULC vor allem dann resultierte, wenn es zu einer hohen Anstrengungsintensität während des Tauchgangs kam, weswegen die Empfehlung ausgesprochen wurde, zur Prävention eines SDPE die Intensität der Tauchgänge an den Fitnesszustand der Taucher anzupassen. [74] Durchaus auch psychischer Stress (Nervosität, Angst, Panik) kann die beschriebenen Effekte durch vielfache Auswirkungen auf das kardiopulmonale System verstärken, vor allem durch überschießende sympathische Aktivierung. [61 Kap. 30, 66, 103]

Weiterhin können die geschilderten Effekte durch forcierte Hydratation vor der Anstrengung verstärkt werden. Bei einigen Betroffenen mit SDPE traten die Symptome nach vermehrter Flüssigkeitszufuhr vor dem Tauchgang auf [65, 91]. Diese Beobachtung ist deshalb von Interesse, weil Tauchern allgemein zur Prophylaxe einer Dekompressionskrankheit eine deutliche Hydrierung vor einem Tauchgang empfohlen wird, damit der durchschnittliche Flüssigkeitsverlust von etwa einem Liter/Stunde ausgeglichen wird.

Einige Studien belegten ein vermehrtes Auftreten von SDPE beim weiblichen Geschlecht [90, 91, 94]. Eine Studie von Coulange et al. zeigt beispielsweise in einer Untersuchung einer größeren Gruppe gesunder Gerätetaucher ein gehäuftes Auftreten bei Frauen und bei einem mittleren Alter von 49 Jahren. Vermutet wird ein Zusammenhang mit kleineren Lungenvolumina und einer höheren Prävalenz von arteriellem Hypertonus und kardialen Erkrankungen bei Frauen nach der Menopause durch den Wegfall protektiver Sexualhormone. [89, 90] Auch bei Männern besteht das größte Risiko im mittleren Alter [101].

Insgesamt betonen die neueren Studien die Bedeutung kardialer Vorerkrankungen für die Entwicklung eines SDPE. Dabei spielen sowohl chronische Erkrankungen als auch reversible Myokarddysfunktionen eine Rolle [94]. Einen hohen Stellenwert in der Erforschung des SDPE haben mehrere Studien der Duke University zum Auftreten von IPE bei Immersion, erhöhtem Umgebungsdruck und erhöhtem Sauerstoffpartialdruck. Moon, Peacher et al. beschrieben, dass kardiopulmonale Erkrankungen ein häufiger Risikofaktor für ältere Taucher (Durchschnittsalter von 47,8 +/-3 Jahre) sind, wohingegen bei den Militärschwimmern/Schwimmern (Durchschnittsalter 23,3 Jahre) eine pulmonale Hypertension der relevantere Risikofaktor ist [99]. In der Literatur ist dieser Fakt einer der wenigen Hinweise, dass ein IPE in Form zweier völlig verschiedener Kohorten auftritt. Moon, Peacher et al.

kamen zu dem Schluss, dass in vielen SDPE-Fällen Komorbiditäten bestanden und dass kardiopulmonale Erkrankungen vor allem bei Älteren unterschätzt werden und dass bei einem Auftreten von einem IPE eine sofortige und gründliche kardiologische Abklärung erfolgen sollte [91, 99]. Edmonds berichtet über Zusammenhänge von SDPE und vorbestehenden, jedoch nicht vorbekannten kardialen Erkrankungen [89]. Bezüglich des gehäuften Auftretens von arteriellem Hypertonus, verminderter linksventrikulärer Funktion, linksventrikulärer Hypertrophie sowie kardiovaskulären Erkrankungen bei Betroffenen von SDPE bestehen Vermutungen, dass bei kardialen Vorerkrankungen eine verminderte Toleranz für die unterschiedlichen physiologischen Belastungen beim Tauchen besteht. Arterieller Hypertonus führt zu einer diastolischen Dysfunktion, durch die es zu erhöhtem Druck in den Atrien und Lungenkapillaren und zu vermehrter Permeabilität in die Alveolen kommt [68, 74]. Gleiches gilt für alle kardialen Erkrankungen, durch die es zu erhöhter Druck- oder Volumenbelastung des linken Atriums oder zur diastolischen Dysfunktion kommt, allen voran Herzrhythmusstörungen und Herzinsuffizienz. Eine gestörte diastolische Dysfunktion wird auch von Peaches, Moon et al. als ein wichtiger prädisponierender Faktor genannt [91]. Studien bewiesen, dass ein Anstieg von natriuretischen Peptiden (z. B. NT-proBNP), welche bei akuter und chronischer Volumenbelastung des Herzens ausgeschüttet werden, die endotheliale Permeabilität steigert [74,90].

Die diastolische Dysfunktion ist in der Kardiologie auch abseits der tauchmedizinischen Aspekte ein unterschätztes Krankheitsbild. Eine diastolische Dysfunktion ist häufig Folge eines arteriellen Hypertonus [69], tritt jedoch auch im Rahmen von anderen kardialen Erkrankungen auf. In Bezug auf die Tauchmedizin und die Entwicklung eines SDPE verdient sie besondere Erwähnung. Bei Herzgesunden führt eine Volumenzunahme im linken Ventrikel, beispielsweise durch blood pooling in Immersion, nicht zu erhöhten enddiastolischen Drücken. Bei einer diastolischen Funktionsstörung kommt es durch eine Relaxationsstörung zur Versteifung des linken Ventrikels mit erhöhten enddiastolischen Drücken (LVEDP) und inadäquater Füllung des linken Ventrikels, einem erhöhten pulmonalarteriellen Wedge-Druck (PAWP) und einem erhöhten pulmonalarteriellen Druck. Der Druck in den Lungenkapillaren liegt zwischen dem MPAP und PAWP. Bereits eine Erhöhung eines der beiden Werte führt zu erhöhtem Druck in den Lungenkapillaren. Unter Anstrengung verstärken sich die genannten pathologischen Phänomene aufgrund der Steifheit des linken Ventrikels. [91]. Eine diastolische Dysfunktion kann langfristig zur HFpEF führen, einer Herzinsuffizienz mit erhaltener linksventrikulärer Funktion (heart failure with preserved ejection fraction). Die Prävalenz der HFpEF steigt mit dem Alter an. Es ist die häufigste Herzinsuffizienz des älteren Menschen. 30% der HFpEF-Patienten entwickeln eine postkapilläre pulmonale Hypertonie. [93] Eine HFpEF besteht bei klinischen Kriterien wie Ödemen, Dyspnoe und trockenem Husten, erhöhtem NT-proBNP, erhaltener linksventrikulärer Funktion (LVEF) und einer diastolischen Dysfunktion. Bei einer HFpEF können bereits kleine Veränderungen von Afterload, Preload oder Kontraktilität zu drastischen Veränderungen von Blutdruck oder Volumenstatus bis hin zum Lungenödem führen [92]. Die genannten Symptome zeigen, dass bei einer diastolischen Dysfunktion/ HFpEF bereits an Land ähnliche Symptome wie beim SDPE bestehen können. Eine Immersion führt durch blood pooling und erhöhter Vorlast zu einer Verstärkung der Effekte einer diastolischen Dysfunktion [69]. Anstrengung oder emotionaler Stress beim Tauchen können weitere verstärkende Effekte sein. Bei an Land asymptomatischen Tauchern kann der in Immersion verstärkte LVEDP zu erhöhtem Druck in den Lungenkapillaren mit Schäden an den Lungenkapillaren und somit zum

Auftreten eines Lungenödems/SDPE führen [69]. Das SDPE ist somit in vielen Fällen wahrscheinlich als die klinische (Erst)Manifestation einer diastolischen Dysfunktion unter extremen Bedingungen zu sehen. Aufgrund der hohen Prävalenz der diastolischen Funktionsstörung ist zu vermuten, dass bei vielen der älteren anamnestisch kardial nicht vorerkrankten Betroffenen eines SDPE eine okkulte diastolische Dysfunktion vorlag. Miller et al. sehen die diastolische Dysfunktion als wichtigen Faktor in der Pathogenese eines IPE, wenngleich für die Ausbildung eines Lungenödems zusätzliche Faktoren für die klinische Manifestation erforderlich sind [69]. Auch Wilmshurst beschreibt die diastolische Dysfunktion als möglichen Auslöser eines SDPE [66]. Der Stellenwert einer diastolischen Dysfunktion für die Ausbildung eines SDPE sollte Inhalt zukünftiger Forschungen sein. In Bezug auf die Tauchtauglichkeit stellt eine diastolische Dysfunktion nach aktuellen Empfehlungen eine relative Kontraindikation für das Tauchen dar. Bei begleitender linksventrikulärer Hypertrophie besteht sogar eine absolute Kontraindikation. [43] Eine linksventrikuläre Hypertrophie tritt häufig im Rahmen einer hypertensiven Herzkrankheit auf, jedoch auch bei hypertropher Kardiomyopathie.

Einen interessanten Forschungsansatz in Bezug auf kardiale Erkrankungen und SDPE zeigen einige Studien, die einen Zusammenhang von SDPE und reversiblen myokardialen Dysfunktionen (reversible myocardial dysfunction, RMD) untersuchten. RMD sind stressbedingte, vorübergehende, akute Funktionsstörungen des Myokards. Eine Variante der RMD ist die stressinduzierte Kardiomyopathie, auch genannt Takotsubo-Kardiomyopathie. [64, 67, 94, 101] Sie ist klinisch durch eine akute, reversible kontraktile Dysfunktion der apikalen und mittleren Abschnitte des linken Ventrikels gekennzeichnet. Es zeigt sich eine apikale ballonartige Auftreibung des linken Ventrikels. [100] Pathophysiologisch wird als Ursache die sympathomimetische Stimulation durch starke psychische oder physische Trigger und ein daraus resultierender Katecholaminexzess vermutet. [64, 94, 100, 101]. Die Komplikationsrate liegt trotz der Reversibilität bei 19-46 % aufgrund des potentiellen Auftretens eines Lungenödems, eines kardiogenen Schocks, Reizleitungsstörungen, Tachykardien, ventrikulärer Thrombusbildung oder Ventrikelruptur [100]. Die Takotsubo-Kardiomyopathie tritt gehäuft bei Frauen im mittleren Alter auf, was die Prävalenz des SDPE in dieser Gruppe erklären könnte. In einigen Fällen von SDPE konnten eine RMD oder sogar Takotsubo-Kardiomyopathie festgestellt werden, meistens nach körperlich oder mental anstrengenden Tauchgängen und häufig während des Auftauchens. [61 Kap.30, 94] Wilmshurst et al. stehen diesem Zusammenhang kritisch gegenüber und vermuten, dass eine Takotsubo-Kardiomyopathie bei den Betroffenen sekundär durch den SDPE-bedingten Stress entstanden ist [65]. In einer Studie von Gempp et al. wurden Taucher mit SDPE-Symptomen und SDPE-Nachweis mittels Computertomographie auch unter kardiologischen Aspekten untersucht (EKG, Echokardiographie, Troponin T, BNP). Die Studie schloss im Gegensatz zu vielen anderen Studien zum IPE auch Taucher mit kardialen Risikofaktoren und Vorerkrankungen ein. Das Durchschnittsalter lag bei 46 +/-13 Jahren. Bei 28 % der Fälle konnte eine RMD mit erhöhten Troponin T-Werten, erhöhtem BNP sowie Veränderungen im EKG und Wandbewegungsstörungen nachgewiesen werden. Aufgrund der raschen Rückbildung der RMD nach Ende der Belastungssituation müssen die Untersuchungen zum Nachweis zügig eingeleitet werden. Die betroffenen Patienten waren bereits nach 24 h beschwerdefrei, in wenigen Fällen mit schwerem intensivmedizinischem Verlauf nach 72 h. Die pathologischen Befunde normalisierten sich ebenfalls in diesem Zeitraum. Gempp et al. vermuten, dass die RMD bei einem

SDPE durch sympathomimetische Stimulation und Hypoxie im Rahmen der gestörten Blut-Luft-Schranke entsteht, wenngleich der genaue Mechanismus unklar blieb. Die erhöhten BNP-Werte sind gemäß Gempp et al. als Zeichen der Volumenbelastung des funktionsbeeinträchtigten linken Ventrikels in Kombination mit erhöhten rechtsventrikulären Füllungsdrücken bei erhöhtem pulmonalarteriellen Druck durch die Pathophysiologie des IPE zu sehen. Eine kardiovaskuläre Ursache konnte in den meisten Fällen mittels Angiographie ausgeschlossen werden. Das Auftreten einer RMD korrelierte mit einem Alter > 50 Jahre, einem Hypertonus und Diabetes mellitus. Als Limitierung der Studie ist zu nennen, dass bei 40 % der Betroffenen kein differentialdiagnostischer Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit durchgeführt wurde. Da im follow-up unauffällige Ergometrie-Untersuchungen durchgeführt wurden, wurde die Wahrscheinlichkeit einer koronaren Herzkrankheit in diesen Fällen jedoch als gering eingestuft. [64]

Die bisherige Diagnostik eines SDPE (Auskultation, Bildgebung, Lungenfunktion, Blutgasanalyse) sollte auf Basis dieser Erkenntnisse um zeitnahe kardiologische Untersuchungen (EKG, Echokardiographie, Herzenzyme, BNP) ergänzt werden. Pathologische Ergebnisse sollten wiederholt werden, um die Reversibilität zu bestätigen. Gegebenenfalls muss eine Ischämiediagnostik zur Differentialdiagnostik eingeleitet werden. [94] In jedem Fall sollte bei nicht fatalem Ausgang eines SDPE eine gründliche kardiologische Abklärung erfolgen, bevor erneute Tauchgänge durchgeführt werden können [64, 89]. Gempp et al. empfehlen, dass ältere Taucher nach einem SDPE sorgfältig auf einen arteriellen Hypertonus untersucht werden sollten und dass bei Vorliegen eines arteriellen Hypertonus auf das Tauchen verzichtet werden sollte [64]. Durch genaue kardiologische Abklärung können gegebenenfalls bisher nicht diagnostizierte kardiale Erkrankungen detektiert und ein erneutes Auftreten verhindert werden, entweder durch Therapie der Grunderkrankung oder durch Aufhebung der Tauchtauglichkeit. Die tauchmedizinischen Empfehlungen zeigten in den letzten Jahren immer mehr eine Tendenz, nach Auftreten von SDPE keine Tauchuntauglichkeit mehr zu bescheinigen [94]. Bei Fortführung des Tauchsports sollte auf einen potenziell fatalen Ausgang hingewiesen werden [61 Kap.30]. Eine gründliche kardiologische Abklärung wird nach neuesten Erkenntnissen auch für das SIPE empfohlen, da in den Fallstudien der letzten Dekade ebenfalls der Stellenwert unerkannter kardialer Erkrankungen, vor allem eines arteriellen Hypertonus und einer diastolischen Dysfunktion, diskutiert wurde [102].

Eindeutige Empfehlungen zu Therapieansätzen bestehen derzeit noch nicht. Die Akutversorgung besteht in Beendigung der Immersion und einer Gabe von 100 % Sauerstoff. Eine aufrechte Körperposition wird empfohlen. In schweren Fällen wird eine nicht invasive Beatmung (NIV) mit einem positiven endexpiratorischen Druck angewendet. [61, 90, 94] Auch Diuretika finden Verwendung [61].

Bezüglich prophylaktischer Medikation wird Sildenafil als Therapieansatz diskutiert [91,102]. Insgesamt scheint für die Entwicklung eines SIPE/SDPE der Druck in den Lungenkapillaren von zentraler Bedeutung zu sein [91,103]. Hierfür spricht eine großangelegte Studie der Duke University (Moon et al.), bei der bei Testpersonen, mit einer erhöhten Anfälligkeit für ein SIPE/SDPE (in dieser Studie kombiniert), ein erhöhter pulmonalarterieller Mitteldruck (MPAP) und ein erhöhter pulmonalarterieller Wedge-Druck (PAWP) bei Anstrengung in kaltem Wasser gemessen wurden. Erhöhte Werte entstehen gemäß Moon et al. durch verstärktes blood pooling bei

Zentralisation durch Immersion und Kälte, erhöhten Gefäßwiderstand, erhöhtes Blutvolumen, beispielsweise durch forcierte Hydrierung vor Anstrengung, einen erhöhten Gefäßtonus durch sympathische Aktivierung oder arteriellen Hypertonus und eine diastolische Funktionsstörung. Im erhöhtem MPAP und PAWP sehen die Forscher der Duke University die Erklärung für die individuelle Anfälligkeit für ein SIPE/SDPE. Bei den Betroffenen sistierten die Symptome des SIPE/SDPE nach Gabe von Sildenafil. Moon et al vermuten, dass der Effekt auf den MPAP unter Sildenafil zeigt, dass der initiale Anstieg auf eine aktive Vasokonstriktion zurückzuführen ist, wahrscheinlich ausgelöst durch exzessiven Sympathikotonus und Kälte. Sildenafil führt zur Vasodilatation sowohl in den Pulmonalgefäßen als auch in peripheren Venen. [91] Die Studie der Duke University stützt in vielen Gesichtspunkten die früheren Erkenntnisse von Wilmshurst et al. [65, 68, 91]. Viele weitere Studien der nächsten Dekaden wiesen einen Zusammenhang mit Kälteinduktion auf. In einem Review von Hohmann et al. von 2018 wurde der Trigger durch Kaltwasser mit einem kälteinduzierten Anstieg des zentralvenösen Drucks, dem MPAP, dem PWAP und dem Gefäßwiderstand erklärt. Das Review ergab, dass in den bisherigen Studien zur Kälteinduktion beim SIPE Wassertemperaturen von < 23° als Kaltwasser definiert wurden. [103] Wilmshurst empfiehlt Tauchern, die trotz Empfehlung, das Tauchen aufzugeben, weitertauchen, vor den Tauchgängen prophylaktisch Nifedipin einzunehmen, da dieses die periphere Vasokonstriktion reduziert. [65]

Es bestehen Hinweise, dass die Anfälligkeit für ein SDPE mit fortschreitendem Alter ansteigt. Beschrieben werden viele Fälle sehr erfahrener Taucher, die hunderte bis tausende von komplikationslosen Tauchgängen absolviert haben und dann plötzlich ein SDPE entwickelten, oft bei relativ leichten Tauchgängen und bei Rebreathertauchgängen. Häufig kommt es nach der Erstmanifestation zu einem wiederholten Auftreten. Wilmshurst beschreibt eine Häufung von Todesfällen durch IPE/SDPE bei sehr erfahrenen Tauchern im fortgeschrittenen Alter. Er vermutet, dass SDPE verbreitet ist und dass es sich um eine ernste und häufige Erkrankung und gelegentliche Todesursache handelt. Zum Tod komme es dabei vor allem durch schwere Hypoxie mit resultierender Bewusstlosigkeit und nachfolgendem Ertrinken. [65, 101] Edmonds berichtet über eine Häufung von Taucherinnen in einem Alter > 50 Jahren in den Fallbeschreibungen fataler Ausgänge eines SDPE [94, 98]. Es wurden auch Fälle mit direktem plötzlichem Herztod bei SDPE beschrieben [101].

Das SDPE spielt bei tödlichen Tauchunfällen nach dem in dieser Dissertation verwendeten Schema ohne Zweifel eine große Rolle. Bei den gesundheitlichen Schädigungen, die zum Tod beim Tauchen, im weiteren Sinne Tod im Wasser, führen, muss diese Pathophysiologie unbedingt differentialdiagnostische Beachtung finden.

Zur Diagnosestellung eines SDPE bei einem tödlichen Tauchunfall bedarf es in der Regel der Aussage von Augenzeugen, in der Regel der Tauchpartner. Hinweise auf ein SDPE können die Beobachtung einer schnellen flachen Atmung oder der Wechsel auf eine alternative Gasversorgung sein, obwohl die Hauptversorgung gut funktioniert. Husten, Zyanose oder schaumiges Sputum können Anzeichen für ein SDPE sein, ebenso das Auftreten der Symptomatik beim Aufstieg oder eine Anamnese von rezidivierendem Auftreten von SDPE-Symptomen in der Vergangenheit. [65, 89] Cochard et al. sehen in einem SDPE zudem eine

Ausschlussdiagnose bei typischer Symptomatik und nach Abklärung anderweitiger Todesursachen [101].

Ein Fallbeispiel, bei dem auf Basis der Anamnese differentialdiagnostisch an ein SDPE gedacht werden sollte, ist der in dieser Dissertation veröffentlichte Fall 12.

3.9 Besonderheiten beim Apnoetauchen

Beim Streckentauchen in Apnoe ist der sogenannte Schwimmbadblackout eine reale aber weitgehend unterschätzte Gefahr. Er tritt durch zerebrale Hypoxie bei Fehlverhalten dann auf, wenn der physiologische Abbruchpunkt zur Wiederaufnahme der Atmung willentlich unterdrückt wird und dadurch eine verlängerte Atemanhaltezeit erreicht wird, was bei Ungeübten schon im Rahmen üblicher 50 m Tauchstrecken möglich ist, in der Regel aber bei darüber hinaus gehendem Streckentauchen auftritt. Im Normalfall ist der Abbruchpunkt ein beinahe imperativer CO₂-getriggelter Atemreiz, bevor die kritische Sauerstoffschwelle vor Eintreten einer Hypoxie unterschritten wird. Wenn vor Tauchgangbeginn bewusst hyperventiliert wird, sinkt der pCO₂ signifikant ab. Dann kann die kritische Sauerstoffschwelle bereits vor dem Abbruchpunkt erreicht werden. Es kommt zur unbemerkten Hypoxie und schlagartiger Bewusstlosigkeit ohne jede Vorwarnung. [6, 1 Kap. 8]

Beim tieferen Freitauchen ist die sogenannte Flachwasserohnmacht das prominente Risiko. Sie manifestiert als „Hypoxie des Aufstiegs“ beim Auftauchen knapp vor oder mit Erreichen der Wasseroberfläche mit Verlust der motorischen Kontrolle und nachfolgendem Bewusstseinsverlust [119]. Diese Flachwasserohnmacht ist Folge des Sauerstoffverbrauchs während des Apnoetauchgangs. Der pO₂ ist in der Tiefe proportional zum Gesamtdruck zunächst erhöht. Beim Aufstieg fallen alveolärer und arterieller pO₂ durch die Dekompression der Lunge zunehmend in den Hypoxiebereich ab. Das Blackout-Risiko steigt hier durch vorherige Hyperventilation mit daraus resultierender verlängerter Atemanhaltezeit beim Tauchen [1 Kap. 8].

Apnoetauchgänge können trotz geringer Aufenthaltszeit in größerer Wassertiefe mit stickstoff-assoziierten Einschränkungen höherer zerebraler Funktionen („Tiefenrausch“) verbunden sein. Tiefen- und frequenzabhängig kann es auch beim Apnoetauchen durchaus zum Auftreten von Dekompressionsunfällen kommen, wenn Tauchgänge in kurzen Abständen wiederholt werden. [1 Kap. 8] Ein diesbezüglich hohes Risiko besteht insbesondere bei sehr tiefen (Rekordversuch-) Freitauchgängen.

Bei Apnoetauchern können darüber hinaus verschiedene Formen von Lungenschädigungen auftreten. Apnoetaucher verwenden oft spezielle Techniken wie die willentliche Überblähung der Lunge zur Steigerung der Vitalkapazität, genannt „lung packing“ oder „glossopharyngeale Insufflation“ [125]. Dadurch entstehende Schädigungen durch Überdehnungen der Alveolen werden diskutiert. [120] Die glossopharyngeale Insufflation kann über die Behinderung des venösen Rückstroms durch den entstandenen intrathorakalen Überdruck auch zur Synkope vor dem Abtauchen führen [121].

Ein häufiges gesundheitliches Problem ist das Unterdruckbarotrauma der Lunge beim Apnoetauchen. Das Residualvolumen ist bei den meisten Menschen auf 40 m

(5 bar) maximal komprimiert, was eine natürliche Tiefenlimitierung vermuten lässt. Tiefere Apnoetauchgänge würden ohne kompensatorische Maßnahmen zum Lungenödem des Apnoetauchers führen. Neben der glossopharyngealen Insufflation bestehen diese vornehmlich in einer deutlichen Blutumverteilung („blood shift“) in den Thorax durch einen relativen Unterdruck, was in einer kompensatorischen Überfüllung der pulmonalen Gefäße resultiert - eine Technik, die, entsprechend intensiv trainiert und angewendet, zur Reduktion des Residualvolumens führt. Extremapnoetaucher reduzieren ihr Residualvolumen weiter durch ein spezielles Atem- und Zwerchfelltraining („forced expiration“). Ein manifestes Unterdruckbarotrauma beim tieferen Apnoetauchen führt zum interalveolären Lungenödem mit Dyspnoe, Husten und Hämoptysen [1 Kap. 8, 104].

3.10 Vereisung von Atemreglern

Eine Vereisung ist ein gefürchtetes technisches Problem mit häufig fatalen Folgen. Bei Atmung über den Lungenautomaten oder bei Inflatordienung sinkt in der Tauchflasche der Druck, wobei es dort durch den adiabatischen Effekt und weiter in der ersten Stufe durch die Gasexpansion an dem Hochdrucksitz (Entspannung an einer Drosselstelle → Joule-Thompson-Effekt) eine Abkühlung erfährt [47, 114]. Neben der Abkühlung ist das Vorhandensein von Feuchtigkeit für die Entstehung einer Vereisung notwendig. Am Atemregler können verschiedene Arten von Vereisung auftreten. An der ersten Stufe werden eine äußere und eine innere Vereisung unterschieden. Bei der äußeren Vereisung der ersten Stufe (Druckminderer, der den Flaschendruck von beispielsweise 200 bar auf einen Mitteldruck reduziert) gefrieren Teile, die der Umgebung ausgesetzt sind. Die Feuchtigkeit stammt aus der Umgebung. Als Folge gibt der Druckminderer kein Atemgas mehr ab. Die Atemgaszufuhr sistiert. Aufgrund von baulichen Gegenmaßnahmen an modernen Atemreglern spielt eine äußere Vereisung heutzutage in der Regel keine Rolle mehr. Bei der inneren Vereisung sind bewegliche Teile im bestimmungsgemäß trockenen Hochdruck- und Mitteldruckbereich des Atemreglers betroffen. Die Feuchtigkeit stammt aus dem Flascheninneren, dem Flaschenventil oder der ersten Stufe. Für eine innere Vereisung genügt ein Eiskristall, der dafür sorgt, dass der Hochdrucksitz nicht ordnungsgemäß schließt, der Mitteldruck ansteigt und der Druckminderer sowie bei sogenannter Downstream-Bauweise die zweite Stufe unkontrolliert abblasen. [47] Eine Einatmung ist bei einem Abblasen zwar weiterhin möglich, der Taucher wird jedoch durch das plötzliche Austreten großer Atemgasmengen stark irritiert [117]. Ohne terminierende Maßnahmen kann sich eine gefüllte Tauchflasche so in ein bis zwei Minuten leeren. Eine innere Vereisung spielt bei schlecht gewarteten Atemreglern und/oder zu feuchter Luft sowie Anwendungsfehlern (nicht kaltwassertaugliches Material bei Kaltwassertauchgängen, fehlerhaftes Spülen) weiterhin eine große Rolle. [47]

Der Lungenautomat als zweite Stufe des Atemreglers (Minderung des Mitteldrucks auf den der Tauchtiefe entsprechenden Umgebungsdruck) ist durch das ständige Aufeinandertreffen von kalter Luft und Feuchtigkeit (Wasser, Atem) ebenfalls anfällig für eine Vereisung. Bei Einfrieren des Kipphebels gibt der Lungenautomat kein Atemgas mehr ab. Bei Einfrieren des Ausatemventils kann die Ausatemluft nicht mehr abgegeben werden. [47] Auch beim Lungenautomaten können bei bestimmten Bauarten (balancierte zweite Stufe) Spülfehler zur Vereisung führen.

Begünstigt wird eine Vereisung von einer niedrigen Temperatur der umgebenden Luft, des Wassers und des Tauchgerätes. Als Kaltwassertauchgänge mit erhöhter Vereisungsgefahr gelten Tauchgänge bei Wassertemperaturen von weniger als 10°C, was ab einer gewissen Tiefe unterhalb der Sprungschicht auch bei warmen Umgebungstemperaturen in heimischen Tauchgewässern der Fall ist [44, 115]. Bei Lufttemperaturen von weniger als 5°C steigt ebenfalls die Gefahr einer Vereisung [47]. Feuchtigkeit spielt eine große Rolle in der Entstehung einer Vereisung. Die Beschaffenheit des von Kompressoren gelieferten Atemgases unterliegt durch die DIN EN 12021 strengen Grenzwerten [44, 51]. Meistens gelangt Feuchtigkeit im Flascheninneren über das Flaschenventil in die Flasche, wenn diese vor dem Füllvorgang zur Entfernung von Feuchtigkeit nicht ausgeblasen wurde. Beim unsachgemäßen Reinigen des Atemreglers kann Wasser ins Innere gelangen. Feuchte Ausatemluft kann bei kalter Umgebungstemperatur allein eine Vereisung auslösen. Der Luftverbrauch spielt ebenso eine Rolle. Je mehr und je schneller Atemgas geliefert wird umso stärker kommt es zur Abkühlung. Anstrengung und Stress können den Atemgasverbrauch steigern und so eine Vereisung triggern. Die gemeinsame Atmung zweier Taucher über den an derselben ersten Stufe angeschlossenen Hauptlungenautomat und Oktopus fordert deutlich mehr Luft pro Zeiteinheit von der ersten Stufe ab. Berndt et al. konnten Messungen an einer erweiterten Prüfanlage zur Parallelbeatmung aus zwei Lungenautomaten durchführen und dabei eine starke Leistungsbeeinträchtigung und Vereisungsneigung bis hin zum Ausfall feststellen [115]. Die Nutzung von Lungenautomat und primärem Tariermittel an derselben ersten Stufe verstärkt die Abkühlung und steigert das Risiko einer Vereisung. Die Tauchtiefe hat relevanten Einfluss auf das Vereisungsrisiko mit steigendem Risiko bei zunehmender Tiefe. [47] Weitere Einflussfaktoren sind der Strömungsverlauf im Atemregler, das Gehäusematerial und die Länge des Mitteldruckschlauchs [115].

Auch der Flaschendruck beeinflusst die Entstehung einer Vereisung. Auf Grund eines komplizierten Zusammenspiels von temperaturwirksamen Effekten (Joule-Thompson-Effekt, adiabatischer Effekt, Temperaturdifferenz Gas/Wassertemperatur) ist die Atemreglertemperatur bei Luftatmung bei einem Druck von ungefähr 160-180 bar am geringsten. Berndt et al. berichten, dass bei Analysen von Kaltwassertauchunfällen das Unfallgeschehen signifikant häufig beim Durchschreiten dieses Druckfensters begann. [44, 114] Bei gängigen Flaschengrößen und Flaschenfüllungsdrücken (220 bar) fällt dieses Druckfenster zumeist in die ersten Minuten des Tauchgangs (Minute 5-10) bei Erreichen der größten Tiefe, wenn zudem zur Tarierung der Inflator benötigt wird, so dass mehrere Trigger zusammentreffen. [47] Kräftige Inflatorbetätigung in dieser Tauchphase erhöht die Gefahr einer Atemreglervereisung signifikant. Allein die Konfiguration mit dem Lungenautomaten und dem Inflator an derselben ersten Stufe kann lebensgefährlich sein [115]. Pacher beschreibt als Tauchunfallgutachter in Österreich in einer Veröffentlichung über Tauchunfälle in alpinen Gewässern eine Häufung von Tauchunfällen in den ersten 11 Minuten des Tauchgangs [116]. Die Beobachtungen von Berndt et al. können als eine Ursache für die Häufung von Problemen in den ersten elf Minuten gewertet werden.

Insgesamt beinhalten die Konfigurationsempfehlungen zur Vermeidung einer Vereisung zwei getrennte komplette Atemregler. Zudem sollten der Hauptatemregler und der Jacketinflator nicht an derselben ersten Stufe angebracht werden [115].

3.11 Besonderheiten beim Rebreather-Tauchen

Bei der Nutzung von Kreislauf-Tauchgeräten (Rebreathern) kommt es zu einem „Recycling“ der Atemgase. Kohlenstoffdioxid als metabolisches Abfallprodukt wird chemisch gebunden. Der verbrauchte Sauerstoff wird aus einem Vorrat ersetzt. Ein Vorteil von Kreislaufgeräten ist, dass man mit gleichen Gasvorräten längere Tauchgänge durchführen kann. Sogenannte geschlossene Systeme, CCR (engl.: closed circuit rebreather) haben zudem den Vorteil, dass keine Gasblasen aufsteigen. Rebreather sind jedoch technisch anspruchsvoll und bergen einige Gefahren für den Nutzer. Probleme mit einem Rebreather können zu Todesfällen führen, ohne dass auf den ersten Blick Hinweise auf die Ursache vorliegen. Eine Untersuchung ohne technische Analyse des Gerätes und ohne Analyse der Tauchcomputerdaten führt meistens zu einer Festlegung eines Ertrinkens als Todesursache. Wegen der Komplexität der Systeme ist in diesen Fällen immer eine exakte Ursachenforschung erforderlich.

Clarke gibt drei Hauptursachen für tödliche Tauchunfälle beim Rebreather-Tauchen an. Am häufigsten sind Anwenderfehler durch den Taucher selbst. Ebenfalls häufig kommt es zu mechanischen Problemen oder Software-Problemen. Die häufigste gesundheitliche Schädigung bei tödlichen Tauchunfällen unter Nutzung eines Rebreathers ist ein Bewusstseinsverlust mit konsekutivem Ertrinken. Der Bewusstseinsverlust ist dabei entweder durch eine Hypoxie, eine Hyperoxie mit tonisch-klonischen Krämpfen durch Sauerstoffintoxikation oder durch eine Hyperkapnie bedingt. Diese häufigen gesundheitlichen Schädigungen lassen sich retrospektiv nicht durch eine Sektion nachweisen. Ohne Augenzeugenberichte ergibt sich kein Anhalt auf die Unfallursache, weswegen die technische Analyse stark in den Fokus rückt. [118]

Bei halbgeschlossenen Systemen wird der verbrauchte Sauerstoff aus einer Mischgasquelle (Nitrox = sauerstoffangereicherte Luft in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen) ersetzt. Die Zufuhr geschieht entweder durch einen konstanten Atemgasfluss oder ventilationsabhängig. Durch das ventilations-/verbrauchsabhängige Zuführen von Atemgas in den Kreislauf wird ein Ventil verbaut, das Atemgas im Falle eines Überschusses bei konstanter Zufuhr ins Wasser abgibt. Übersteigt der Verbrauch die konstante Zufuhr, kann bedarfsbedingt mittels geeigneter Dosiermethode zusätzliches Atemgas in den Kreislauf eingespeist werden. Wie bei geschlossenen Systemen wird das CO₂ in der Ausatemluft in einem Absorber gebunden. Aufgrund des empfindlichen Gleichgewichts zwischen Atemgasverbrauch und Ersetzen des verbrauchten Atemgases kann es bei körperlicher Arbeit vor allem in geringeren Tauchtiefen zu Missverhältnissen kommen. Folge ist eine schleichende Hypoxie mit konsekutiver Bewusstlosigkeit und zumeist ein Ertrinkungstod. Bei konstanter Zufuhr von Sauerstoff aus dem Atemgasvorrat können Fehlberechnungen der notwendigen Flussrate zu einer Hypoxie oder auch Hyperoxie führen. Verunreinigungen der Anschlüsse können ebenfalls zu Veränderungen des Atemgasflows und zur Hypoxie führen. [118]

Bei geschlossenen Systemen wird anstatt eines konstanten Atemgasflows Sauerstoff bedarfsadaptiert zugeführt. Geschlossene Systeme enthalten einen komplexen elektronischen Teil. Auch bei elektronisch dosierenden Systemen ist bei der Nutzung von Luft als Diluentgas das Tauchen mit einem geschlossenen System tiefenlimitiert, da der O₂-Gehalt nicht unter 21% geregelt werden kann. Wird die Tiefenlimitierung

missachtet, steigt die Gefahr einer Sauerstoffintoxikation bei hohem pO_2 mit einem sauerstoffbedingten Krampfanfall stark an. Während der tonisch-klonischen Phase des Krampfanfalls kommt es zumeist zum Verlust des Mundstücks, nach der tonisch-klonischen Phase kommt es zur tiefen Inhalation mit Aspiration großer Mengen von Flüssigkeit oder zum Laryngospasmus. Ein Krampfanfall unter Wasser führt somit ohne sofortige Hilfe zu einem Ertrinkungstod. Bei einem tödlichen Tauchunfall, bei dem mit einem geschlossenen System in größerer Tiefe getaucht wurde, sollte unbedingt an eine Sauerstoffintoxikation mit generalisiertem Krampfanfall gedacht werden. Da diese wie auch die Hypoxie und Hyperkapnie in der Sektion nicht nachweisbar sind, ergibt sich der Verdacht in Zusammenarbeit mit dem Sachverständigen, der das technische Gutachten erstellt. [118]

Die chemische Bindung von Kohlenstoffdioxid geschieht im sogenannten „scrubber“, einem CO_2 -Absorber, meist Calciumhydroxid („Atemkalk“), weniger häufig Natriumhydroxid oder Lithiumhydroxid [118]. Fehlfunktionen des Absorbers können zu fatalen Zwischenfällen führen. Die vollständige Absorption des Kohlenstoffdioxids führt dazu, dass der Taucher seinen Sauerstoff verbraucht haben kann ohne dass zuvor ein Atemreiz erfolgte, da dieser führend durch Kohlenstoffdioxid gesteuert wird. Ein solches Hypoxie-Geschehen führt unweigerlich zum Tod. Hingegen kommt es bei Versagen der Kohlenstoffdioxid-Absorption zu rasch ansteigenden CO_2 -Konzentrationen bis hin zur manifesten Intoxikation mit Bewusstlosigkeit. Ursächlich kann eine schlechte Wartung des Atemkalks sein, welcher regelmäßig ersetzt werden muss. [118] Einige Taucher nutzen den Atemkalk aus Kostengründen über die spezifizierte Standardzeit hinaus mit der Folge, dass nicht einzuschätzen ist, wie lange er noch funktionstüchtig bleibt. Auch Herstellerfehler oder Fehler bei der Befüllung des Atemkalkbehälters kommen vor. Gelangt Flüssigkeit in den Atemkalk, kann sich eine plötzliche Obstruktion bilden und die suffiziente Atmung verhindern. Zudem kann es zur Aspiration einer Mischung aus Flüssigkeit und Atemkalk kommen. Diese stark alkalische Mischung (im Taucherjargon sogenannter „caustic cocktail“) führt zu Bronchokonstriktion und Verätzungen der Atemwege. [118] Wie auch bei halbgeschlossenen Systemen kann ein technisches Problem der Sauerstoffzufuhr in einer Hyperoxie oder Hypoxie münden. Technische Probleme können mechanisch bedingt auftreten, beispielsweise an Anschlüssen oder elektronisch bedingt sein, beispielsweise bei Softwarefehlern oder defekten Sauerstoffsensoren. [118]

Eine technische Analyse kann vor allem bei Vorhandensein gasintegrierter Tauchcomputer Hinweise auf ursächliche Fehlfunktionen, Hypoxie oder Hyperoxie geben. [118]

4. Fallanalysen der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee im Zeitraum von 1994 bis 2018

4.1. Der Hemmoorsee - Überblick

Der Hemmoorsee liegt in Niedersachsen im Landkreis Cuxhaven. Die Stadt Hemmoor liegt geografisch zwischen Stade und der Kreisstadt Cuxhaven.

Hinter dem heutigen Hemmoorsee verbirgt sich die Grube eines ehemaligen Tagebaus. Hier wurde von 1862-1976 Kreide für Zementherstellung abgebaut. Nach Ende des Kreideabbaus füllte sich die Grube nach Abstellen der Pumpen mit Grundwasser [11]. Auf dem Seegrund befinden sich noch Gebäude der ehemaligen Industrieanlage, Straßenteile und Fahrzeuge des ehemaligen Tagebaus sowie nachträglich versenkte Gegenstände wie z. B. ein Flugzeug, was dem See neben seiner Tiefe durchaus auch eine internationale Attraktivität als Tauchplatz einbrachte.

Der See hat eine Fläche von 33 Hektar; die maximale Tiefe beträgt heute ca. 60 Meter. In ihm kann über das ganze Jahr getaucht werden. Die Sicht ist abhängig von Wetter und Anzahl der Taucher im Wasser. Bei günstigen Bedingungen kann sie bis zu 25 m betragen. An schlechten Tagen kann auch eine Sicht von 5-10 m vorliegen, insbesondere bei Aufwirbelungen der Kalkablagerungen am Grund [11]. Aufgrund seiner Sichtverhältnisse, der möglichen erreichbaren Tiefe und der niedrigen Wassertemperaturen gilt der See als anspruchsvolles Tauchgebiet.

Es gibt fünf offizielle Einstiegsmöglichkeiten, wobei diese je nach Bedingungen des Seegrunds teilweise nur für erfahrene Taucher zugelassen sind. An einigen Einstiegen fällt der Seegrund sofort steil ab; an anderen sind zunächst flache Areale vorhanden, die treppenförmig in die Tiefe führen. [11]

Für Taucher im Hemmoorsee haben die Betreiber Sicherheitsregeln vorgegeben. Wer sich bei der obligaten Anmeldung der Tauchbasis Kreidesee erstmalig vorstellt erhält dort eine Einweisung. Voraussetzung für die Anmeldung bei der Tauchbasis ist ein aktuelles ärztliches Attest über die bestehende Tauchtauglichkeit, wobei dies nicht speziell durch einen Taucherarzt ausgestellt sein muss. Zudem muss die Brevetkarte vorgelegt werden, welche die erworbenen Fähigkeiten der Taucher wiedergibt. Es gelten vorgeschriebene Tiefenlimits je Ausbildungsstand. Eine Äquivalenztabelle der Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen befindet sich im Anhang. Bronze (*), OWD und AOWD-Taucher dürfen bis maximal 25 m tauchen. Rescue Diver und Silber (**)-Taucher sind auf 40 m begrenzt. Taucher mit höheren Brevetierungen dürfen Tauchgänge bis 45 m durchführen. Trimixtauchgänge tiefer als 45 m bedürfen vorheriger Anmeldung. Solotauchgänge sind nicht erlaubt. Tauchgänge im Hemmoorsee sind grundsätzlich nur mit kaltwassertauglicher Ausrüstung im Sinne zweier kompletter Atemregler an separat absperrbaren Ventilausgängen zugelassen. Zur Vermeidung von Regelverstößen werden Ausrüstung, Tiefenmesser und Logbücher stichprobenartig kontrolliert. [11, 27]

Die Tauchbasis Hemmoorsee führt Statistik über Tauchunfälle aller Schweregrade, die im See aufgetreten sind. Nach Angabe der Tauchbasisbetreiber lag die durchschnittliche Unfallrate bei einer durchschnittlichen Taucherzahl von 83 Tauchern pro Tag im vergleichsweise hochfrequentierten Hemmoorsee in den letzten

13 Jahren bezogen auf die Tauchtage bei 0,026 %. Diese Zahl umfasst sowohl tödliche Tauchunfälle als auch Verunfallte mit leichten bis zu schweren Symptomen sowie Taucher ohne Beschwerden, die aufgrund eines Zwischenfalls leitliniengerecht prophylaktisch der hyperbaren Sauerstofftherapie im nächst erreichbaren Druckkammerzentrum zugewiesen wurden. Insgesamt ist die Unfallrate im Vergleich zu anderen gängigen Sportarten und Risikosportarten als gering zu bewerten. Bei den in dieser Dissertation untersuchten 17 tödlichen Tauchunfällen zwischen 1994 bis 2018 lief der überwiegende Teil der Unfälle unter Missachtung einer oder mehrerer geltenden Sicherheitsregeln ab.

Im Folgenden werden einige Tauchplätze des Sees beschrieben, die im Rahmen der nachfolgenden Fallanalysen Erwähnung finden.

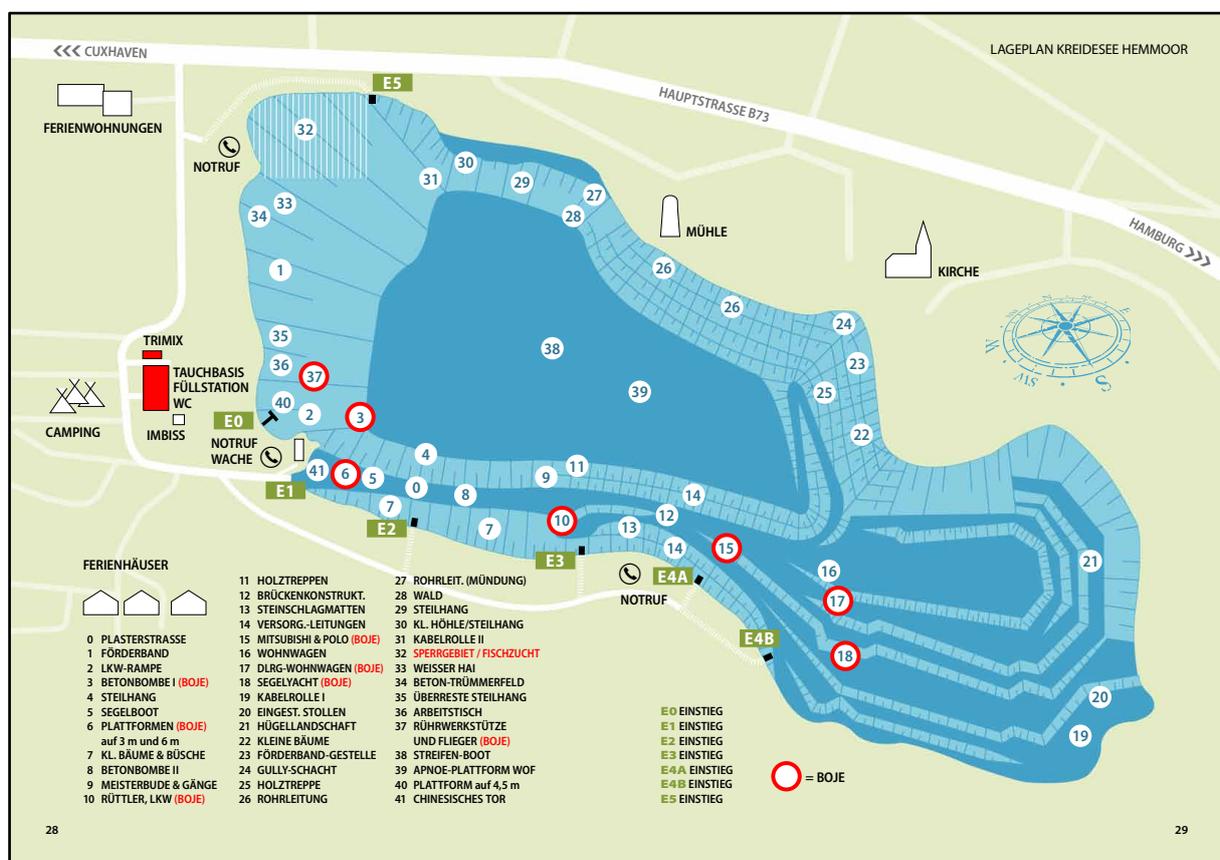


Abb. 2: Seeskizze und Tauchplätze (mit freundlicher Genehmigung der Tauchbasis Kreidesee, © Holger Schmoldt)

In drei Fällen war der sogenannte „Rüttler“ der Unfallort. Hierbei handelt es sich um ein 12 m hohes Betongebäude, dessen Basis sich in 32 m Tiefe befindet. Mit dieser Sortieranlage wurde zu Zeiten des Kreideabbaus Kreide von Feuersteinen getrennt. Durch einen unterirdischen Gang wurde die Kreide zur Fabrik befördert. Oberhalb des Rüttlers befindet sich in 20 m Tiefe eine Brücke, die ursprünglich als Auffahrt diente, um Kreide von Lastkraftwagen in den Rüttler zu entleeren. 2005 wurde ein Lastkraftwagen so platziert, dass es so aussieht, als würde er gerade Kreide in die Schütte kippen. Die taucherische Schwierigkeit des Rüttlers wird mit einer Stufe von 4-5 der von der Tauchbasis festgelegten Skala (Stufe 1-6 mit aufsteigender Schwierigkeit) angegeben. [11] Neben der Tiefe ist vor allem der Tauchgang durch

die Schütte in den etwa 10 m tiefer liegenden Rüttlerkeller anspruchsvoll. Unterhalb der Schütte hat sich eine große Gasblase gebildet. An dieser Stelle ist der direkte Weg an die Wasseroberfläche allerdings abgeschnitten. Im Rüttlerkeller befindet sich eine weitere Gasblase.

Vom Rüttlerkeller aus gelangte man zu Zeiten der früheren in dieser Dissertation analysierten Tauchunfälle in zwei parallel verlaufende Kellergänge mit einem Durchmesser von je drei mal zwei Meter und einer Länge von 23 m. In einem der Gänge war eine Förderbandanlage installiert. Im zweiten befanden sich Werkstatt und Aufenthaltsraum für den Rüttlermeister. Bei der sogenannten „Meisterbude“ handelt es sich um einen Brettverschlag mit Fenster, Pritsche und Ofen. Der dorthin führende Gang enthält Schränke und Werkbänke. Die Gänge wurden aufgrund häufiger Tauchunfälle mittlerweile mit Gittern verschlossen. Zuvor konnten sie betaucht werden, wobei auch hier seitens der Tauchbasis eine taucherische Schwierigkeit von 4-5 bei einer Tiefe von 35 m angegeben wird. [11] Die Gänge erforderten im hohen Maße taucherische Erfahrung.

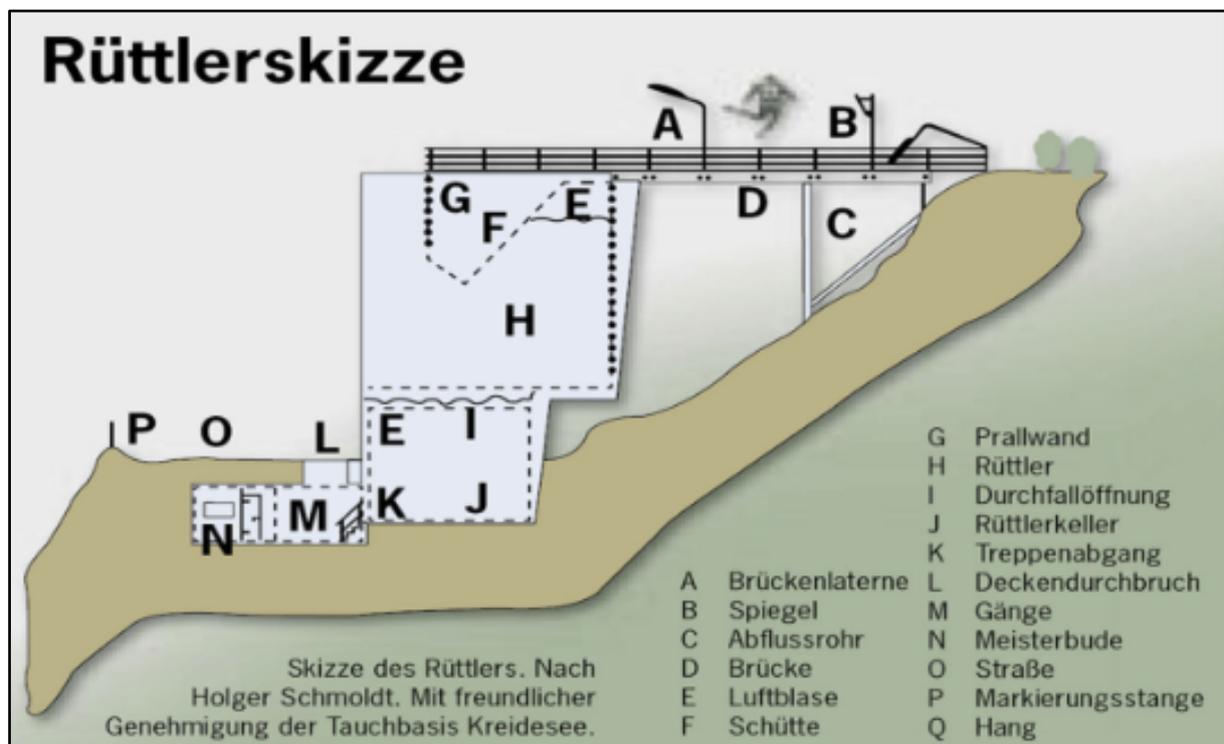


Abb. 3: Rüttlerskizze (mit freundlicher Genehmigung der Tauchbasis Kreidesee, © Holger Schmoltdt)

An der Steilwand vor dem Rüttler befindet sich eine Holzterasse, die direkt zur Pumpstation am tiefsten Punkt der ehemaligen Grube führte. Dieser lag vor Flutung des Sees noch weitere 40 m tiefer und ist heute unter Sand verborgen. Die Steilwand ist von Einstieg 3 zu erreichen und führt in eine maximale Tiefe von 55 m. Die Treppen befinden sich auf 42 bis 55 m. Der taucherische Anspruch wird mit Stufe 5-6 angegeben. [11] An der Steilwand rund um Einstieg 3 kam es (unabhängig von den drei Fällen im Rüttler) zu drei weiteren tödlichen Tauchunfällen.

Von Einstieg 4 aus sind zwei Autowracks zu finden, die sich auf 20 m Tiefe befinden. Weiterhin führt auch von diesem Einstieg ein Steilhang in die Tiefe. [11] Im Bereich von Einstieg 4 kam es zu zwei tödlichen Tauchunfällen.

Über den Einstieg 5 erreicht man einen Steilhang, der bis in eine Tiefe von 35 m senkrecht verläuft, um dann von 35 m bis zum Grund auf 55 m in eine starke Schräge überzugehen. Teilweise bestehen Überhänge. Der taucherische Anspruch wird mit Stufe 3-5 angegeben. Der Internetauftritt der Tauchbasis weist explizit darauf hin, dass der Tauchplatz nicht für Anfänger geeignet ist. [11] Von Einstieg 5 aus kam es zu fünf tödlichen Tauchunfällen.

Von Einstieg 0 und 1 aus ist eine von zwei „Betonbomben“ zu erreichen. Bis 1996 befanden sich beide Betonbomben, etwa 2 m hohe Betonschüttsilos, in 43 m Tiefe, wo ein Steilhang ausläuft. Später wurde eine Betonbombe in ein flacheres Gebiet versetzt. [11] Am ursprünglichen Ort beider Betonbomben kam es zu zwei tödlichen Tauchunfällen. Der taucherische Anspruch wird bei einer Tauchtiefe von 43 m mit 5 angegeben [11].

Ein tödlicher Tauchunfall ereignete sich am Einstieg 1 in der Nähe der Ausbildungsplattformen. Bei diesem Gebiet handelt es sich um ein anfängerfreundliches Areal. Die Plattformen befinden sich in 3 und 6 m Tiefe. In der Nähe befindet sich die Pflasterstraße, die aufgrund des gleichbleibenden flachen Neigungswinkels ein beliebter Platz zum Eingewöhnen ist. [11]

4.2. Fallanalysen

Für diese Dissertation werden die tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee im Zeitraum von 1994 bis 2018 retrospektiv unter tauchmedizinischen, tauchtechnischen und rechtsmedizinischen Gesichtspunkten analysiert. Die Bestimmung von Auslöser, Schädigungsmechanismus, gesundheitlicher Schädigung und der Todesursache für die analysierten Fälle erfolgt auf Basis der Ermittlungsberichte inklusive der Zeugenaussagen und der Sektionsbefunde, sowie, falls vorhanden, der technischen Gutachten (Ausrüstung, Gasanalyse) und nach Gesamtbeurteilung unter tauchmedizinischen Aspekten. Dieses Vorgehen zur retrospektiven Analyse orientiert sich dabei an internationalen Studien zu tödlichen Tauchunfällen, etwa denen von Casadesús et al. [110]. Vor allem aber orientiert es sich an den Analysen zur Erstellung der „DAN Annual Diving Reports“, bei denen die genannten Befunde retrospektiv von einem tauchmedizinischen Expertenteam ausgewertet werden [12,13].

4.2.1 Fall 1

Es handelt sich um den Fall eines 25-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Ausbildungstauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Angaben zur medizinischen Vorgeschichte, Substanzanamnese und zur Tauchtauglichkeit lagen nicht vor. Bezüglich der Taucherfahrung des Verunfallten lagen

widersprüchliche Aussagen vor, nach denen der Verunfallte bisher bis zu 25 Tauchgängen absolviert habe. Ein Logbuch zur Verifizierung lag nicht vor. Der Verunfallte hatte sich bei einer externen Tauchschnule zum AOWD Kurs (Advanced Open Water Diver) angemeldet. Seine bisherige OWD-Tauchausbildung habe er vor über einem Jahr in Australien gemacht, weswegen seitens der Tauchschnule ein Checktauchgang vorgeschrieben wurde. Nach Angaben der Tauchschnule habe sich der Verunfallte selbst für einen sehr erfahrenen Taucher gehalten und dem Checktauchgang erst zugestimmt, als ihm gesagt wurde, dass man ihn sonst nicht zum AOWD Kurs zulassen würde. Auch habe er darauf bestanden, den Tauchgang bereits an jenem Wochenende durchzuführen. Den Checktauchgang habe er gut gemeistert und keine Probleme mit der Ausrüstung gehabt.

Tauchgangsspezifische Befragung

Der Unfall lief an einem regnerischen Tag im Mai ab. Die Sichtverhältnisse beim Abtauchen seien mit 5-10 m noch gut gewesen. Angaben zur Wassertemperatur lagen nicht vor. Am Tauchgang waren mehrere Taucher einer ortsfremden Tauchschnule beteiligt. Im engeren Sinne zur Gruppe des Verunfallten gehörten die zuständige Tauchlehrerin im Buddyteam mit einem Schüler, ein Divemaster im Buddyteam mit dem Verunfallten und eine in der Ausbildung zum Divemaster befindliche Taucherin im Team mit einem weiteren, nicht näher beschriebenen Taucher.

Zur Erlangung des AOWD-Brevets war ein Tieftauchgang mit Pressluft erforderlich. Geplant war deshalb ein Abtauchen am Stahlseil zur Plattform über dem Rüttler, das Lösen von Rechenaufgaben und das Tauchen zum Grund des Rüttlers durch die Schütte mit anschließender Rückkehr zur Plattform. Dies wurde in einem Briefing besprochen, ebenso wurden die Begebenheiten am Rüttler beschrieben.

Um 12.15 h begann der Tauchgang, um 12.30 h wurde gemeinsam abgetaucht. Der Verunfallte wurde gemäß Angaben der Tauchgruppe bereits 15 min nach dem Verlassen der Plattform, auf der die Rechenübungen durchgeführt wurden, vermisst. Der dem Verunfallten zugeteilte Divemaster gab an, seinem Schüler nach gegenseitiger Kontrolle des Flaschendrucks und des Befindens signalisiert zu haben, dass man durch die Schütte in den Rüttler abtauchen wolle. Er habe dem Verunfallten angedeutet, er solle ihm folgen und tauchte zuerst ab. Nach etwa 15 bis 20 s wäre der Verunfallte nicht mehr hinter ihm gewesen. Er habe daraufhin im und um den Rüttler herum sowie an der Oberfläche nach ihm gesucht, bevor er zur Plattform zurückkehrte, wo die restliche Gruppe wartete. Die für den Tauchgang verantwortliche Tauchlehrerin, die mit dem zweiten Schüler durch die Schütte folgen wollte, ergänzt, der Verunfallte sei beim Durchtauchen der Schütte plötzlich in einer Kreidewolke verschwunden, welche zuvor nach Verlassen der Plattform entstanden sei. Man habe den Kontakt zum anderen Team verloren und den Divemaster erst später auf der Plattform wiedergetroffen. Daraufhin habe man den zweiten Schüler mit der in Ausbildung befindlichen Divemaster an die Oberfläche geschickt und solange erfolglos gesucht, wie es der Luftvorrat zuließ. Dabei sei man zwischenzeitlich aufgetaucht und habe dort gesucht, wo vom Ponton aus Luftblasen gesehen wurden.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Nach Alarmierung der Polizei und der Tauchbasis erfolgte eine Suchaktion, an der sich ungefähr 50 Taucher beteiligten, zwei Tauchergruppen der Feuerwehr sowie

zwei DLRG Ortsgruppen. Die Suche verlief zunächst über Stunden erfolglos. Die Bergung der Leiche erfolgte schließlich um 16.05 h durch zwei DLRG-Taucher, nachdem diese gezielt den Rüttler und den darunter liegenden Vorraum, die Meisterbude sowie dessen Gangsystem durchsuchten, weil 6 m neben dem Rüttler über den Gängen über längere Zeit Luftblasen an der gleichen Stelle bemerkt worden seien. Ein an der Suchaktion beteiligter Taucher berichtete, man habe sich dort absinken lassen, wo man entsprechend der Berichte den vermissten Taucher verloren hatte, gelangte dann erst in die hinter der Schütte befindliche Luftblase und sank von dort durch den Deckendurchbruch in den Vorraum und den Einstieg zu den Gängen. Die Leiche wurde dort in einem der zur Meisterbude führenden Gänge in 33,5 m Tiefe gefunden. Bezüglich der Gänge wurde der Polizei berichtet, dass diese zum Teil nur mit guter Ausbildung und einem hohen Risiko zu durchtauchen seien. Bei der Bergung des Toten lagen die Sichtverhältnisse aufgrund der Sedimentaufwirbelungen der vielen behilflichen Taucher unterhalb von einem Meter. Die Wassertemperatur betrug dort 4°C. Der Verunfallte befand sich beim Auffinden in Seitenlage auf der linken Körperseite. Die Ausrüstung habe sich laut Bergungsteam ordnungsgemäß am Körper befunden, allerdings habe sich der Lungenautomat nicht im Mund befunden. Im Tarierjacket habe sich keine Luft befunden. Das Ventil der Tauchflasche sei geöffnet gewesen, was durch das Bergungsteam insbesondere dadurch festgestellt wurde, dass das Jacket des Toten zur leichteren Bergung auf dem Weg zur Oberfläche problemlos aufgeblasen werden konnte. Nach Bergung habe sich in der Flasche noch ein Restdruck von 80 bar befunden.

Einer der beteiligten Bergungstaucher mit Ortskenntnissen entwickelte ein Ablauf-Szenario: Der Verunfallte habe aufgrund der plötzlich schlechten Sicht den Anschluss an seinen Divemaster verloren und sei vermutlich beim Abtauchen direkt unter die Schütte geraten. Ein Aufstiegsversuch habe zur Feststellung geführt, dass er sich in einem nach oben geschlossenen Raum befand. Um diesen zu verlassen hätte er sich etwa 5 m absinken lassen müssen. Er habe vermutlich den seitlichen Ausgang des Rüttlers bei schlechter Sicht verpasst und sei direkt in den Vorraum der Gänge gesunken, dessen Öffnung (Deckendurchbruch) auf dem Boden des Rüttlers liegt. Bei schlechter Sicht sei von dort aus zu keiner Seite ein Ausgang zu erkennen gewesen. Der Verunfallte habe sich dort vermutlich verirrt, zumal die Gänge mehrfach abknicken und Hindernisse im Weg liegen. Selbst erfahrene Taucher würden in solch einer scheinbar ausweglosen Situation in Panik geraten können. In den Gängen käme ein geringer Lichtschein durch ein Loch in der Decke, welches als Ausgang jedoch durch ein Rohr versperrt wird. Der Fundort des Verstorbenen sei etwa 2 m von diesem Loch entfernt gewesen. Der Bergungstaucher betonte, dass jeder ihm bekannte Taucher in dieser scheinbar ausweglosen Situation in Panik geraten würde. Auch bestehe die Möglichkeit, dass dem Verunfallten der Atemregler durch die im Gang befindlichen Hindernisse durch Verhaken aus dem Mund gezogen wurde, obwohl er sich den Atemregler auch in Panik selbst entfernt haben könne.

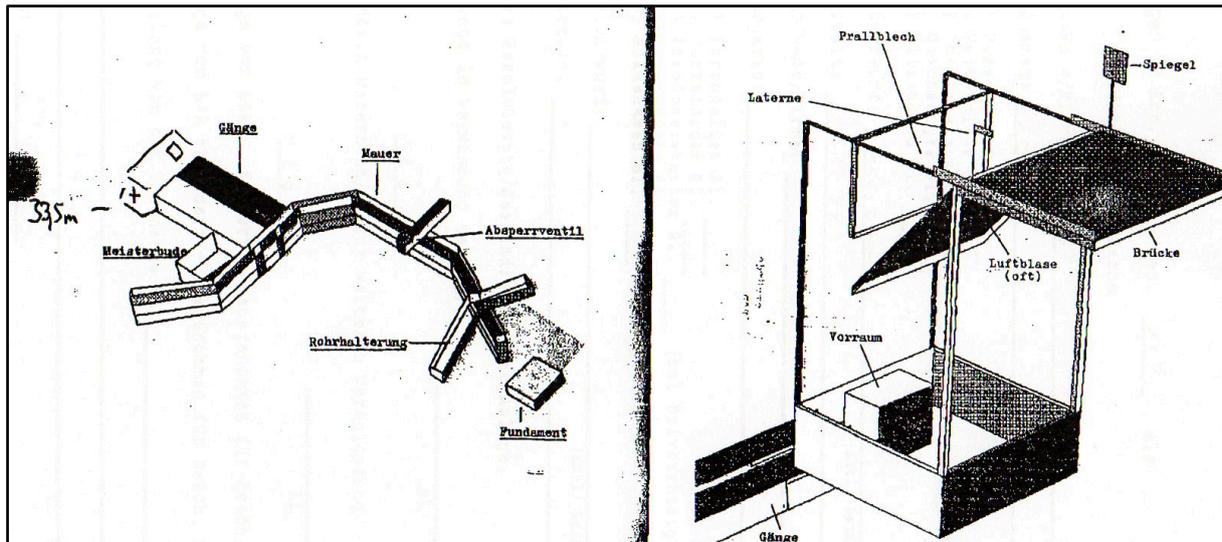


Abb. 4: Skizze des Bergenden: Markierung des Leichenfundorts, Aufbau der Gangsysteme (links) und des Rüttlers (rechts)

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Nach der Bergung wurde eine kurze Fotodokumentation am Ufer durchgeführt. Aufgrund schlechter Witterungsverhältnisse bei starkem Regen fand die Leichenschau jedoch nicht vor Ort statt. Es erfolgte vielmehr der Transport durch den Bestatter in eine Leichenhalle. Das Tauchgerät wurde sichergestellt.

Die Leichenschau wurde schließlich gegen 18 h in der Leichenhalle durchgeführt. Der Leichnam befand sich in Rückenlage und war noch mit seinem zweiteiligen Neoprenanzug bekleidet. Die Dicke des Neoprenmaterials wurde nicht beschrieben. Der Verunfallte war von kräftiger, sportlicher Statur. Es wurde eine starke Zyanose des Gesichtes und Kopfes beschrieben. Äußere Verletzungen des Kopfes lagen nicht vor. Die Pupillen stellten sich isokor, weit und kreisrund dar. Die Bulbi waren gerötet. Es bestanden hell-rötliche Leichenflecken, an der Rückenpartie, die sich als leicht wegdrückbar erwiesen. Zudem lag eine beginnende Totenstarre vor. In Mund und Nasenostien zeigte sich ein ausgeprägter Schaumpilz. Von einer umfangreicheren Leichenschau vor Ort wurde Abstand genommen, um der Rechtsmedizin den Leichnam in möglichst originalem Zustand zu übergeben. Eine Sektion wurde als unerlässlich angesehen. Aufgrund des Schaumpilzes wurde zu diesem Zeitpunkt ein Tod durch Ertrinken angenommen.

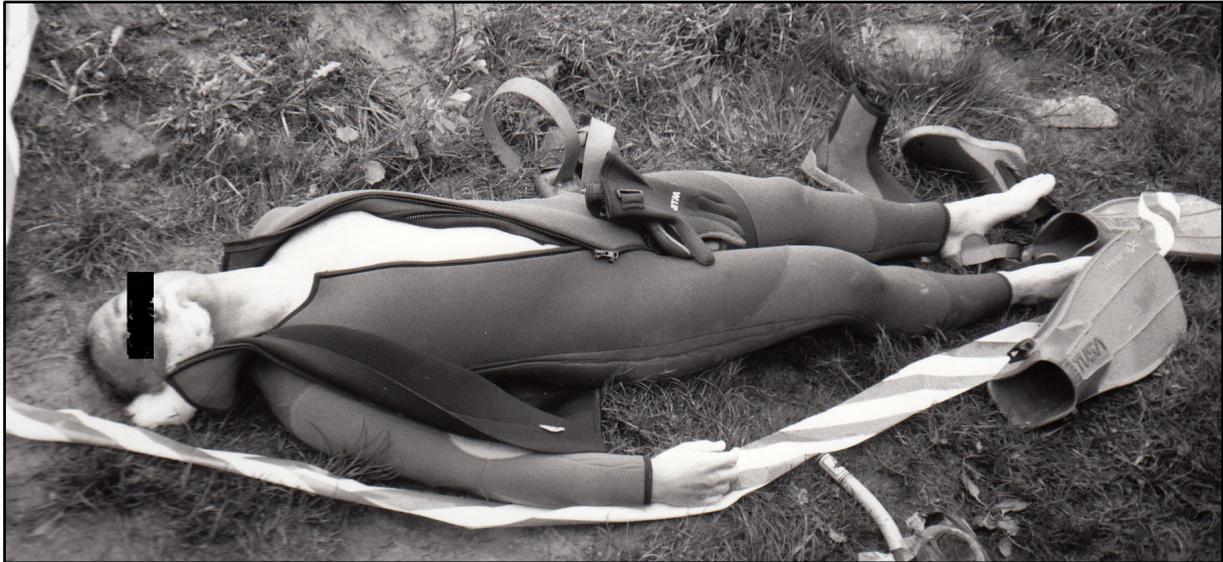


Abb. 5: Auffinde-Situation für die Ermittler. Zu beachten ist die extreme Ausprägung des äußeren Schaumpilzes

Weiteres Vorgehen

Der Leichnam und die Ausrüstung des Verunfallten wurden beschlagnahmt. Die Sektion und die Untersuchung der Tauchausrüstung wurden über die Staatsanwaltschaft und das Amtsgericht in die Wege geleitet. Im Rahmen der weiteren Ermittlung wurden in regelmäßigem Kontakt mit den DLRG-Tauchern technische Aspekte diskutiert und es wurde um Beratung für die Interpretation des technischen Gutachtens gebeten.

Untersuchung der Tauchausrüstung und der Atemgase

Bei der Tauchausrüstung des Verunfallten handelte es sich um eine Leihhausrüstung der Tauchschiule. Sie wurde durch eine Firma für Tauch- und Beatmungstechnik analysiert. Die Analyse der Atemluft ergab einen erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt der Atemluft von 1300 ppm statt eines zugelassenen Wertes von < 800 ppm. Jacket, Messinstrumente und Tauchflasche wiesen keine Mängel auf. Der Lungenautomat zeigte jedoch Einatemwiderstände weit oberhalb des von der DIN-Norm geforderten Grenzwertes. Eine Normprüfung hätte der Lungenautomat nach Angabe des Untersuchers nicht bestanden. Ebenso wenig hätte der Automat die Prüfung nach EN (Normprüfung seit 1993) bestehen können. Nach Aussage der Tauchschiule wurde der hauseigene Kompressor regelmäßig gewartet; ein Grenzwert sei bisher nicht erreicht worden.

Gasart	gefundener Wert / Prüfmittel	Sollwert nach DIN 3188
Sauerstoff	20,5 Vol%	Der Sauerstoffgehalt liegt im entspannten Zustand zwischen 20 und 21 Vol% .
Kohlenmonoxid	5 ppm Kohlenstoffmonoxid 5a/P AREA-0022	Sollwert: <30ppm
Kohlendioxid	1300ppm Kohlendioxid 100a/P ARDL-0091	Der Kohlendioxidgehalt darf für Druckluft nach DIN 3188 nicht >800 ppm betragen
Feuchte	10mg/m ³ Wasserdampf 5a/P ARFD-0161	bei 200bar: <50mg/m ³ bei 300bar: <35mg/m ³
Restfett	<0,3mg/m ³ ÖL 10a/P AREM-0042	<0,2mg/m ³

Abb. 6: Ergebnis der Atemgasanalyse Fall 1

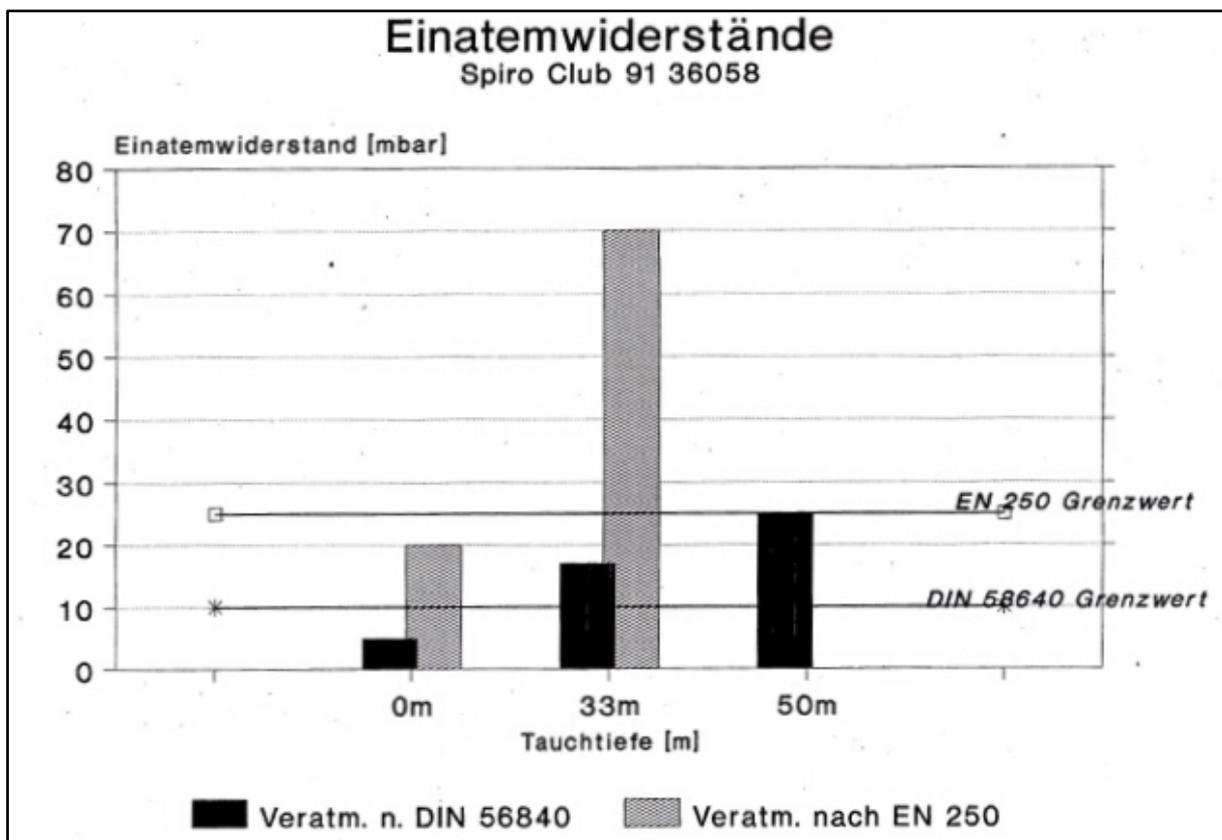


Abb. 7: Analyse der Einatemwiderstände des Lungenautomaten Fall 1

Der Untersucher wurde zudem um Stellungnahme zum Geschehen gebeten, auch in Hinblick darauf, ob die Ausrüstung für den Tauchgang angemessen gewesen sei. Er

äußerte die Ansicht, ein Nassanzug sei für einen Tauchgang in den angegebenen Tiefen bei 4°C nur für sehr kurze Tauchgänge geeignet. Die Kältewirkung verstärke die Atemfrequenz, ebenso der gemessene erhöhte CO₂-Gehalt des Atemgases. Die hohen Einatmungswiderstände des Lungenautomaten würden die aufzuwendende Atemarbeit erhöhen und schnell zu Erschöpfung führen. Alle genannten Probleme, verbunden mit plötzlicher Enge in den Gängen und schlechter Sicht würden leicht zur Panik führen.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Ein Tauchcomputer war nicht vorhanden.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Die Sektion wurde am Folgetag nach dem Unfall durchgeführt. Im Sektionsbericht wird ein athletischer Körperbau mit sehr kräftiger Muskulatur beschrieben. In der äußeren Besichtigung wurde ein „ungewöhnlich ausgeprägter, die ganze untere Gesichtshälfte bedeckender, weit hervorragender Schaumpilz“ beschrieben. Beim Drehen der Leiche entleerte sich rötliche Flüssigkeit im Schwall aus den oberen vorderen Körperöffnungen. Augenlider, Bindehäute und Mundschleimhaut zeigten kleine punktförmige Blutungen. Die Lungen lagen der Brustwand an. Bei Eröffnung der thorakalen Gefäße entleerte sich schaumiges Blut. In der Untersuchung des Herzens zeigte sich eine akute Dilatation beider Herzkammern, vor allem aber der rechten Herzkammer und des rechten Vorhofs. Beim Einschneiden aller vier Herzhöhlen entleerte sich dunkelrotes schaumiges Blut. Auch in den Koronararterien und den großen herznahen, sowie den Becken- und Schenkelblutgefäßen, fand man schaumiges Blut. Die Schleimhaut des Pharynx und der Luftwege waren düster-blaurot. In den Luftwegen befand sich weißer Schaum und rote Flüssigkeit. Die Lungenflügel waren stark balloniert, hyperämisch und ödematös und mit Impressionen der Rippen. Unter der Lungenoberfläche zeigten sich kleinfleckige verwaschene Blutungen. Trotz der Ballonierung wurde ein erheblicher Blut- und Saftgehalt der Lungenflügel beschrieben. Die blutbildenden Organe waren bis auf eine blutgestaute Milz unauffällig. Die Nieren waren blutgestaut, die Leber blutreich. Magen-Darmtrakt und Harnblase waren unauffällig. Beschrieben wurden eine akute Volumenvermehrung und Zyanose des Gehirns. Es bestanden keine äußeren Verletzungen. Eine Alkoholisierung wurde durch eine toxikologische Analyse ausgeschlossen. Im endgültigen Bericht der Rechtsmedizin wurde der Tod „eindeutig und ausschließlich“ durch Ertrinken diagnostiziert. Der Schaumpilz vor dem Mund wurde als klassisches Zeichen des Ertrinkungstodes gewertet. Innere Erkrankungen, die ein Ertrinken erklären könnten, lagen bei dem gesunden jungen Mann nicht vor. Merkmale äußerer Gewalteinwirkung fanden sich nicht.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Laut Ermittlungsbericht konnten die Ursachen für den Ertrinkungstod nicht eindeutig geklärt werden. Den Teilnehmern der Tauchgruppe konnte keine ursächliche Fahrlässigkeit vorgeworfen werden, da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass sich der Verunfallte durch ein eigenmächtiges Verhalten vorübergehend von der Gruppe entfernte und bei sich verschlechternden Sichtverhältnissen in Panik geraten ist. Funktionsmängel an der Ausrüstung seien nicht festgestellt worden. Das kriminalpolizeiliche Ermittlungsergebnis sprach für einen Unglücksfall durch höhere Gewalt. Das Verfahren wurde eingestellt.

Beurteilung

Bei diesem Fall ist der Unfallhergang aus mehreren Gründen gut zu rekonstruieren. Es lagen ausführliche Zeugenaussagen zum Ablauf des Tauchgangs vor. Beginn, Zeitpunkt des Abtauchens, Problemmeldung und Zeitpunkt des Vermissens des Verunfallten sind klar zu erkennen. Es lagen ebenso genaue Angaben zum Such- und Bergungsvorgang wie zu allen beteiligten Helfern und zur Schilderung der Bergung des Tauchers vor. Unter anderem gab es genaue Angaben zum Zeitpunkt, zur Auffindeposition, dem Zustand der Ausrüstung und den zur Bergung durchgeführten Manipulationen an der Ausrüstung. Wegweisend für die Rekonstruktion ist zudem der detaillierte Bericht der ortskundigen und erfahrenen DLRG-Bergungstaucher über den Fundort und die Eigenschaften und Risiken des Rüttlers, die ohne diese Expertenschilderung schwer nachzuvollziehen gewesen wären. Positiv hervorzuheben ist zudem die ausführliche Dokumentation der Ermittler sowie die intensive Beschäftigung mit der Thematik im Rahmen der Ursachenforschung. Es kam im Verlauf der Ermittlung regelmäßig zu Rückfragen an das DLRG-Team, um tauchtechnische und tauchphysiologische Fragestellungen zu klären.

Sachgerecht verlaufen ist auch der Ablauf der polizeilichen Leichenschau. Von einer umfangreicheren Leichenschau vor Ort wurde Abstand genommen, um der Rechtsmedizin den Leichnam in möglichst originalem Zustand zu übergeben, da eine Sektion wurde als unerlässlich angesehen wurde.

Die Sektion wurde bereits einen Tag nach dem Unfall durchgeführt. Eine postmortale Computertomographie war damals kein Standard und stand dem zuständigen rechtsmedizinischen Institut erst seit 2008 regelmäßig zur Verfügung. Durch die Sektion konnte die vermutete Todesursache durch Ertrinken verifiziert werden. Das erwähnte schaumige Blut in Herzkammern und großen Gefäßen ist als postmortaler Dekompressionsartefakt zu werten. Ideal wäre hier eine Gasanalyse zur genaueren Klärung der Genese gewesen. Spezielle Techniken zum Nachweis von Gasembolien in den zerebralen Gefäßen, in den Herzhöhlen oder thorakalen Gefäßen wurden nicht angewendet.

Die extreme Ausprägung des äußeren Schaumpilzes deutet in diesem Fall auf einen im Vergleich lang dauernden Todeskampf hin (s. Abb. 5). Schaumpilze bestehen im Wesentlichen aus dem Eiweiß Muzin, das aus dem Surfactant der Lungen stammt. Sie entstehen in der Phase des Ertrinkungsvorgangs, wo agonale Zwerchfellkontraktionen bei geschlossener Stimmritze dieses eiweißhaltige Sekret mit in das Bronchialsystem eingedrungenem Wasser zu einem sehr widerstandsfähigen Schaum schlagen. Selbst wenn die Ausdehnung des Gases im Schaumpilz durch den abnehmenden Wasserdruck gemäß dem Gesetz von Boyle-Mariotte bei der Bergung mit kalkuliert wird, handelt es sich hierbei um eine äußerst umfangreiche äußere Manifestation. Der lange Todeskampf wird durch den hohen Sauerstoffpartialdruck erklärt. In 33,5 m Wassertiefe beträgt der Gesamtdruck 4,35 bar. Mit rund 21% Sauerstoff im Flaschengas beträgt der pO_2 etwa 0,9 bar mit der entsprechend höheren physikalischen Lösung in Plasma und Geweben. Deswegen ist im vorliegenden Fall nach der Herausnahme des Lungenautomaten aus dem Mund von einem prolongierten Ertrinkungsvorgang mit größerer Schaumpilzbildung auszugehen. Der Blutstau in den inneren Organen unterstützt die Annahme eines langen agonalen Kampfes.

Aus diesen Hinweisen lässt sich für diesen Fall ein düsteres Szenario rekonstruieren: Der Open Water Diver wird bei seinem vermutlich ersten Tieftauchgang eingeschlossen und kämpft im Stress gegen hohe Einatemwiderstände, bis er dann im Essoufflement den Lungenautomaten herausnimmt, glaubend, er hätte kein Atemgas mehr und ab dann im prologierten Todeskampf ertrinkt.

Bei eindeutiger Todesursache bleibt der dazu führende Unfallhergang mit Auslöser, Schädigungsmechanismus und gesundheitlicher Schädigung zu klären. Der durch den Bergungstaucher vermutete Ablauf erscheint plausibel. Anamnestisch spricht vieles dafür, dass der Verunfallte durch die plötzlich verschlechterte Sicht den Anschluss an seinen Divemaster und ortsunkundig auch jede Orientierung verlor. Vermutlich wurde er plötzlich mit der Situation konfrontiert, sich in einem nach oben geschlossenen Raum zu befinden und versuchte daraufhin, nach unten zu sinken, um einen Ausgang zu finden. Dafür spricht, dass bei der Bergung keine Luft im Jacket des Verunfallten war. Bei schlechter Sicht und den von den Bergungstauchern geschilderten baulichen Besonderheiten des Rüttlers kam es vermutlich zu einem Verirren mit Einschluss in den unter dem Rüttler liegenden Gängen und Räumen. In den selbst für erfahrene Taucher schwer übersichtlichen Gängen war für den Verunfallten bei zudem bestehender schlechter Sicht kaum ein Entkommen möglich. Da bei der Bergung noch ein Restdruck von 80 bar in der Flasche vermerkt wurde, ist davon auszugehen, dass der Verunfallte im Rahmen einer Panikreaktion und einem Essoufflement bewusstlos wurde, konsekutiv ertrunken ist und nicht durch ein Versiegen der Atemgasreserve verstarb. Dafür spricht, dass sich das Mundstück nicht mehr im Mund befand. Panikreaktionen und Essoufflement sorgen häufig dafür, dass sich Taucher ihr Mundstück selbst entfernen, weil sie aufgrund heftiger und imperativer Atemarbeit der Fehleinschätzung unterliegen, die Atemgasversorgung wäre aufgebraucht. In diesem Fall ist es jedoch auch möglich, dass dem Verunfallten der Atemregler durch die in den Gängen befindlichen Hindernisse aus dem Mund gezogen wurden und er in Panik und aufgrund der Enge nicht mehr in der Lage war, ihn zu erreichen. Der zuvor beschriebene Ablauf eines typischen Essoufflements erscheint gleichwohl wahrscheinlicher.

In diesem Fall wurde eine Untersuchung der Tauchausrüstung und des Atemgases durch eine Firma für Tauch- und Beatmungstechnik durchgeführt. Wenngleich diese nicht durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen geschah, erfolgte die Untersuchung durch einen unabhängigen Untersucher mit Mitteln zur technischen Analyse des Atemreglers und zur Untersuchung des Atemgases. Es konnten zwei nicht unerhebliche Mängel festgestellt werden. Bei der Leihhausrüstung des Verunfallten ergab sich ein Einatemwiderstand des Lungenautomaten weit oberhalb der Norm. Ein Einatemwiderstand von 70 mbar ist auf Dauer eine starke physiologische Belastung. Es kann angenommen werden, dass es aufgrund des hohen Einatemwiderstands in der Tiefe in Verbindung mit beschleunigter Atmung durch Panik zu deutlich erhöhter Atemarbeit und nachfolgend einer Erschöpfung der Atmungsmuskulatur mit Kohlendioxidanreicherung kam. Der Fall zeigt insofern geradezu lehrbuchmäßig den Ablauf einer endogenen Hyperkapnie beim Tauchen, dem sogenannten Essoufflement, welches unter anderem durch Tiefe, Stress und erhöhte Einatemwiderstände getriggert wird. Die Analyse des Atemgases ergab zudem einen gegenüber der Norm deutlichen erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt (> 60 % der Norm). In der kritischen Analyse des Gesamtgeschehens wird sich dies zwar nicht signifikant auf die Atemfrequenz ausgewirkt haben, ergibt aber einen Hinweis

darauf, dass die Bedingungen der verwendeten Füllanlage zu einer unzulässigen Kontamination mit CO₂ geführt haben.

Unklar bleibt, wieso man nach intensiver Ermittlungsarbeit und Erörterung tauchtechnischer und tauchphysiologischer Fragestellungen mit den DLRG-Tauchern sowie vor dem Hintergrund der technischen Analyse und der genannten Mängel zu dem Schluss kam, dass ein Unglücksfall durch höhere Gewalt vorlag. Die Einschätzung, dass sich der Verunfallte durch ein „eigenmächtiges Verhalten vorübergehend von der Gruppe entfernt hat und bei sich verschlechternden Sichtverhältnissen in Panik geraten ist“, wirkt vor allem vor dem Hintergrund konstruiert, wie schnell man sich unter Wasser bei einer akuten und drastischen Sichtverschlechterung, wie es bei der Entstehung einer Kreidewolke der Fall ist, akzidentell aus den Augen verlieren kann.

Die Frage nach einem Fremdverschulden ist für diesen Fall nicht eindeutig zu klären, jedoch sicherlich nicht ganz von der Hand zu weisen. Auch wenn eine angemessene Ratio Tauchlehrer/Tauchschüler vorlag kann über eine mangelnde direkte Supervision in einer komplizierten Ausbildungssituation diskutiert werden, ebenso über eine versäumte Planänderung bzw. versäumten Abbruch nach plötzlich entstandener, die Sicht nehmender, Kreidewolke. Anstatt zuzuwarten oder einen alternativen Tauchgang durchzuführen, wurde bei minimaler Sicht in eine Umgebung ohne direkte Auftauchmöglichkeit abgetaucht. Ein Tauchgang unter schwierigen Bedingungen wie in diesem Fall am Rüttler sollte, wenn überhaupt, am Ende und nicht am Anfang der AOWD-Ausbildung stehen, insbesondere dann, wenn die bisherigen Tauchgänge in Warmwassergebieten stattfanden. Aus persönlicher Ortserfahrung der Autorin als Sporttaucherin ist für einen Tauchgang am und vor allem durch den Rüttler eine gewisse Erfahrung mitzubringen. Bei schlechten Bedingungen kann ein Tauchgang am Rüttler ohne Zweifel mit einem komplizierten Wracktauchgang verglichen werden, vor allem bei Sedimentaufwirbelung. Das Durchtauchen der Schütte kann aufgrund des mysteriösen Ambientes und seiner Enge für Anfänger beklemmend sein, was in Verbindung mit erhöhtem Einatemwiderstand in Panik resultieren kann. Bei schlechten Sichtverhältnissen und ohne Ortskenntnis können gerade Anfänger die Orientierung verlieren. Auch hierzu liegt eigene Erfahrung vor, bei der der Ausgang der Schütte ohne den sehr qualifizierten Guide bei einer Sicht unter 2 m nur schwer zu finden gewesen wäre. Bei der Überlegung, wieso ein AOWD-Anwärter bereits bei einem der ersten Tauchgänge durch den Rüttler geleitet wird, sollte bedacht werden, dass der Verunfallte offenbar stark darauf gedrungen hat, diesen speziellen Tauchgang zeitnah durchzuführen. Dieser Fall ist auch ein Beispiel für den Trend der letzten Jahre, in kurzer Zeit eine hohe formale Qualifikation und viele Spezialbrevets zu forcieren, ohne dabei auf eine langjährige Praxis und Erfahrung mit der Handhabung von Komplikationen, also eine tatsächliche Qualifikation, zurückgreifen zu können. Gleichwohl bleibt für die durchführenden Ausbilder immer die Verpflichtung zur Entscheidung mit Augenmaß.

Unklar bleibt, warum das Mängel aufweisende Ergebnis der technischen Analyse von Ausrüstung und Atemgas in der Ermittlung zu keinen Konsequenzen führte, sondern im Ermittlungsbericht erwähnt wird, dass keine Funktionsmängel an der Ausrüstung festgestellt worden seien. Der schwergängigere Atemregler ist als deutlicher direkter Ausrüstungsmangel zu bewerten. Auch diesbezüglich ist ein Fremdverschulden nicht einfach auszuschließen. Da es sich um einen geliehenen Atemregler der

Tauchschnule handelte, wäre eine weitere Untersuchung zusätzlich von großer Relevanz für zukünftige Kunden der Tauchschnule, da es zu weiteren fatalen Komplikationen kommen könnte. Auch Atemgas, das qualitativ nicht den Regelungen entspricht, ist ein grundsätzlicher Mangel, für das der Betreiber der Füllanlage zur Verantwortung gezogen werden sollte. Bei Nachweis auf eine Verunreinigung der Atemluft muss eine Untersuchung des Kompressors und der gesamten Füllanlage durchgeführt werden. Unabhängig von der ursächlichen Relevanz für diesen Fall können durch den Nachweis gegebenenfalls bestehender Defekte an Kompressor und Füllanlage bis hin zu Bedienfehlern beim Betrieb weitere mögliche fatale Ereignisse verhindert werden, für die es weltweit entsprechende Fallbeispiele gibt. Die Ergebnisse der technischen Analyse können unter Umständen auch von straf- und zivilrechtlicher Relevanz sein.

Auslöser	Verstärkende Faktoren
Orientierungslosigkeit und Einschluss bei schlechter Sicht	„Stress-Angst-Panik“
Schädigungsmechanismus	unbekanntes technisches Tauchobjekt
Essoufflement	ungewohnte Wassertiefe
Gesundheitliche Schädigung	durch technisches Problem deutlich erhöhter Einatemwiderstand des Atemreglers
Handlungs-/Bewusstlosigkeit	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 6: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 1

4.2.2 Fall 2

Es handelt sich um den Fall eines 32-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Tieftauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Angaben zur medizinischen Vorgeschichte, zur Substanzanamnese und Tauchtauchtauglichkeit lagen nicht vor. Nach Angabe der Angehörigen ging der Verunfallte seit drei Jahren dem Tauchsport nach. Er sei als PADI Divemaster qualifiziert und würde den Tauchlehrerschein anstreben. Charakterlich sei er ein eine Führungsposition bekleidender Mensch, „erfolgsgewohnt“ und „risikobereit“. Er kenne keine Angst und sei von stabiler kräftiger Persönlichkeitsstruktur. Eine Brevetkarte als Nachweis für seinen Ausbildungsstand war im Logbuch nicht enthalten, jedoch wurden die Ausbildungen zum AOWD und Divemaster im Logbuch vermerkt.

Tauchgangspezifische Befragung

Am Unfalltag im März betrug die Außentemperatur 8 bis 10°C. Die Wassertemperatur betrug an der Oberfläche 6°C, in der Tiefe 4°C. Der Verunfallte hatte sich am Tag des Ereignisses mit einem Bekannten zum Tauchen verabredet,

den er durch den Tauchsport in Hemmoor kannte und mit dem er zuvor dreimal gemeinsam getaucht hatte. Für den Verunfallten war es der 98. Tauchgang. Angaben zur Brevetierung des Tauchpartners lagen ebenso wenig vor wie eine detaillierte Auflistung der Ausrüstungsteile oder Angaben zum Atemgas. Die Ermittlung ergab, dass der Verunfallte eine Tauchflasche ohne separat verschließbare Ventile verwendete sowie einen Atemregler mit zwei zweiten Stufen: Lungenautomat und Oktopus. Ein Zweitatemregler wurde nicht verwendet. Der Tauchpartner berichtete, dass der Verunfallte einen Trockentauchanzug, ein Jacket, einen Tauchcomputer, Tiefenmesser, Flossen und Maske, sowie Handschuhe und einen Bleigürtel getragen habe. Geplant sei ein Tauchgang zu den Betonbomben gewesen, welche sich in 42 m Tiefe befanden. Man habe vereinbart, nicht tiefer als 40 m tauchen zu wollen.

Der Tauchpartner schildert in seiner Vernehmung den Ablauf der Ereignisse: Man habe die Ausrüstung kontrolliert und sei dann bis zur Boje über den Betonbomben geschwommen. Hier sei man dann in etwa 1,5 min bis 40 m abgetaucht. Die Sicht betrug etwa 8 m. Man habe sich erst wenige Minuten auf 40 m aufgehalten, als der Verunfallte plötzlich entgegen der vorherigen Vereinbarung kontinuierlich in die Tiefe tauchte. Der Tauchpartner habe versucht, ihm zu folgen, habe ihn jedoch erst auf einer Tiefe von 51 m einholen können. Er habe sein Verhalten als „ungewöhnlich“ empfunden. Nach Einholen des Verunfallten wurde diesem durch den Tauchpartner das Zeichen zum Auftauchen gegeben. Der Verunfallte sei dem Partner daraufhin sofort gefolgt. Kurz darauf signalisierte er jedoch mit horizontalen Bewegungen in Höhe seines Halses das Zeichen, dass er keine Luft mehr habe. Der Tauchpartner habe ihm seinen Oktopus gereicht, welchen der Verunfallte verwendete. Er habe dabei „weit aufgerissene Augen“ gehabt und nicht auf das abgefragte „OK“-Zeichen reagiert. Man sei dann unter Kontrolle des Tauchpartners gemeinsam auf 37 m Tiefe aufgestiegen. Der Verunfallte muss nach Einschätzung des Partners zu dieser Zeit sehr schnell geatmet haben, da er auf 51 m noch 140 bar, auf 37 m Tiefe nach Abgabe seines Oktopusses an den Verunfallten dann nach kurzer Zeit nur noch 60 bar in seinem eigenen System festgestellt habe. Bis zum Erreichen der 37 m habe der Verunfallte keinerlei weitere Reaktionen gezeigt. Bei 37 m Tiefe habe der Verunfallte dann plötzlich wild um sich geschlagen, was der Tauchpartner als Panik interpretiert habe. Der Tauchpartner habe dem Verunfallten daraufhin den Oktopus in den Mund gedrückt, damit dieser ihn nicht verlieren konnte. Man habe dabei an Auftrieb verloren und heftig mit den Flossen nachgeholfen. Den Inflator des Verunfallten habe der Partner in dieser Situation nicht erreicht, ebenso nicht dessen Bleigurt. Als der Verunfallte schließlich versucht habe, seinem Tauchpartner dessen eigenen Lungenautomaten aus dem Mund zu ziehen, entwickelte sich nach Aussage des Tauchpartners ein Kampf. Da der Verunfallte immer wieder zielgerichtet nach dem Mundstück des Tauchpartners gegriffen habe und man zudem mehr Abtrieb bekommen hätte, habe der Partner beschlossen, sich aus der nun auch für ihn als lebensbedrohlich eingeschätzten Situation zu befreien und allein aufzutauchen. Der Verunfallte sei dabei unter ihm zurückgeblieben.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Der Tauchpartner forderte schnellstmöglich Hilfe an. Außer Tauchern der Feuerwehr und der DLRG beteiligten sich auch private Taucher an der Suche. Zwei von ihnen fanden den Verunfallten in Rückenlage auf 51,6 m Tiefe, ca. 20 m von den Betonbomben entfernt in Richtung Seemitte. Der Verunfallte habe keine Luft im Trockentauchanzug und im Jacket gehabt. Die Flasche habe einen Restdruck von

165 bar gehabt. Der Atemregler habe sich nicht im Mund befunden. Der Verunfallte wurde geborgen und mit einem Boot an Land gebracht. Der Tod wurde durch einen Not- und Taucherarzt festgestellt.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Nach Feststellung des Todes und Transport des Leichnams in die Leichenhalle erfolgte dort in Anwesenheit des Not- und Taucherarztes die Leichenschau. Es wurde ein Schaumpilz vor Mund und Nase beschrieben. Nach der Fotodokumentation wurden Taucherbrille und Tauchanzug entfernt. Auffällig gewesen seien stark betonte Gefäße im Bereich des Halses und oberen Thorax. Hier zeigte sich auch eine rotviolette Verfärbung. Eine Leichenstarre lag noch nicht vor. Äußere Verletzungen und Hinweise auf Fremdverschulden lagen nicht vor. Seitens des Arztes wurde die Vermutung eines Ertrinkungstodes infolge einer Vereisung des Atemreglers geäußert.



Abb. 8: Schaumpilz als äußerer Hinweis eines Ertrinkungstodes (Fallbeispiel 2)

Weiteres Vorgehen

Es erfolgte eine Sicherstellung des Tauchgeräts und Logbuchs. Eine technische Analyse wurde veranlasst.

Untersuchung der Tauchausrüstung und der Atemgase

Ein Mitarbeiter der Tauchbasis inspizierte im Verlauf die Ausrüstungen des Verunfallten und die seines Partners. Beide Taucher seien ohne getrennt absperrbare Ventile getaucht. Das Flaschenventil des Verunfallten war vollständig offen. Der Inflator des Jackets des Verunfallten sei schlecht zu bedienen, der Lungenautomat des Verunfallten habe sehr schwer Luft abgegeben, ebenso wie sein Oktopus. Der Mitarbeiter nahm auch Stellung zu möglichen Unfallursachen und

Abläufen. Eine Vereisung hielt er für unwahrscheinlich, da der Automat nicht abblies und ein Restdruck von 165 bar bestand. Vielmehr hielt er einen Tiefenrausch für möglich, da der Verunfallte dem Bericht seines Partners zufolge nicht auf Zeichen reagierte, panisch atmete und initial unkontrolliert in die Tiefe tauchte. Er riet den Ermittlern, einige Punkte abzuklären, vor allem ob ein Materialversagen vorlag, oder auch eine unsachgemäße Flaschenfüllung. Es wurden insbesondere eine Atemgasanalyse sowie eine Untersuchung von Atemregler und Tauchanzug empfohlen. Auch ein Fremdverschulden könne nicht ausgeschlossen werden.

Im weiteren Verlauf der Ermittlung beschäftigte man sich mit der Gerätebeschreibung der ersten Stufe Typ Mares® MR 12 des Verunfallten. Diese gab an, dass die erste Stufe nicht für Kaltwassertauchgänge zugelassen war. Die Beschreibung enthielt Warnhinweise zu einer Vereisung bei Verwendung bei unter 7°C. In 43 m Tiefe liegt die Umgebungstemperatur jahreszeitenunabhängig um die 4°C.

Die weiteren Ermittlungen festigten den Verdacht auf eine stattgehabte Vereisung als Ursache des tödlichen Tauchunfalls, auch auf Basis der Vermutungen des Tauchpartners und des Not- und Taucherarztes. Hinweise für ein Fremdverschulden lagen nicht vor.

Nach weiterer Auseinandersetzung mit der Thematik entschloss man sich schließlich zu einer genaueren Analyse von Tauchgerät und Atemgas. Von einer Sektion wurde an dieser Stelle „Abstand genommen, da der Tod auch bei verunreinigter Luft durch Ertrinken eingetreten“ sei.

Das Tauchgerät des Verunfallten wurde zur Analyse einer Spezialfirma für Tauch- und Beatmungstechnik zugesandt. Untersucht wurden der Atemregler mit dem Druckminderer (erste Stufe), der zweiten Stufe (Lungenautomat) und dem Oktopus (Notfall-Atemsystem) sowie das Jacket und die Atemgasflasche. An Prüfprozeduren wurden folgende Maßnahmen durchgeführt: 1) Veratmung mit 2,5 L x 25 Atemzüge/min = 62,5 L/min unter simulierter Tauchtiefe von 50 m Süßwasser bei jeweils 50 bar und 190 bar Flaschendruck, Messung des Atemwiderstandes. 2) Prüfung der Luftlieferleistung bei Drücken des Luftduschenknopfes. 3) Mitteldruckprüfung bei verschiedenen Flaschenvordrücken. 4) Dichtprüfung des Tariermittels. 5) Befüllungszeit des Tariermittels bis zum Ansprechen des Überdruckventils. 6) Atemluft in der Druckgasflasche.

Bezüglich der Atemwiderstände zeigten sich keine Auffälligkeiten. Allerdings fielen Mängel in Bezug auf die Luftlieferleistung beider zweiter Stufen beim Betätigen der Luftdusche auf. Der Mitteldruck zeigte keine Auffälligkeiten, ebenso wenig die Dichtheitsprüfung und Füllzeit des Tariermittels. In der Untersuchung der Atemluft in der Tauchflasche zeigte sich bezüglich der Luftfeuchte ein erhöhter Wert (68,4 mg/m³ statt NW < 50), was bei einem erhöhten Flow, der durch Tauchtiefe, Kälteeinwirkung auf den Taucher, Stress oder Panik verursacht sein kann, eine Vereisung des Lungenautomaten begünstigt. Der Untersucher erläuterte, dass bei einer Befüllung von 200 bar bei der Abnahme von Atemgas enorme Kälte auftritt. Im Zusammenspiel mit niedriger Wassertemperatur könne eine zu hohe Feuchte des Atemgases zu einer Vereisung führen. Diese könne dabei zu einem Abblasen des Systems führen oder dazu, dass keine Luft mehr abgegeben wird. Vermutet wurde, dass die Entfeuchtung der Kompressorluft vor Befüllen der Flasche nicht korrekt war.

Gasart	gefundenen Wert / Prüfmittel	Sollwert nach DIN-3188
Sauerstoff	20,5 Vol% Multiwarn 20,2 Vol% nach DAB10	Der Sauerstoffgehalt liegt im entspannten Zustand zwischen 20 und 21 Vol%.
Kohlenmonoxid	2 ppm Kohlenstoffmonoxid 5a/P ARFL-0071	Sollwert: <30ppm
Kohlendioxid	250ppm Kohlendioxid 100a/P ARHB-0191	Der Kohlendioxidgehalt darf für Druckluft nach DIN 3188 nicht >800 ppm betragen
Feuchte	68,4mg/m ³ bzw. Taupunkt bei -45°C Hygrolog	bei 200bar: <50mg/m ³ bei 300bar: <35mg/m ³
Restfett	<0,3mg/m ³ ÖL 10a/P ARKJ-0102	

Abb. 9: Beispiel einer Atemgasanalyse mit einem erhöhten Wert für die Luftfeuchte anhand der Werte in Fallbeispiel 2

Daraufhin wurde die Tauchbasis aufgesucht, bei der der Verunfallte regulär seine Tauchflaschen füllen ließ. Eine entsprechende Flaschenfüllkarte befand sich im Logbuch. Umfangreiche Ermittlungen in der Füllstation erbrachten jedoch keine Unregelmäßigkeiten. Laut Abschlussbericht konnten Prüfprotokolle über die Kompressorenanlage deren technisch einwandfreie Funktion belegen. Sämtliche Vorgaben zur Wartung seien eingehalten worden. Eine aktuelle Luftanalyse fand allerdings nicht statt. Es konnte nicht eindeutig geklärt werden, an welchem Ort der Verunfallte seine Flasche vor dem Tauchgang tatsächlich füllen ließ, obwohl bezüglich dieser Frage intensiv ermittelt wurde. Die Frage eines Fremdverschuldens konnte somit nicht zufriedenstellend geklärt werden.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils und des Logbuchs

Anhand der gespeicherten Daten wurde vom Mitarbeiter der Tauchbasis eine Übersicht der letzten Tauchgänge erstellt. Auffällig sei gewesen, dass alle zuletzt gespeicherten Tauchgänge in deutlich geringeren Tiefen stattgefunden hätten. Das Logbuch gebe Anhalt auf 97 absolvierte Tauchgänge, zumeist oberhalb von 25 m Tiefe, viele davon im Hemmoorsee. Der Mitarbeiter gab zu bedenken, dass man sich an das Tauchen in größeren Tiefen gewöhnen müsse, weil es sonst zu einem Tiefenrausch kommen könne. Es fanden sich im Logbuch allerdings auch vier eingetragene Tauchgänge zu den Betonbomben auf 45 m.

Bei immerhin zwei vorherigen Tauchgängen dokumentierte der Verunfallte in seinem Logbuch ein Abblasen bei Vereisen des Atemreglers (Tauchgänge Nr. 24 und 80). Ein Verwandter erinnerte sich gegenüber den Ermittlern an einen Bericht des Verstorbenen, ihm sei bei einem Tauchgang auf 12 m Tiefe der Automat vereist und er habe aufgrund der geringen Tiefe glücklicherweise sofort auftauchen können.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Die Ermittlungen resultierten in der Feststellung, der „Lungenautomat“ des Verunfallten sei aufgrund kalter Umgebungstemperaturen und hohem Luftdurchsatz bei Panik vereist. Das Verfahren wurde bei fehlendem Anhalt auf Fremdverschulden eingestellt. Ursächlich sei ein Unglücksfall durch höhere Gewalt, eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich.

Beurteilung

In Bezug auf die allgemeine Anamnese ist der Informationsgehalt dürftig. Angaben zur medizinischen Vorgeschichte, zur Substanzanamnese und Tauchtauglichkeit lagen nicht vor. Ein Eindruck über die medizinische Vorgeschichte wäre zur differentialdiagnostischen Beurteilung des Falls wäre wünschenswert gewesen. Aus diesem Grund sollte in jedem Fall eines tödlichen Tauchunfalls zur umfassenden Klärung der Todesursache und gesundheitlichen Schädigung eine Sektion erfolgen. Hier wären Vorgeschichte, Tauchtauglichkeitsuntersuchung und Sektion vor allem deshalb von Interesse, um Differentialdiagnosen abzuklären, die das initial inadäquate Verhalten des Verunfallten erklären könnten. Auch wenn diesbezüglich als primäre Verdachtsdiagnose ein stickstoffbedingter Tiefenrausch naheliegt, müssen dennoch neurologische Differentialdiagnosen, Stoffwechselerkrankungen oder andere zur Orientierungslosigkeit und Handlungsunfähigkeit führende akute oder vorbestehende gesundheitliche Ereignisse ausgeschlossen werden. Seitens der Angehörigen wurde beim Verstorbenen ein risikobereites, teils enthemmtes Verhalten beschrieben. Hinter einer solchen vermeintlichen Charaktereigenschaft kann sich auch ein hirnanorganischer Prozess verbergen. In einigen Fällen tödlicher Tauchunfälle fanden sich bei der Sektion als Ursache eine zerebrovaskuläre Erkrankung oder eine maligne Neoplasie [5]. Auch ein chemisch-toxikologisches Gutachten mit Untersuchung auf Drogen und sedierende Medikamente wäre von Interesse gewesen.

Die im Rahmen der Ermittlung geäußerten Überlegungen sowie in Bezug auf einen stattgehabten Tiefenrausch als auch auf eine Vereisung des Atemreglers werden grundsätzlich geteilt. Wahrscheinlich haben beide Faktoren in Kombination und Verstärkung zu dem fatalen Ausgang geführt. Die wahrscheinliche Kausalkette ist hierbei: Ein Tiefenrausch (oder eine gewisse Risikobereitschaft) führt zum Abtauchen auf 51 m, wo es möglicherweise als verstärkender Faktor zu technischen Problemen mit dem Atemregler aufgrund von Schwergängigkeit bei erhöhtem Atemwiderstand und/oder Vereisung des Atemreglers mit nachfolgender „out of air“-Situation und Panik kommt. Folglich kommt es zur Orientierungs-/Handlungsunfähigkeit und zum Ertrinken.

Für einen Tiefenrausch spricht das vom Tauchpartner geschilderte Verhalten des Verunfallten in Form eines plötzlichen unkontrollierten Abtauchens ohne weitere Kommunikation, entgegen des gemeinsam vereinbarten Tauchplans. Zwar ist ein akzidenteller Abstieg oder eine bewusste Handlung aufgrund des beschriebenen risikobereiten und furchtlosen Charakters des Verunfallten nicht ausgeschlossen. Von einem Divemaster mit Ambitionen zum Tauchlehrer ist jedoch anzunehmen, dass er sich bei klarem Verstand seinem Tauchpartner gegenüber verantwortungsbewusst verhalten würde.

Der Tauchgang fand offensichtlich mit Pressluft als Atemgas statt. Bei einem Tauchgang ab 40 m ist Pressluft nicht mehr das ideale Atemgas. Bereits ab einem

pN₂ von 4 bar können erste signifikante Anzeichen einer beginnenden Stickstoffbeeinträchtigung auftreten, die vom Betroffenen subjektiv nicht wahrgenommen werden. Mit größerer Tiefe und damit steigendem Stickstoffpartialdruck steigt zunehmend auch die narkotische Potenz. Die Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeit verschlechtert sich zunehmend. Diverse Faktoren können das Auftreten eines Tiefenrausches begünstigen, wie Stress, Angst, Erschöpfung und Kälte. Auch schnelles Abtauchen begünstigt die Beeinträchtigungen durch Stickstoffnarkose, was hier mit einem steilen Abtauchvorgang in 1,5 min auf 40 m Tiefe der Fall gewesen ist.

Der Ermittlungsbericht weist darauf hin, dass der Verunfallte wenig Erfahrung mit Tieftauchgängen hatte. In seinem Logbuch waren 13 Tauchgänge mit Tiefen unterhalb von 30 m vermerkt, der letzte davon gut zwei Monate vor dem Unfall. Vier Tieftauchgänge hatten an den Betonbomben stattgefunden mit maximalen Tiefen von 45 m. Diese Tauchgänge waren offensichtlich problemlos verlaufen. Umso mehr ist von Interesse, warum es bei diesem letzten Tauchgang zu einem Tiefenrausch kam. Deswegen rücken abgesehen vom schnellen Abtauchen alle potenziell verstärkenden Faktoren vermehrt in den Fokus. Anamnestisch wären Erkenntnisse zu Faktoren wie Stress, Schlafmangel, sowie eine Substanzanamnese von Bedeutung. Ein chemisch-toxikologisches Gutachten wäre in Hinblick auf die verstärkenden Einflüsse mancher Medikamente oder Rauschmittel auf den Tiefenrausch erforderlich gewesen. Die vier bisher durchgeführten Tieftauchgänge im Hemmoorsee hatten im April, Mai und Oktober stattgefunden. Da die Temperatur auf Seegrund generell bei ca. 4°C liegt, kann die Kälte in diesem Fall als Verstärkungsfaktor eingewirkt haben. Stickstoffbedingte Beeinträchtigungen treten nicht regelhaft auf. Sie sind von vielen individuellen und intraindividuellen Faktoren abhängig. Eine Toleranzentwicklung durch repetitive Exposition gegenüber erhöhtem Stickstoffpartialdruck findet dabei entgegen seit Jahrzehnten und weit verbreiteten „Taucherglaubens“ nicht statt. Eine scheinbare Toleranzentwicklung ist tatsächlich ein Gewöhnungseffekt im Sinne eines Copings gegen beginnende oder deutlichere Rauschzustände. Die gültige wissenschaftliche Erklärung für das Phänomen der Stickstoffnarkose ist die druck-assoziierte spezifische Proteinbindung des Inertgases an Membranrezeptoren und Ionenkanäle des Zentralen Nervensystems mit Beeinträchtigung der Neurotransmission. [105, 108, siehe auch Kapitel 3.7.1]

Der Tauchpartner beschreibt, der Verunfallte habe in der Tiefe „weit aufgerissene Augen“ gehabt und nicht auf das „OK“-Zeichen reagiert. Beim gemeinsamen Aufstieg habe er bis zu einer Tiefe von 37 m kaum Reaktion gezeigt, danach plötzlich wild um sich geschlagen. Mit fallendem Umgebungs- und somit Inertgaspartialdruck kann es zum Abklingen der groben subjektiven Symptome kommen [1 Kap. 18]. Seit einigen Jahren gibt es signifikante Hinweise, dass es mindestens über 30 min eine „hang-over“ Nachwirkung gibt, die sich insbesondere als Einschränkung der höheren zerebralen Funktionen manifestiert, die allerdings unterhalb der subjektiven Diskrimination ablaufen (siehe Balestra et al. [105] sowie Kapitel 3.7.1). Möglich ist also, dass sich der Verunfallte in 51 m Tiefe in einem fortgeschrittenen Stadium der Stickstoffnarkose befand, deren größere Auswirkungen mit dem Aufstieg und somit dem Sinken des Stickstoffpartialdrucks nachließen. Dann, immer noch handlungseingeschränkt geriet der Verunfallte infolgedessen und die Situation nicht adäquat einschätzend möglicherweise in Panik. Alternativ oder parallel triggerte ein weiteres Problem die Panikentstehung, beispielsweise der Versuch der Atmung über den Oktopus des Tauchpartners. Über die Ausrüstung des Tauchpartners liegen nur

ungenügende Informationen vor. Sie wurde auch nicht analysiert, so dass keine Informationen über einen eventuellen technischen Mangel vorliegen. Eine Analyse der Ausrüstung des Tauchpartners wäre von großer Relevanz gewesen, da der Verunfallte zuletzt aus dem System des Tauchpartners geatmet hat, möglicherweise frustriert. Darüber, dass der Verunfallte in Panik geriet, bestehen keine Zweifel. Sie führte zum fatalen Ausgang der bis dahin durch den adäquat reagierenden Tauchpartner kontrollierten Situation.

Offen bleibt, ob die durch den Verunfallten signalisierte „out of air“-Situation in 51 m Tiefe eine subjektive Dyspnoe als Folge des Tiefenrausches oder der erhöhten Atemwiderstände war, oder ob der Verunfallte tatsächlich kein Atemgas mehr bekam. Die letzteren beiden Szenarien sind dabei wahrscheinlicher. Auch wenn sich in der technischen Analyse kein erhöhter Atemwiderstand am Lungenautomaten nachweisen ließ, sprechen die initiale Prüfung des Atemreglers durch den Mitarbeiter der Tauchschiule mit Feststellung einer Schwergängigkeit und die Mängel in Bezug auf die Luftlieferleistung in der technischen Untersuchung für einen erhöhten Einatemwiderstand. Da sich nach Bergung noch Restdruck von 165 bar in der Flasche befand, wäre eine Erklärung für eine tatsächliche „out of air“-Situation entgegen der Einschätzung des Mitarbeiters der Tauchschiule ein Vereisen des Lungenautomaten, nämlich der zweiten Stufe. Eine zweite Stufe kann einfrieren und dabei zunehmend schwer bis gar keine Luft mehr abgeben, so dass trotz vorhandener Atemgasreserve kein Atemgas mehr zur Verfügung steht. Der Atemregler des Verunfallten war nachweislich nicht kaltwassertauglich, so dass die Nutzung im Kaltwasser eine Vereisung getriggert haben könnte. Die Gebrauchsanweisung weist ausdrücklich auf die Gefahr einer Vereisung bei Umgebungstemperaturen von weniger als 7°C hin. Eine Vereisung des verwendeten Systems wurde bereits für zwei frühere Tauchgänge dokumentiert. An einem Januartag sei es bereits auf 12 m zu einem Abblasen des Lungenautomaten gekommen, außerdem an einem Tag im August in 19 m Tiefe. Wenngleich der Unfallmechanismus in beiden Fällen ein anderer war als am Unfalltag, muss man bei mehrfachen kritischen Ereignissen mit einem Lungenautomaten aufmerksam werden und sämtlich mögliche technische Mängel ausschließen.

Es ist positiv zu bewerten, dass eine Analyse der Tauchausrüstung eingeleitet wurde. Allerdings wäre es erforderlich gewesen, dies einem öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen in Auftrag zu geben, der außer der Prüfung der Atemwiderstände auch einen Test auf Vereisung durchgeführt hätte. Nur dieses spezielle Verfahren kann in einer Druckkammer mit integrierter Prüfbank inklusive Wasserreservoir und -kühlung ein Vereisen des Lungenautomaten unter spezifischen Temperatur- und Druckbedingungen nachweisen [21]. Zu prüfen gewesen wäre abgesehen vom Lungenautomaten des Verunfallten auch der des Tauchpartners, da der Verunfallte zuletzt aus diesem geatmet hatte. Interessant ist die Diskrepanz zwischen der Feststellung der Schwergängigkeit des Atemreglers durch den Mitarbeiter der Tauchbasis und den Messungen des Atemwiderstands durch die Firma für Tauch- und Beatmungstechnik. Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch die initiale Untersuchung durch den Mitarbeiter der Tauchbasis ein bestehender Defekt am Atemregler akzidentell behoben wurde und somit später nicht mehr nachweisbar war. Immerhin wurden durch die Firma für Tauch- und Beatmungstechnik Mängel in Bezug auf die Luftlieferleistung des Lungenautomaten gezeigt. Unter dem genannten Aspekt ist der Fall beispielhaft dafür, dass vor Ort nicht an der Ausrüstung manipuliert werden sollte, insbesondere nicht durch Betätigung der Luftdusche, um

eventuelle Fremdkörper oder Verklemmungen dadurch nicht zu entfernen und Indizien zu vernichten, bevor es zur Analyse durch einen Sachverständigen kommt. Keine Beachtung in der technischen Analyse fand der Trockentauchanzug, dessen Ventilstellung von Interesse gewesen wäre, da sich bei Bergung keine Luft im Trockentauchanzug befand.

Der Verunfallte war offensichtlich negativ tariert. Der Tauchpartner vermutete, dass er bis zum Beginn der Panik durch Flossenschlag aktiv beim Aufstieg mitgeholfen habe, da es mit Beginn des Kampfes um den Lungenautomaten des Tauchpartners zum Abtrieb kam. Nach der Selbstrettung des Tauchpartners kam es zum Absinken des Verunfallten in die Tiefe. Ob die negative Tariierung dem Tiefenrausch zuzuschreiben ist und in Panik nicht korrigiert wurde oder ob von vornherein eine falsche Tariierung mit Überbleiung bestand bleibt spekulativ. Relevant ist auf jeden Fall die erhöhte körperliche Belastung des Tauchers durch starken Flossenschlag gegen Abtrieb.

Als Todesursache kann ein Ertrinkungstod angenommen werden, wofür der in der Leichenschau dokumentierte Schaumpilz spricht. Allerdings bleibt auch dies ohne Sektion unklar.

Auslöser	Verstärkende Faktoren:
Tieftauchgang auf 51 m mit inadäquatem Atemgas	Ggf. erhöhte Einatemwiderstände am Lungenautomaten und/ oder Vereisung des Lungenautomaten auf 37m mit „out of air“-Situation
Schädigungsmechanismus	
Tiefenrausch	
Gesundheitliche Schädigung	Panik
Orientierungs-/Handlungsunfähigkeit	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 7: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 2

4.2.3 Fall 3

Es handelt sich um den Fall eines 32-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Tieftauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Vorerkrankungen waren nicht bekannt. Ein Verwandter berichtete jedoch, der Verunfallte sei einige Tage zuvor im Kreis der Familie „plötzlich eingeschlafen“, während er etwas erzählte. Eine Erklärung für diesen Vorfall habe es nicht gegeben. Angaben zu einer Substanzanamnese lagen nicht vor. Es lag eine Tauchtauglichkeitsuntersuchung nach GTÜM-Richtlinien vor, wenngleich mit unvollständiger Lungenfunktionsuntersuchung. Logbuch und Taucherpass ergaben,

dass der Verunfallte wenige Wochen zuvor im Mittelmeer das silberne Tauchsportabzeichen (CMAS**) erhalten hatte. Aus diesem Urlaub sei ihm einer der beiden Tauchpartner bekannt gewesen. Er hatte fünf Monate zuvor mit dem Tauchen begonnen und seitdem 57 Tauchgänge absolviert, etwa ein Drittel davon im Hemmoorsee. In zwei Tauchgängen wurden Tiefen über 40 m erreicht, sonst habe er meist in Tiefen von 20 bis 30 m getaucht. Es lagen Zusatzbrevets vor, wie „Orientierung beim Tauchen“, und „Nachttauchen“. Das Tauchlogbuch wies etwa 25 Tauchgänge zur Übung von Orientierung unter Wasser und Tarierung, sowie zur Gruppenführung auf, jeweils in der Ostsee und im Hemmoorsee. Unter Bekannten habe der Verunfallte als erfahrener Taucher gegolten.

Tauchgangspezifische Befragung

Über die Wetterbedingungen an diesem Septembertag lagen keine Angaben vor. Die Wassertemperatur lag zwischen 8°C und 4°C (Seegrund). Offensichtlich herrschten schlechte Sichtverhältnisse (siehe Abschnitt „Anamnese/Angaben bzgl. Bergung“).

Der Verunfallte führte den Tauchgang mit zwei Tauchpartnern durch. Tauchpartner 1 gab in der Befragung an, man habe sich zu dritt am Hemmoorsee eingefunden, um sich auf die CMAS***/Gold-Prüfung vorzubereiten. Hierzu müsse man 10 Tauchgänge unterhalb von 40 m Tiefe nachweisen.

Der Tauchpartner verwendete seine eigene Ausrüstung, über die Tauchpartner und Verwandte zu berichten wussten, dass einige Teile gebraucht gekauft und „recht günstig“ gewesen waren. Eine Dokumentation der Ausrüstungsteile wurde im Rahmen der Leichenschau durchgeführt. Der Verunfallte verwendete gemäß Fotodokumentation einen Halbtrockentauchanzug. Über den Ort der Flaschenfüllung wurden keine Angaben gemacht, ebenso wenig über das verwendete Atemgas. In den Zeugenaussagen ist von „Luft“ die Rede, so dass von Pressluft ausgegangen werden kann.

Auf die Frage nach Alkoholkonsum gaben beide befragten Tauchpartner an, nichts am Tage des Ereignisses oder am Vorabend konsumiert zu haben. Bezüglich des Verunfallten konnte hierzu keine Aussage gemacht werden.

Die Befragung des Tauchpartners 1 ergab, dass sich die drei Taucher nach der Überprüfung der Ausrüstung am Einstieg 1 ins Wasser begeben hatten und an der Oberfläche schnorchelnd zum Ponton oberhalb des Rüttlers geschwommen sind. Dann sei man auf 19 m Tiefe auf Höhe der Brücke über dem Rüttler abgetaucht. Nach gegenseitigem Signalisieren des „OK“-Zeichens sei man durch die Schütte des Rüttlers auf dessen Grund und auf 26 m, dann auf 30 m abgetaucht. Bis dorthin habe man rund 7 min benötigt. Es sei dann erneut ein kurzer Check durchgeführt worden. Man habe sich einvernehmlich zum weiteren Abtauchen entschlossen. In der elften Minute nach Abtauchen habe man die Treppe am Rüttler auf 41 m erreicht, wo ein größerer „Sicherheitscheck“ einschließlich gegenseitiger Abfrage der Luftvorräte erfolgt sei (siehe Marke „1“ in der Profilüberlagerung in Abb. 13). Alle hätten das „OK“-Zeichen gegeben. Das Finimeter des Tauchpartners 1 habe zu diesem Zeitpunkt jedoch nur noch 90 bar angezeigt, so dass man sich zur Umkehr entschlossen habe. Der Tauchpartner 1 berichtet, man sei dann unbeabsichtigt noch weiter auf 45,5 m abgesackt (Marke „2“), bevor man langsam den Aufstieg beginnen konnte. In der 16. Minute des Tauchgangs habe der Verunfallte dann auf 36,5 m plötzlich nach dem Jacket des Tauchpartners 1 gegriffen und sich festgehalten

(Marke „3“). Man sei erneut auf 47 m abgesackt (Marke „4“), da der Verunfallte den Tauchpartner „mit runterzog“. Beide hätten durch vermehrten Flossenschlag versucht, ein weiteres Absinken zu verhindern, dabei jedoch Sediment aufgewirbelt und die Sicht dadurch stark verschlechtert. Die Sicht habe nur noch 20 cm betragen. Der Verunfallte habe dann plötzlich nach dem Lungenautomaten des Tauchpartners 1 gegriffen (Marke „??“). Der Tauchpartner 1 habe nach seinem Ersatzlungenautomaten gesucht (Marke „5“), um diesen zu beatmen und dem Verunfallten seinen Hauptautomaten zu überlassen. Den Verunfallten habe er hierzu kurz loslassen müssen, woraufhin dieser weiter abgesunken sei und der Tauchpartner 1 einige Meter nach oben geglitten sei. Er habe dem Verunfallten den Bleigewichtsgurt lösen wollen, sei jedoch nicht mehr an ihn heran gekommen und habe ihn aufgrund der schlechten Sicht anschließend aus den Augen verloren (Marke „6“). Da er nicht gewusst habe, wie weit es noch in die Tiefe ging, habe er sich daraufhin zu einem zügigen Auftauchen entschlossen, um Hilfe zu holen. Er beschreibt, anfangs „besonnen“ aufgetaucht zu sein, allerdings den vom Tauchcomputer geforderten Dekompressionsstopp von 5 min auf 3 m Tiefe ignoriert zu haben. Er sei einige Meter entfernt vom Ponton über dem Rüttler aufgetaucht, habe auf diesem den Tauchpartner 2 entdeckt und ihm zugerufen, dass er „in Deko“ sei und der Verunfallte noch unter Wasser. Der Tauchpartner 2 sei mit ihm dann erneut auf 3 m abgetaucht und habe gemeinsam mit ihm die Dekompression nachgeholt. Sein Luftvorrat sei an dieser Stelle fast aufgebraucht gewesen. Der Tauchpartner 2 sei noch einmal allein abgetaucht, um den Verunfallten zu suchen.

Der Tauchpartner 2 schildert in der Befragung den Ablauf bis zum Check auf 41 m Tiefe identisch zu Tauchpartner 1. Da dieser nur noch 90 bar im System gehabt habe, habe man sich zum Auftauchen entschieden. Der Verunfallte habe zu diesem Zeitpunkt noch 130 bar Restdruck gehabt. Er habe bemerkt, dass die beiden anderen anschließend etwas absanken und habe Luft in das Jacket des Tauchpartners 1 gelassen. Auf 37 m habe er sich während des Auftauchens noch einmal umgedreht und gesehen, dass die anderen beiden sich gegenseitig festhielten. Er sei davon ausgegangen, dass dies aus Sicherheitsgründen geschah, einen Anhalt für ein Problem habe es in seinen Augen nicht gegeben. Kurz darauf habe er sich erneut umgesehen und keinen der beiden mehr sehen können. Er habe ca. zwei Minuten gewartet und sei dann unter Einhaltung des erforderlichen Dekompressionsstopps aufgetaucht. Da er nach einigen Minuten viele Luftblasen im Bereich neben dem Ponton gesichtet habe, sei er erneut auf 19m abgetaucht. Hier sei er jedoch auf Taucher einer anderen Gruppe getroffen. Ohne Einhalten des Sicherheitsstopps habe er sich anschließend wieder an die Oberfläche begeben, wo er kurz darauf den Tauchpartner 1 gesichtet habe. Da dieser ihm signalisiert habe, keinen Dekompressionsstopp eingehalten zu haben, habe man sich gemeinsam auf 3 m Tiefe begeben, um diesen nachzuholen. Anschließend habe er erneut für einige Minuten auf 19 m Tiefe nach dem Verunfallten gesucht und habe dann nach erfolgloser Suche durch Winken vom Ponton aus Alarm ausgelöst.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Durch die Tauchbasis wurden im weiteren Verlauf Rettungskräfte angefordert. Die Suche nach dem Verunfallten durch mehrere DLRG-Tauchgruppen, die Tauchgruppe der Feuerwehr und diverse freiwillige Sporttaucher verlief am selben Tage ohne Erfolg. Es herrschten schlechte Sichtbedingungen, die eine systematische Suche verhinderten. Der Einsatz wurde somit für den Tag des Ereignisses abgebrochen und am Folgetag fortgesetzt. Hierbei wurde der Verunfallte

durch sich privat an der Suche beteiligte Taucher gefunden und geborgen. Die Leiche wurde auf 25 m Tiefe zwischen dem Rüttler und den Treppen gefunden. Sie sei aufgrund ausgeprägter Sedimentablagerung zunächst kaum zu sehen gewesen. Aus dem Sediment herausgeragt habe zu Anfang lediglich der gelbe Schlauch des Oktopusses. Der Körper habe auf dem Bauch gelegen mit nach unten angewinkelten Armen und ebenfalls leicht angewinkelten Beinen. Der Lungenautomat habe sich nicht im Mund befunden. Der Oktopus sei in der entsprechenden Tasche im Jacket verstaut gewesen. Im Tauchgerät habe sich ein Druck von 0 bar befunden. Das Jacket war entleert. Der Tauchcomputer habe einen „SOS-Modus“ angezeigt. Der Tod wurde durch einen Taucherarzt festgestellt.



Abb. 10: Links: Innerhalb der Taucherbrille zeigte sich ein Schaumpilz. Rechts: Entgegen der Regeln der Tauchbasis Kreidesee wurde nur ein Atemregler verwendet (Fallbeispiel 3)

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Die polizeiliche Leichenschau erfolgte noch am Ufer des Sees. Die Tauchausrüstung wurde entfernt und dokumentiert, lediglich der Neoprenanzug wurde aus „rechtsmedizinischen Gründen“ belassen. Aufgelistet wurden der Neoprenanzug, Jacket, Flossen, Neoprenhandschuhe, Taucherbrille mit Schnorchel, sowie Tauchcomputer, jeweils mit Nennung der Marken. Informationen zum Gewichtssystem und der mitgeführten Bleimenge bestanden nicht. Die Tauchflasche mit dem Atemregler war im Rahmen der Bergung entfernt worden. Der Körper des Verunfallten wurde als der eines 180 cm großen, kräftigen Mannes beschrieben. Es lag eine vollständige Leichenstarre vor. Innerhalb der Taucherbrille waren Teile eines Schaumpilzes vorhanden. Die Gesichtspartie war blau-lila verfärbt. Weitere Auffälligkeiten wurden nicht beschrieben. Es erfolgte anschließend die Verbringung der Leiche in die Räumlichkeiten des Bestattungsunternehmens.

Weiteres Vorgehen

Der Leichnam sowie die Tauchausrüstung wurden beschlagnahmt. Die Staatsanwaltschaft wurde um eine Entscheidung über einer Sektion gebeten.

Untersuchung der Tauchausrüstung

In der Untersuchung der Ausrüstung vor Ort durch einen Mitarbeiter der Tauchbasis fiel auf, dass kein kaltwassertaugliches System verwendet worden war. An die Tauchflasche montiert war ein Atemregler mit erster Stufe und zwei zweiten Stufen: dem Lungenautomaten und dem Oktopus. Der am Hemmoorsee vorgeschriebene Standard mit zwei separaten ersten Stufen wurde nicht eingehalten. Der vorliegende Atemregler (1. Stufe Scubapro® MK II, zweite Stufe Scubapro® R190, Oktopus

Aqualung® Spiro Arctic) sei zudem nicht kaltwassertauglich. Aufgrund von einer Häufung von Zwischenfällen bei der vorliegenden Automatenkombination war durch die Basis wenige Monate zuvor ein Schreiben an den Hersteller gerichtet und um Stellungnahme gebeten worden. In dem den Ermittlern vorliegenden Antwortschreiben bestätigt der Hersteller, der entsprechende Atemregler sei ein „preisgünstiger Einsteigerautomat, jedoch nicht für Kaltwasser und Tiefen über 30 m geeignet.“ Seitens der Tauchbasis wurde eine Vereisung des Automaten für möglich gehalten. Eine genauere Untersuchung der Ausrüstung durch einen offiziell bestellten und vereidigten Sachverständigen erfolgte nicht.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases erfolgte nicht.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Der Tauchcomputer des Verunfallten wurde durch einen über die entsprechende Software verfügenden Tauchlehrer ausgewertet.

Der Bericht des Untersuchers ergab: Bei 4°C kaltem Wasser wurde der Tauchgang zunächst mit einem Abstieg bis auf 19 m begonnen, nach kurzer Pause wurde dann bis auf 32 m getaucht. Nach einer zweiten kurzen Pause wurde bis 42 m abgetaucht. Hiernach zeigte der Computer ein Profil bis auf 47 m passend zu dem geschilderten unwillkürlichen Absacken. Nachfolgend zeigt das Tauchprofil einen langsamen Aufstieg bis auf 37 m. Ab Minute 16 zeigt sich anschließend ein erneutes Absinken bis auf 48,9 m. Nach kurzer Verweildauer auf dieser Tiefe zeigt das Profil ein sehr schnelles Auftauchen bis auf 38 m mit der Alarmierung durch den Computer bei Überschreiten der maximalen Aufstiegs geschwindigkeit. Der Aufstieg wurde danach bis auf 27 m langsamer fortgesetzt. Ab dieser Wassertiefe kam es erneut zu einer Beschleunigung der Aufstiegs geschwindigkeit mit erneutem Computeralarm. Nach kurzer Verlangsamung kam es hiernach zu einem sehr raschen Aufstieg bis auf 15 m Tiefe. An dieser Stelle bricht der Aufstieg abrupt ab und das Profil geht in eine stetig fallende Linie über. Das Absinken endet mit einer „Nulllinie“ mit Aufschlagen des Verunfallten auf Grund in 27,5 m Wassertiefe.

Vom Erreichen der Tauchtiefe von 48,9 m bis zum endgültigen Absinken zog sich der beschriebene Aufstieg mit den drei Aufstiegsalarmphasen über etwa 6 min hin.

Auf Basis der Aussage des Bergenden, dass bei Auffinden der Leiche keine Luft mehr im System gewesen sei und auch das Jacket entleert gewesen sei, wurden die letzte Minuten des Tauchprofils so interpretiert, dass der Verunfallte einen Notaufstieg mit minimaler Restluft begann, um dann auf einer Tiefe von 15 m weder Luft zum Atmen noch zum Herstellen eines Auftriebes übrig zu haben.

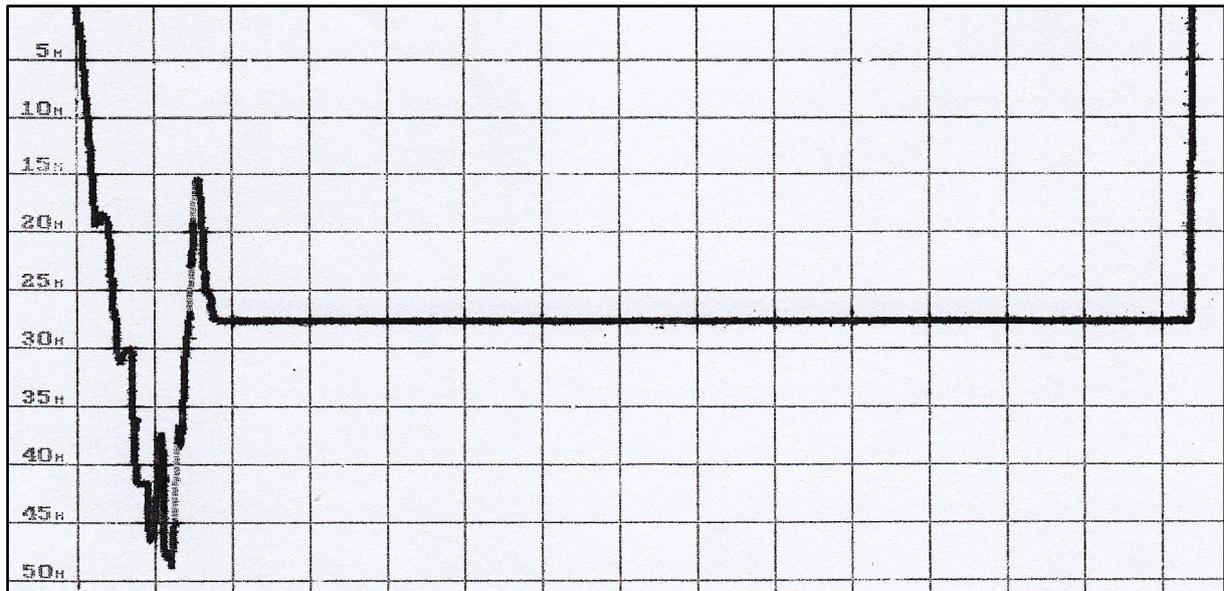


Abb. 11: Tauchprofil des Verunfallten (leider ohne Zeitachse)

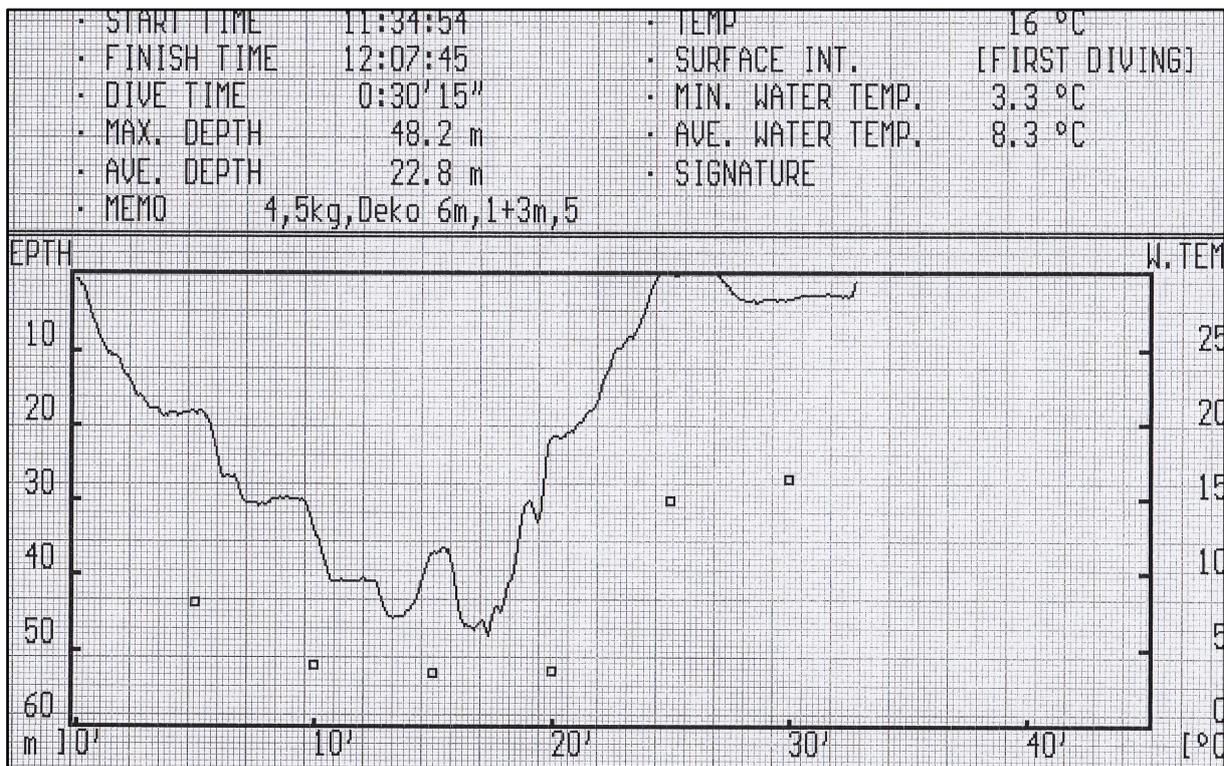


Abb. 12: Tauchprofil des Tauchpartners 1. Über das Profil von Tauchpartner 2 lagen keine Daten vor.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine Sektion wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Die Ermittlungen ergaben, dass der Verunfallte vermutlich aufgrund seiner mangelhaften technischen Ausstattung durch Vereisung des Lungenautomaten verunfallt sei, wodurch er Probleme bekam und in die Tiefe absackte. Eine eindeutige Zuordnung der Unfallursache war nicht möglich. Es sei nicht auszuschließen, dass auch gesundheitliche Probleme ursächlich gewesen sein

könnten. Ein Fremdverschulden könne jedoch mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Laut Aktenlage wird die Todesermittlungssache mit folgenden Ergebnissen abgeschlossen: Nicht natürlicher Tod; Tod durch Ertrinken, fahrlässiges Selbstverschulden. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich und wurde folglich nicht durchgeführt. Die Leiche wurde zur Bestattung freigegeben.

Beurteilung

Positiv sind die in diesem Fall ermittelten Informationen zur allgemeinen Anamnese, durch die man sich ein Bild vom Verunfallten, seiner medizinischen Vorgeschichte und seinem Ausbildungsstand machen kann. Bezüglich der tauchgangspezifischen Befragung fehlen jedoch wichtige Angaben zur Beurteilung der Tarierung, die in diesem Fall eine besondere Rolle spielt. Trotz Auflistung der Ausrüstungsteile fehlen Angaben zur Neoprendicke des Tauchanzugs, der Größe des Jackets, sowie der Bleimenge. Auch Angaben zum Ort der Flaschenfüllung und verwendeten Atemgas lagen nicht vor. Die Befragung zur Bergung lieferte wichtige Informationen, insbesondere Details über die Auffindesituation, allerdings keine zum eigentlichen Bergungsprozess. Die Zeugenaussagen zum Unfallgeschehen und zur Bergung sind detailliert und zeigen sich deckungsgleich, dies auch mit den Tauchcomputerprofilen. Diesbezüglich kann man sich jedoch nur nach genauerer Betrachtung/Berechnung und qualifizierter Auswertung sicher sein, was ohne Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen kaum möglich ist, unter anderem durch ein Teamprofil, wie für diesen Fall durch Dr. Dietmar Berndt nachträglich erarbeitet (siehe Abb. 13) Insgesamt ist für diesen Fall eine gute Rekonstruktion des zeitlichen Ablaufs möglich.

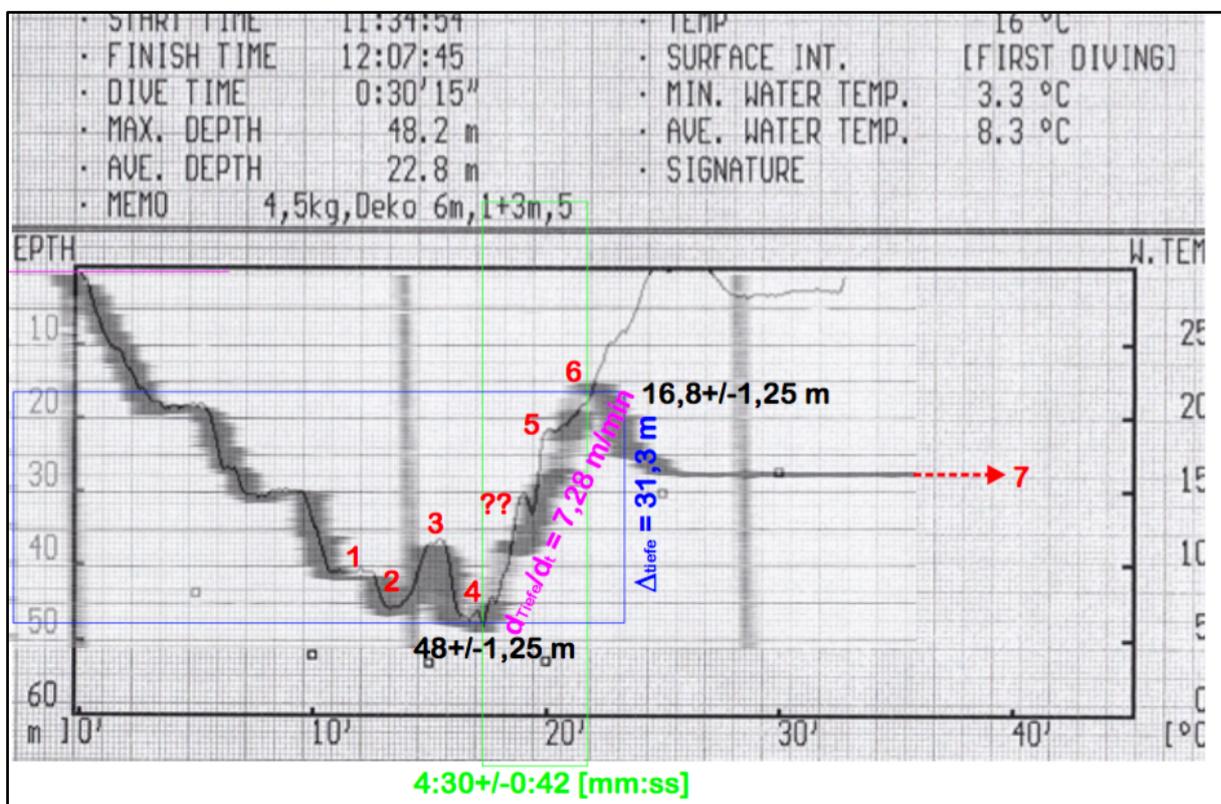


Abb. 13: Rekonstruiertes Teamprofil auf Basis der zur Verfügung stehenden Ausdrücke in den Ermittlungsakten. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

Nicht zufriedenstellend geklärt wurden Auslöser, Schädigungsmechanismus und gesundheitliche Folgen. Selbst die auf der Hand zu liegenden scheinende Todesursache "Ertrinkungstod" ist nicht zweifelsfrei festzulegen. Für eine adäquate Klärung des Unfallhergangs wären eine Sektion und eine technische Analyse durch einen Sachverständigen unabdingbar gewesen.

Die Ermittler gingen von einer Vereisung des Lungenautomaten aufgrund der mangelhaften und technisch ungeeigneten Ausstattung mit daraus folgenden Tariertproblemen und Ertrinken aus. Diese Annahme basiert sicherlich weitgehend auf dem Verdacht des Untersuchers der Ausrüstung und der Tatsache, dass der Verunfallte einen Atemregler verwendete, der vom Hersteller als nicht kaltwassertauglich deklariert wurde. Diese Kausalkette ist kritisch zu hinterfragen. Sicherlich bestanden Tariertprobleme, welche in diesem Fall als wahrscheinliche Ursache betrachtet werden können. Diese sind jedoch nicht als Folge einer Vereisung zu sehen. Die Tatsache, dass ein nicht kaltwassertauglicher Lungenautomat verwendet wurde, spielt in diesem Fall eine untergeordnete Rolle.

Der Tauchpartner 1 beschreibt in seiner Zeugenaussage, der Verunfallte habe sich nach einem zunächst völlig problemlosen und ruhigen Abtauchen nach mehrmaligem Signalisieren eines Wohlbefindens auf 36,5 m plötzlich an sein Jacket geklammert, was zu einem unbeabsichtigten Absinken beider Taucher führte. Dieses war offensichtlich auch durch entgegenwirkenden Flossenschlag beider Taucher nicht aufzuhalten. Zu einem Einsatz des Tariertmittels Jacket ist es nach Schilderung des Tauchpartners nicht gekommen. Weswegen dies so erfolgte, bleibt unklar. Der Verunfallte habe dann plötzlich nach dem Lungenautomaten des Tauchpartners gegriffen. Als dieser ihn kurz losließ, sank der Verunfallte in die Tiefe. Diese Schilderung lässt auf eine ausgeprägte Negativtariertung schließen. Zu dem Zeitpunkt, als der Verunfallte nach dem Lungenautomaten des Tauchpartners griff, kann durchaus eine Vereisung des Atemreglers vorgelegen haben. Diese müsste jedoch zu diesem Zeitpunkt als zweites Problem entstanden sein und kann nicht ursächlich für das Tariertproblem gewesen sein, da zwischen den beiden Ereignissen ein Zeitintervall von 4.45 min lag. Eine Vereisung der ersten Stufe, welche Luft sowohl für den Lungenautomaten als auch den Inflator für das Jacket liefert, erfolgt in der Regel spontan und nicht stufenweise oder langsam zunehmend. Das Tauchprofil des Verunfallten zeigt, dass dieser nach dem initialen Ereignis in Minute 16 noch über 6 min einen Aufstiegsversuch unternommen hat. Nach 15 m brach dieser Aufstieg abrupt ab und der Verunfallte sank zurück in eine Tiefe von 27,5 m, wo er dann tot aufgefunden wurde. Die Tatsache, dass der Verunfallte noch 6 min lang einen Aufstieg durchführen konnte, bevor er erneut und irreversibel in die Tiefe sank, spricht eindeutig gegen eine initiale akute Vereisung, da er keinen Reserveatemregler an separatem Ventil mitführte und somit aus seinem Hauptautomaten geatmet haben muss. Eine Vereisung scheidet als Auslöser somit aus.

Die Ermittlungsakte enthält die Aussage des Bergenden, dass er aufgrund des entleerten Jackets und der leeren Flasche die letzten Minuten des Verunfallten so interpretiere, dass dieser einen Notaufstieg mit minimaler Restluft begann, um dann auf einer Tiefe von 15 m weder Luft zum Atmen noch zum Herstellen eines Auftriebes zur Verfügung zu haben. Auch diese Aussage des Bergenden, der als ausgebildeter Rettungstaucher über ein gutes tauchtechnisches Verständnis

verfügen dürfte, spricht gegen den Verdacht einer akuten Vereisung, findet aber in der Gesamtbeurteilung keine weitere Erwähnung.

Die Ermittlung selbst kam zu dem Ergebnis, dass die eindeutige Zuordnung der Unfallursache nicht möglich sei. Es bleibt fraglich, wieso an dieser Stelle keine Analyse der Ausrüstung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen erfolgt ist. Durch eine sachverständige Analyse der Ausrüstung hätte sowohl die Frage einer Vereisung als auch die einer Verunreinigung des Atemreglers beispielsweise durch Korrosionsprodukte geklärt werden können.

Selbst wenn man eine Vereisung als Ursache annehmen könnte, bliebe noch die Analyse des Atemgases als zwingend notwendige Untersuchung, die eine Analyse durch einen Sachverständigen unabdinglich macht. Bei einer Vereisung muss eine zu hohe Feuchte des Atemgases als Ursache ausgeschlossen werden, schon allein wegen möglicher rechtlicher Konsequenzen gegenüber Dritten und der Vermeidung nachfolgender Unfälle von Tauchern, die eine Flaschenfüllung am betroffenen Kompressor erhalten. Ein Fremdverschulden wäre in diesem Fall somit ohne Analyse nicht ohne Weiteres von der Hand zu weisen. Unter Annahme dieser wenig wahrscheinlichen Hypothese hätte der analytische Untersuchungsschritt eingeleitet werden sollen. Eine Atemgasanalyse ist für einen Sachverständigen auch bei nahezu entleerter Flasche oft möglich, beispielsweise bei einem Restdruck von 5-10 bar, die vom Finimeter oft nicht mehr angezeigt werden.

Das geschilderte Szenario erklärt sich am wahrscheinlichsten durch ein plötzliches und massives Trierproblem als Auslöser. Nach anfänglich sicherem Trieren (in 41 m Tiefe) kam es plötzlich zu Abtrieb. Dies kann an einer Fehlbedienung des Inflators (falscher Knopf, Ziehen am Faltenschlauch) liegen oder an einer spontan aufgetretenen Undichtigkeit des Jackets. Hierfür spricht die Aussage, dass der Verunfallte initial nach dem Jacket des Tauchpartners 1 griff und nicht nach dessen Lungenautomaten. Ein Trierproblem erklärt auch den erhöhten Atemgasverbrauch, insbesondere, wenn man von einem Aufstieg allein durch Flossenschlag ausgeht. Ein erhöhter Atemgasverbrauch lag ab dem Moment, in dem der Verunfallte nach dem Jacket des Tauchpartners 1 griff, vor. Zuvor zeigte sich der Atemgasverbrauch des Verunfallten zunächst moderat bei 23 L/min und somit bei etwas mehr als leichter Arbeit. Dies ergibt sich aus der Berechnung des Atemgasverbrauchs von Dr. Dietmar Berndt. Der plötzlich erhöhte Atemgasverbrauch spricht für akuten Stress, psychisch, weil ein technisches Problem vorliegt und physisch, weil kräftige Flossenarbeit nötig war, um aufzusteigen. Unklar ist, ob der Tauchpartner 1 den Verunfallten von da an über die gesamte Strecke mit nach oben ziehen musste, oder ob der Verunfallte ab einer gewissen Tiefe eigenen Auftrieb hergestellt hat. Dies wurde nicht erfragt. Ein Hinweis dafür, dass der Verunfallte andauernd Abtrieb hatte, ist aber die Aussage, dass der Buddy versuchte seinen Bleigurt zu lösen. Die genaue Ermittlung der mitgeführten Bleimenge wäre von Interesse gewesen. In diesem Fall bestanden hierzu keine Angaben. Nach einem gemeinsamen Aufstieg von 4 ¾ min griff der Verunfallte nach dem Lungenautomaten des Tauchpartners 1. Zu diesem Zeitpunkt lag nach den Berechnungen von Dr. Berndt nur noch ein Restdruck von 20-25 bar vor bei einer Tauchtiefe von > 20 m. Hier begann das Gasversorgungsproblem. Der Einatemwiderstand beim Verunfallten begann anzusteigen. Nur 1 - 1 ½ min später, immer noch auf 16-17 m Tiefe, stieg der Einatemwiderstand wegen nun nahezu leerer Tauchflasche (ca. 11 bar Restdruck) immer weiter. Der Verunfallte konnte kurz darauf nicht mehr aus dem Restgas

atmen. Er ertrank ab der 23. Tauchminute. Der Verunfallte sank nach Trennung vom Tauchpartner 1 spontan auf die Bergetiefe ab. Nach den Berechnungen von Dr. Dietmar Berndt müsste der Verunfallte zu diesem Zeitpunkt bei sich im Aufstieg stetig weiter füllenden Jacket einen rechnerischen Auftrieb von > 8 kp gehabt haben. Für die Tariierung wäre keine weitere Luftzufuhr nötig gewesen. Mit abnehmender Tauchtiefe hätte die Jacketfüllung automatisch zunehmen müssen. Ein Absinken trotz rechnerischen Auftriebs ist nur dadurch zu erklären, dass der Verunfallte selbst das Jacket, das beim Auffinden ja völlig geleert gewesen sein soll im Rahmen einer Fehlbedienung entlüfte oder aber bei einem massiven Schaden. Spontane Undichtigkeiten an einem Jacket können sich einstellen, beispielsweise durch Verklemmen des oberen Schnellablasses in der Offenstellung. Zum Ausschluss einer Fehlfunktion wäre eine technische Analyse unverzichtbar gewesen. Ebenso sind Aspekte wie der soeben erläuterte nur durch die Expertise eines Sachverständigen zu detektieren und werden anderweitig leicht übersehen. Ein Sachverständiger kann tariierungsrelevante Variablen auf allen Tauchtiefen bei allen Flaschendrücken erfassen und zu jedem Zeitpunkt eines Tauchgangs den Tariersaldo berechnen. Ebenso ist die Berechnung des Atemgasverbrauchs möglich, in diesem Fall sogar auf Basis der wenigen vorliegenden Informationen (z. B. Restdruck zu einem bestimmten Zeitpunkt gemäß Zeugenaussagen). Dieser Fall ist beispielhaft dafür, dass detaillierte Berechnungen von Atemgasverbrauch und Tarierverhältnissen einem Fall eine völlig neue Richtung geben können und somit von großem kriminalistischen Interesse sind.

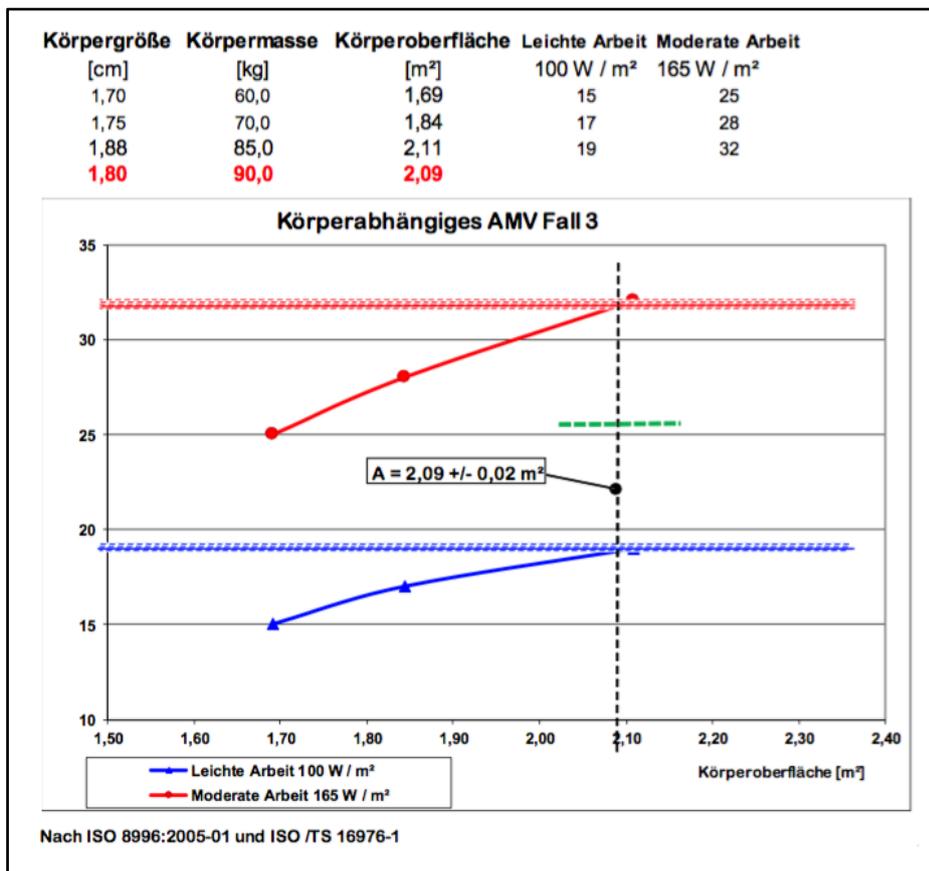


Abb. 14: Berechnung des körperabhängigen Atemminutenvolumens für Fall 3. Die Größe wurde mit 180 cm angegeben, das Gewicht bei einem als „kräftigem Mann“ beschriebenen Verunfallten wurde auf 90 kg geschätzt. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

Nimmt man eine Fehlbedienung des Jackets an, muss ein Tiefenrausch bedacht werden. Der Verunfallte hatte offensichtlich wenig Erfahrung mit Tieftauchgängen. Zudem ist Pressluft für einen Tauchgang jenseits von 40 m aufgrund der Gefahr eines Tiefenrausches kein adäquates Atemgas. Ein Tiefenrausch kann zu Fehleinschätzungen von Situationen, Handlungsunfähigkeit und Halluzinationen führen. Möglicherweise ist sowohl das Tarierproblem als auch ein subjektiver Luftmangel, womöglich ohne tatsächliches Korrelat, einem Tiefenrausch zuzuschreiben. Dass der Verunfallte seinem Tauchpartner den Lungenautomaten abnehmen wollte, kann als Panikreaktion bei subjektivem Luftmangel gewertet werden. Auch Panik kann durch einen Tiefenrausch getriggert und verstärkt werden. Zudem führen sowohl ein Tiefenrausch als auch Panik zu einem drastisch erhöhten Atemminutenvolumen, was erklären kann, wieso dem Verunfallten im Rahmen des Aufstiegs die Luft ausging.

Berechnungsckdaten					
Anfangsdruck (bar) für alle Flaschen:	200				
Flaschengrößen [l]:	12				
AMV [l/min]:	23				
Stressbedingt erhöhtes AMV [l/min]	32				
Zeit [min]	Tiefe [m]	neg. Tiefe	Luftverbrauch [l]	Flaschendruck [bar]	
0,00	0	0,0	0,00	200,00	
0,50	3,1	-3,1	13,28	198,89	
1,00	7,9	-7,9	31,11	197,41	
1,50	10,5	-10,5	53,19	195,57	
2,00	12,9	-12,9	78,14	193,49	
2,50	15,6	-15,6	106,03	191,16	
3,00	17,7	-17,7	136,68	188,61	
3,50	17,7	-17,7	168,53	185,96	
4,00	18,4	-18,4	200,79	183,27	
4,50	18,4	-18,4	233,45	180,55	
5,00	18,4	-18,4	266,11	177,82	
5,50	19	-19,0	299,12	175,07	
6,00	25	-25,0	335,92	172,01	
6,50	26,8	-26,8	377,20	168,57	
7,00	29,8	-29,8	421,25	164,90	
7,50	30,1	-30,1	467,19	161,07	
8,00	30,2	-30,2	513,36	157,22	
8,50	30,2	-30,2	559,59	153,37	
9,00	30,2	-30,2	605,82	149,52	
9,50	30,2	-30,2	652,05	145,66	
10,00	33,7	-33,7	700,29	141,64	
10,50	38,6	-38,6	753,37	137,22	
11,00	40,6	-40,6	810,41	132,47	Finiabfrage
11,50	40,7	-40,7	868,65	127,61	
12,00	40,7	-40,7	926,96	122,75	
12,50	40,7	-40,7	985,26	117,89	
13,00	44,5	-44,5	1045,75	112,85	
13,50	45,4	-45,4	1108,95	107,59	
14,00	44,5	-44,5	1172,14	102,32	
14,50	41	-41,0	1232,80	97,27	
15,00	37,2	-37,2	1289,27	92,56	
15,50	36,4	-36,4	1364,15	86,32	Problembeginn - AMV steigt
16,00	43,3	-43,3	1443,91	79,67	
16,50	46,7	-46,7	1531,91	72,34	
17,00	46,2	-46,2	1622,23	64,81	
17,50	46,2	-46,2	1712,15	57,32	
18,00	43	-43,0	1799,51	50,04	
18,50	37,1	-37,1	1879,59	43,37	
19,00	30,4	-30,4	1949,59	37,53	
19,50	32,9	-32,9	2016,23	31,98	
20,00	21,9	-21,9	2076,07	26,99	
20,50	21,5	-21,5	2126,79	22,77	Gasvorrat gering - Wasser steigt?
21,00	20,3	-20,3	2176,23	18,65	
21,50	18,6	-18,6	2223,35	14,72	
22,00	16,5	-16,5	2267,43	11,05	Rest auf Tiefe nicht mehr atembar
22,50	17,1	-17,1	2310,31	7,47	
23,00	21,5	-21,5	2357,19	3,57	
23,50	24,6	-24,6	2410,07	0,00	
24,00	25,8	-25,8	2466,39	0,00	

Abb. 15: Berechnung Atemgasverbrauchs für Fall 3. Aus der Tauchtiefe ergibt sich für jeden Zeit-/Tiefenschritt der Atemgasverbrauch. Bekannte Komponente: Ein Restdruck von ca. 130bar in Minute 11 (gemäß Aussage des Tauchpartners). Hieraus ergibt sich die Berechnung eines flaschengrößenunabhängigen Atemgasverlaufs. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

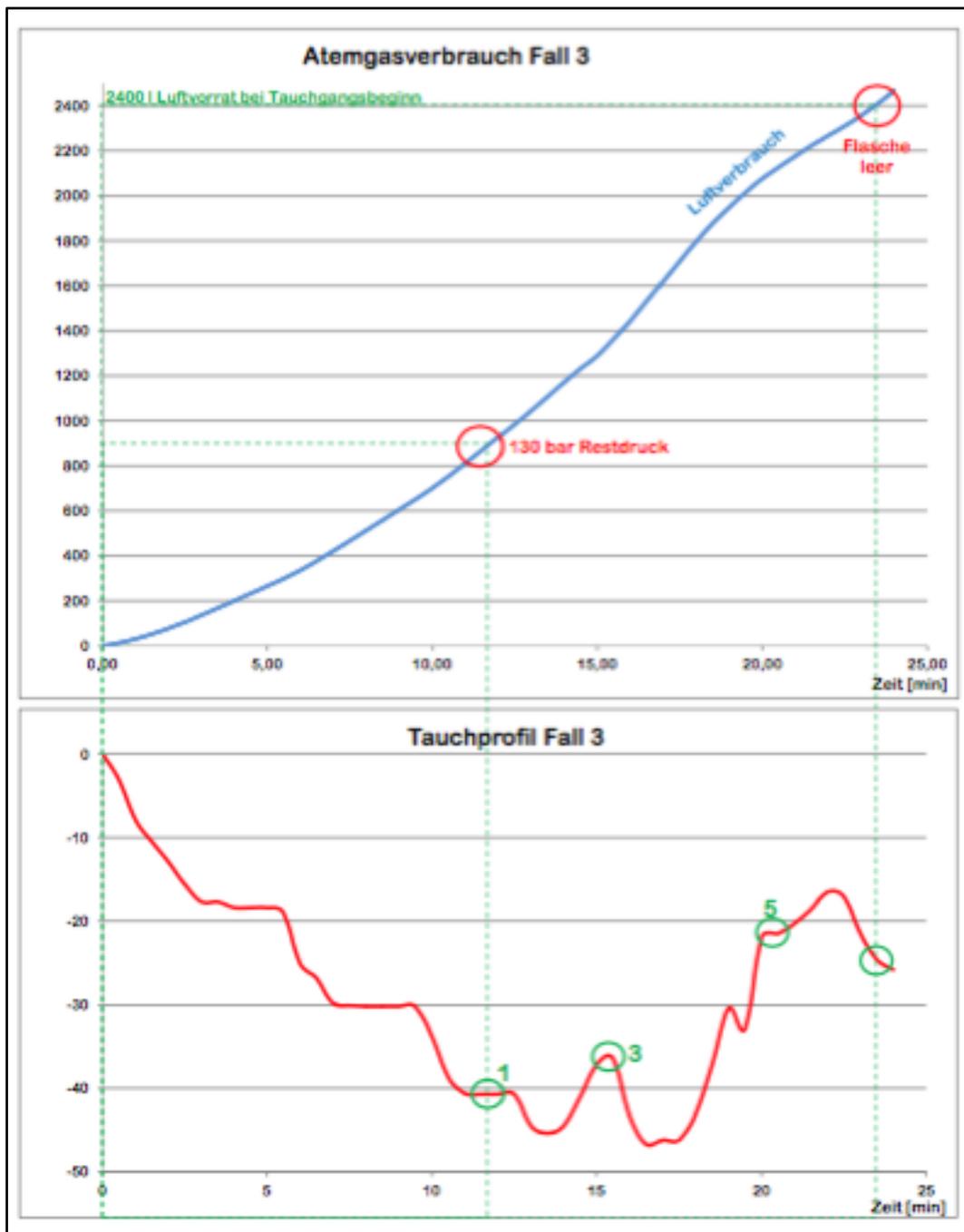


Abb. 16: Atemgasverbrauch für Fall 3 während des Gesamttauchgangs. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

Sieht man ein Tariertproblem als Hauptauslöser, muss noch geklärt werden, warum der Verunfallte den Lungenautomaten des Tauchpartners 1 verlangte. Die Möglichkeit einer langsamen Vereisung der zweiten Stufe wurde bereits diskutiert. Eine Erklärung kann die erhöhte Atemarbeit mit dem Gefühl starker Dyspnoe durch erhöhte Atemfrequenz bei Anstrengung und Panik sein. Eine nur um 50 % vertiefte und zu 50 % beschleunigte Atmung kann die Atemarbeit um das 2,5fache erhöhen (46). Möglicherweise bestand auch ein Essoufflement als alveoläre Ventilationsstörung, die in eine Hyperkapnie und Bewusstlosigkeit münden kann (siehe auch Kap. 3.7.3). Verstärkende Faktoren für ein Essoufflement sind eine große Tauchtiefe, ein enger Tauchanzug, hoher Atemwiderstand des

Lungenautomaten und große körperliche Anstrengung, sowie Angst und Kälte. [17 S. 181] In diesem Fall lagen einige der erwähnten Faktoren vor: Die große Tauchtiefe, die körperliche Anstrengung, ausgehend von der Hypothese eines Tariertproblems, sowie Angst und Kälte. Für die Fragestellung, wie der Atemwiderstand des Lungenautomaten war, wäre eine technische Analyse nötig gewesen. Für ein Essoufflement spricht die Zeugenaussage des Tauchpartners, der von typischen Anzeichen berichtet. Häufig sind Anzeichen für ein Essoufflement für den Betroffenen ein Gefühl der Dyspnoe, der Verdacht auf einen Gerätedefekt, sowie Unruhe und beginnende Panik [17 S. 181]. In diesem Fall versuchte der Verunfallte in offensichtlicher Unruhe/Panik, seinem Tauchpartner den Lungenautomaten aus dem Mund zu nehmen, obwohl sein eigener offensichtlich noch für einige Minuten Atemgas liefern konnte.

In jedem Fall ist davon auszugehen, dass die Vermutung des Bergenden zutreffend ist und dem Verunfallten beim Versuch eines Aufstiegs nach der 22./23. Tauchminute auf 15 m die Atemgasreserve ausging und er weder in der Lage war, zu atmen, noch Auftrieb zu erzeugen.

Die Todesursache ist somit vermutlich tatsächlich Ertrinken, wofür der Schaumpilz spricht, der bei der Leichenschau dokumentiert wurde. Mit Sicherheit hätte dies jedoch nur durch eine Sektion nachgewiesen werden können. Offen bleibt, weshalb man sich gegen eine Sektion entschied, obwohl der Ermittler im Rahmen der Leichenschau sogar „aus rechtsmedizinischen Gründen“ auf eine Manipulation am Taucheranzug verzichtete und im Ermittlungsbericht erwähnt wurde, dass gesundheitliche Probleme ursächlich gewesen sein könnten. Schon allein vor dem Hintergrund, dass die medizinische Anamnese ein Ereignis einer plötzlichen Bewusstseinsstrübung bei einem jungen, sonst ansonsten gesunden Mann enthält, hätte zu einem sorgfältigen Ausschluss von Differentialdiagnosen mittels Sektion und chemisch-toxikologischem Gutachten führen müssen. Die Abklärung neurologischer und kardiologischer Differentialdiagnosen und ein Screening auf Drogen und Sedativa wäre erforderlich gewesen. Ein positiver Befund bewusstseinsstrübender- oder verändernder Substanzen wäre eine mögliche Erklärung sowohl der vorbeschriebenen akuten Bewusstseinsstrübung an Land als auch möglicher Fehleinschätzungen/Fehlverhalten unter Wasser.

Auslöser	Alternative Auslöser/Co-Faktoren: Tiefenrausch Essoufflement
Tariertproblem, Aufstieg nicht möglich	
Schädigungsmechanismus	
„out of air“-Situation	
Gesundheitliche Schädigung	
Asphyxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 8: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 3

4.2.4 Fall 4

Es handelt sich um den Fall eines 28-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Tieftauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Zur medizinischen Vorgeschichte, der Substanzanamnese, der Tauchtauglichkeit und der Tauchausbildung des Verunfallten lagen keine Angaben vor. Ein Taucherlogbuch konnte nicht gefunden werden.

Tauchgangsspezifische Befragung

Die Wassertemperatur lag am Unfalltag im April bei 7°C. Die Sicht habe bei etwa 2 m gelegen, wobei hier keine genauere Angabe vorliegt, auf welche Tiefe sich die Sicht bezieht. Über das körperliche Befinden des Verunfallten am Unfalltag und die Vorbereitung des Tauchgangs bestanden keine Angaben. Er wurde von einem Tauchpartner begleitet. Über dessen Ausbildungsstand und die gemeinsame Taucherfahrung bestanden ebenfalls keine Angaben. Ebenso bestanden nur lückenhafte Angaben über die verwendete Ausrüstung. Nach Aussage des Tauchpartners habe die Ausrüstung des Verunfallten aus einer 12 L-Stahlflasche mit Doppelventilen bestanden. Die Füllung der Pressluftflaschen sei direkt vor dem Tauchgang an der ortsansässigen Füllstation durchgeführt worden. Die Atemregler seien nach Angabe des Tauchpartners „laut Herstellerangaben vereisungssicher“, hätten jedoch „keinen speziellen Vereisungsschutz“. Es wurde ein Trockentauchanzug verwendet.

Der Tauchgang wurde gegen 10.30 h an der die Betonbomben kennzeichnenden Boje begonnen. Bei den Betonbomben handelt es sich um etwa zwei Meter hohe Gestelle mit einem Durchmesser von anderthalb Meter. Sie sind Relikte aus der Produktionszeit der Kreidegrube und dienten damals zur Verladung von losem Zement und auch zur Befüllung von Öfen. Sie waren zu Zeiten des Unfalls in 43 m Tiefe zu finden. [11] An der Boje war eine Leine bis zu den Betonbomben befestigt. Ziel des Tauchgangs sei der Grund bei 42 bis 43 m gewesen. Das Buddyteam sei bis 39 m frei abgetaucht, als der Verunfallte durch Handsignale symbolisiert habe, dass sein Lungenautomat abblasen würde. Der Tauchpartner des Verunfallten habe das Ventil des abblasenden Automaten geschlossen. Das Ventil des zweiten Automaten sei bereits geöffnet gewesen. Der Verunfallte habe laut Aussage des Tauchpartners über den zweiten Lungenautomaten Atemgas bekommen und habe ihm signalisiert, dass er aufsteigen wolle. Zu diesem Zeitpunkt habe man sich auf 25 m Tiefe befunden. Im Rahmen der Manipulation an den Ventilen hätten sich die beiden Taucher in der Bojenleine verheddert. Der Tauchpartner gab an, durch die Tatsache, dass sich die Leine mehrfach um ihn gewickelt hatte, in Panik geraten zu sein. Er habe sich befreien können und sei nach Abwurf des Bleigurtes aufgetaucht, habe dabei aber nicht mehr auf den Verunfallten geachtet. An der Wasseroberfläche habe er sich bemerkbar gemacht und Hilfe angefordert.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Es kamen mehrere anwesende Taucher zur Hilfe. Einer von ihnen konnte den Verunfallten auf 25 m Tiefe leblos und „völlig in die Bojenleine gewickelt“ auffinden und gegen 11.30 h bergen. Nach Angabe des Bergenden sei es nicht möglich gewesen, das Jacket aufzublasen, da kein Luftvorrat mehr vorhanden war. Zur

Bergung habe der Bleigurt des Verunfallten abgeworfen werden müssen. An Land wurde durch zwei eintreffende Notärzte ein erfolgloser Reanimationsversuch durchgeführt und anschließend der Tod durch Ertrinken diagnostiziert.

Ersthelfer an Land berichteten außerdem, dass die Schlauchverbindungen zum Jacket und zum Trockentauchanzug diskonnektiert gewesen seien. Der Tauchpartner des Verunfallten konnte hingegen berichten, dass beim Abtauchen sämtliche Schlauchverbindungen des Tauchgerätes korrekt angeschlossen waren und der Verunfallte nach Wechsel des Lungenautomaten Luft in seinen Trockentauchanzug geblasen hätte. Die Flasche des Verunfallten wurde an Land geprüft; sie sei vollständig entleert gewesen.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Eine Fotodokumentation und eine Auflistung der Ausrüstungsteile fanden nicht statt. Zur Untersuchung wurde der Trockentauchanzug des Verunfallten entfernt. Im Bericht über die Leichenschau wird neben Todeszeichen in Form rückwärtiger, mäßig ausgeprägter blau-roter Leichenflecken an Auffälligkeiten eine Blutung aus dem linken Nasenostium und der orale Austritt von Mageninhalt beschrieben. Ein Schaumpilz wurde nicht beschrieben. Zeichen von Fremdeinwirkung oder äußere Verletzungen lagen nicht vor.

Weiteres Vorgehen

Eine Sektion wurde nicht beantragt. Die Ausrüstung und der Tauchcomputer, sowie Ausrüstungsteile des Buddys zum Vergleich wurden beschlagnahmt, jedoch ohne weitere Analyse an die Familie ausgehändigt.

Untersuchung der Tauchausrüstung

Eine Untersuchung der Tauchausrüstung durch einen Sachverständigen fand nicht statt.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases fand nicht statt.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Eine Untersuchung der Tauchcomputers fand nicht statt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt

Verfügung/Festlegung der Todesart

Aus den Aktenlage geht hervor, dass ein „gewisses Eigenverschulden“ bezüglich des Unfalls angenommen wurde. Der Verunfallte habe kein kaltwassertaugliches System mit sich geführt.

Anhand der Aktenlage wurde ein Tod durch Ertrinken festgelegt. Es habe zunächst eine Vereisung des Atemreglers mit Abblasen und anschließend ein Verwickeln des Verunglückten in die Bojenleine stattgefunden, wodurch das Ertrinken herbeigeführt worden sei. Der Atemgasvorrat sei durch das Abblasen des vermutlich vereisten Atemreglers derart reduziert worden, dass er nicht mehr für eine Selbstbefreiung ausreichte. Laut Akte lag ein „Unglücksfall durch höhere Gewalt“ vor.

Beurteilung

In diesem Fall scheint eine Rekonstruktion des Unfallhergangs trotz Verzichts auf Sektion und technische Analyse der Ausrüstung auf den ersten Blick möglich zu sein. Die Zeugenaussagen des Tauchpartners und der Bergungstaucher geben ergänzend Anhalt auf den Ablauf des Geschehens. Der Tauchpartner berichtet über ein Abblasen des Hauptatemreglers des Verunfallten. Verantwortlich hierfür war vermutlich eine Vereisung des Atemreglers. Der Verunfallte und sein Partner haben auf dieses Problem adäquat reagiert, indem das Ventil des abblasenden Automaten geschlossen wurde. Das zweite Ventil war bereits geöffnet und der Verunfallte konnte über seinen zweiten Lungenautomaten atmen. Das Problem wäre somit behoben gewesen. Es ist zwar nicht bekannt, wie viel Restdruck sich zu diesem Zeitpunkt in der Flasche befand, aber es ist davon auszugehen, dass ein kontrollierter Aufstieg mit der verbleibenden Luft oder am Lungenautomaten des Tauchpartners möglich gewesen wäre. Der fatale Ausgang war dadurch bedingt, dass sich die beiden Taucher beim geschilderten Manöver in der Bojenleine verfangen haben. Der Tauchpartner war zu sehr mit seiner eigenen Rettung beschäftigt, um sich um den Verunfallten kümmern zu können. Letzterer war offensichtlich nicht in der Lage, sich selbst zu befreien. Er wurde von den Bergenden in die Leine verwickelt aufgefunden. Der Atemgasvorrat reichte offensichtlich nicht bis zur Selbstbefreiung oder Befreiung durch Rettungstaucher aus. Die Tauchflasche des Verunfallten wurde von den Bergenden entleert vorgefunden. Eine Inflation des Jackets zur Bergung war nicht mehr möglich. Zu vermuten ist, dass es zudem zu einer typischen Panikreaktion des Verunfallten kam, als ihm ohne die Möglichkeit einer Selbstbefreiung die Luft ausging. Für die Panikreaktion sprechen die diskonnektierten Schläuche zum Jacket und Trockentauchanzug. Nicht ausgeschlossen ist allerdings auch ein misslungener Selbstbefreiungsversuch, indem der Verunfallte zunächst noch mit einem gewissen Plan versucht hat sich durch Abwurf seines Jackets aus der Leinenumschlingung zu befreien, wozu er die aktive Diskonnektion der Anschlüsse durchführen musste, um die theoretische Möglichkeit eines aktiven Auftauchens zu nutzen.

Es ist also von folgendem Ablauf auszugehen: Vereisung der ersten Stufe des Atemreglers - Problemlösung 1 gelungen - Verwickeln in die Bojenleine - Problemlösung 2 misslungen - „out of air“-Situation - Asphyxie - Ertrinken.

Unklar bleibt, weshalb es zur Vereisung des Atemreglers gekommen ist. Die Informationen zur Kaltwassertauglichkeit des Atemreglers basieren offenbar lediglich auf einer Zeugenaussage des Tauchpartners. Es besteht eine Diskrepanz zwischen der Aussage, der Atemregler sei laut Herstellerangabe vereisungssicher, habe jedoch keinen speziellen Vereisungsschutz. Eine genaue Beschreibung des Tauchgerätes mit Nennung von Typ- und Herstellerdaten lag nicht vor. Ebenso ist nicht bekannt, ob es sich um ein eigenes oder Leihgerät handelte und wie der Wartungszustand und die Einstellungen am Automaten waren, was für diesen Fall von größtem Interesse wäre. Der Aussage, es habe in Bezug auf den Atemregler ein „gewisses Eigenverschulden vorgelegen“ fehlen ohne weitere technische Analyse durch einen Sachverständigen fundierte Argumente.

Es wäre von Relevanz, ob gewisse Faktoren ein Vereisen begünstigten. Nebst Untersuchung auf Fremdkörper und Korrosionsprodukte wäre eine technische Analyse erforderlich gewesen. Idealerweise sollte es zur Anwendung einer in eine Druckkammer integrierten Prüfbank kommen, bei der unter Ergänzung eines

Wasserreservoirs und Wasserkühlung die realen Bedingungen nachgestellt werden können. Durch dieses Verfahren kann beispielsweise ein Vereisen oder ein Überschreiten der Atemdruckgrenzen unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen nachgewiesen werden [21]. Eine direkte Analyse der Atemgase wäre bei völlig entleerter Flasche nicht mehr möglich gewesen. Hätte noch ein Restdruck von etwa 2 bis 4 bar bei geschlossenem Ventil in der Flasche bestanden, wäre es einem Sachverständigen mit speziellen Methoden dennoch möglich gewesen, eine Atemgasanalyse durchzuführen. Von Interesse wären hier der Wassergehalt des Atemgases und mögliche toxische Beimengungen gewesen. Feuchte Pressluft begünstigt eine Vereisung. Weil die Atemgasfüllung unmittelbar vor dem Tauchgang aus der örtlichen Füllanlage erfolgt ist wäre eine - hier unterlassene - sofortige Gasanalyse aus Kompressor und Füllanlage unbedingt erforderlich.

Die technische Untersuchung der übrigen Ausrüstung, hier insbesondere des Trockentauchanzuges und des Jackets, von denen sich die Anschlüsse gelöst hatten, ist ebenso unverzichtbar, auch wenn eine aktive Diskonnektion im Rahmen einer Panikreaktion angenommen wird. Wie bei vielen tödlichen Tauchunfällen können die jeweiligen Abläufe, wenn überhaupt, nur durch Zeugenaussagen der Mittaucher entwickelt werden. Hieraus ergibt sich oft ein wahrscheinliches Szenario, das aber abgesichert werden muss, um Fremdverschulden sicher ausschließen zu können.

Neben der unabdingbaren technischen Untersuchung durch einen Sachverständigen ist für die genauere Klärung der Todesursache eine Sektion auch bei anscheinend eindeutigen Situationen unverzichtbar. Ein Tod durch Ertrinken ist nur eine Vermutung, wenn, wie in diesem Fall, nicht einmal äußere Ertrinkungszeichen wie ein Schaumpilz berichtet werden.

Alternative Todesursachen oder zum (Ertrinkungs-) Tod führende gesundheitliche Schädigungen wie kardiale oder pulmonale Ereignisse während des Befreiungskampfes aus der Bojenleine oder eine Bewusstlosigkeit durch toxische Wirkung von Inertgasen oder verunreinigtem Atemgas wären vor allem bei Abwesenheit der typischen äußeren Ertrinkungszeichen zu differenzieren.

Bei einer in kurzer Zeit aufeinander folgenden Problemserie eines Buddyteams unter Wasser muss eine Abklärung in Bezug auf medikamentöse oder anderweitige Substanzen erfolgen, die das Bewusstsein oder die allgemeine Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können.

Im vorliegenden Fall kann die Verantwortung Dritter nicht primär ausgeschlossen werden. Die Herstellung des Atemgases kann fehlerhaft gewesen sein, ebenso wie der Panikaufstieg des Tauchpartners unter Hinterlassung seines Tauchpartners fragwürdig ist, weil er möglicherweise eine Garantenstellung (siehe auch Fall 17) besaß. Zudem wäre die Beschaffenheit der Bojenleine abzuklären gewesen, in der sich offenbar zwei Taucher zeitgleich verwickeln konnten. Der Verunfallte wurde von den Bergenden als „völlig verwickelt“ beschrieben. Der Tauchpartner gab an, dass sich die Leine bei ihm „mehrmals um das rechte Bein, die Flosse und sogar um das Tauchermesser gewickelt“ habe. In Bezug auf eine Mitverantwortlichkeit Dritter und zur Prävention zukünftiger Unfälle hätte dieser Aspekt genauere Betrachtung verdient.

In der Gesamtschau ist bei diesem Fall vieles möglich, aber auch nichts ausgeschlossen.

Auslöser	Verstärkende Faktoren:
Verfangen an der Bojenleine als Sekundärproblem	Technischer Defekt: Primär Vereisung mit Abblasen
Schädigungsmechanismus	
„out of air“-Situation	Panikreaktion
Gesundheitliche Schädigung	
Asphyxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 9: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 4

4.2.5 Fall 5

Es handelt sich um den Fall einer 26-jährigen Sporttaucherin, die im Rahmen eines Tauchgangs in einer größeren Tauchgruppe am Rüttler tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten der Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Zur medizinischen Vorgeschichte, zur Substanzanamnese und zur Tauchtauglichkeit lagen keine Angaben vor. Die Verunfallte hatte sechs Monate zuvor mit ihrem Lebensgefährten im Rahmen einer Urlaubsreise in den Tropen einen Tauchschein erworben (Bronze/*, bzw. ähnliches Niveau) und insgesamt ca. 10 Tauchgänge absolviert. Seit der Reise hatten beide keine weiteren Tauchgänge mehr durchgeführt.

Tauchgangspezifische Befragung

Die Tauchgruppe bestand aus sieben Personen, die untereinander in unterschiedlicher Bekanntschaft standen und sich zum Tauchen am See verabredet hatten. Gemäß Ermittlungsbericht verfügten alle Gruppenmitglieder über einen Tauchschein in Bronze oder gleichwertige Brevetierungen. Der erfahrenste Taucher hatte ca. 100 Tauchgänge absolviert, darunter einige im Hemmorsee. Er übernahm Zeugenaussagen zufolge die Tauchgruppenleitung, da er als einziger die Örtlichkeiten kannte. Bereits am Vortag des Ereignisses hatte die Gruppe zwei kurze Probetauchgänge in flacherem Wasser gemacht, um sich an die lokalen Bedingungen zu gewöhnen. Die Verunfallte und ihr Lebensgefährte hatten an dem zweiten dieser Tauchgänge aufgrund von Ohrenschmerzen nicht teilgenommen.

Die Ausrüstung der Verunfallten und ihres Partners war teilweise von einem ortsfremden Tauchshop, teilweise von Bekannten geliehen. Die Tauchflasche habe die Verunfallte von der lokalen Tauchbasis geliehen. Über das verwendete Atemgas bestand keine Angabe. Die Verunfallte hatte am Vorabend ein Jacket von einem

anderen Mitglied der Gruppe erhalten, da sie mit dem Leihjacket vom Tauchshop Bedienprobleme hatte. Einen Mangel an den Ausrüstungen habe man vor dem Tauchgang am Unfalltag nicht bemerkt.

Am Unfalltag im Juli hätten sich nach Aussage des Partners beide Taucher in guter gesundheitlicher Verfassung befunden. Vor dem geplanten Tauchgang zum Rüttler habe der Tauchgruppenleiter ein Briefing durchgeführt und jeden einzelnen befragt, wohin und wie tief er tauchen wolle. Es wurden daraufhin drei Teams gebildet. Nach gemeinsamem Schwimmen zum Ponton (ca. 15 m Strecke) und kurzer Ruhepause habe die Gruppe den gemeinsamen Abstieg bis zum Geländer über dem Rüttler begonnen, welches in 18-20 m Tiefe liegt. Zu Beginn habe eine Sicht von ca. 4 m vorgelegen; die Wassertemperatur habe 4-7°C gelegen. Am Geländer habe das erste Team von zwei Tauchern wie geplant verweilt, da beide nicht tiefer abtauchen gewollt hätten. Die Dreiergruppe mit dem Tauchgruppenleiter sei gefolgt von der Verunfallten und ihrem Partner als drittes Buddyteam weiter bis zum Seegrund vor dem Rüttler (30-32m) abgetaucht. In seiner Aussage erwähnt der Partner der Verunfallten an dieser Stelle, er habe sich bezüglich des weiteren Abtauchens unsicher gefühlt, sei dann aber doch der Gruppe gefolgt.

Vor dem Rüttler hätten schlechte Sichtverhältnisse mit lediglich 2 m bestanden. Die Buddyteams hätten sich jeweils an den Händen genommen, um, wie geplant, durch eine Öffnung in den Rüttler hinein und entlang der Schütte nach oben wieder hinaus zu tauchen. Das Team der Verunfallten habe an dieser Stelle den Sichtkontakt zum Dreierteam mit dem Tauchgruppenleiter verloren. Beim Durchtauchen der Öffnung in den Rüttler sei es beim Lebensgefährten der Verunfallten zu einer Panikreaktion gekommen. Er habe Dyspnoe verspürt, schneller geatmet und den Lungenautomaten mehrfach aus dem Mund genommen und geprüft, wobei er Wasser in den Mund bekommen habe. Die Verunfallte habe ihm beruhigende Signale gegeben und ihm die Panik vorerst nehmen können. Man habe sich nach beidseitigem Signalisieren des „OK“-Zeichens für den weiteren Aufstieg durch den Rüttler entschieden; die Öffnung sei zu diesem Zeitpunkt bereits durchquert gewesen. An dieser Stelle des Berichtes erwähnt der Lebensgefährte, er sei „zu diesem Zeitpunkt absolut fertig mit dem Tauchsport [gewesen] und wollte nur noch raus“. Er habe begonnen, senkrecht aufzusteigen und dabei das Jacket aufgeblasen, um besseren Auftrieb zu bekommen. Seine Partnerin sei ihm gefolgt. Im Verlauf habe er wieder Luft abgelassen, da beide sehr schnell auftauchten. Kurz darauf habe sich die Verunfallte nicht mehr neben, sondern unter ihm befunden und eine horizontale Position eingenommen. Seinem Bericht zufolge ging der Partner davon aus, die Verunfallte habe sich bewusst von ihm entfernt, um zu etwas hinzutauchen. Er sei trotz des Bewusstseins, dass ein Team zusammenbleiben sollte, nicht in der Lage gewesen, ihr zu folgen und hätte den Weg zum Geländer fortgesetzt, wo der Rest der Gruppe bereits wartete. Er habe dem Tauchgruppenleiter signalisiert, dass seine Partnerin vermisst werde.

Der Tauchgruppenleiter habe um den Rüttler in dieser Tiefe (18-20 m) für 2 min. getaucht, um nach der Verunfallten, bzw. nach ihren Luftblasen zu suchen, wobei die Suche erfolglos geblieben sei und er dann davon ausgegangen sei, die Verunfallte habe einen alleinigen Aufstieg gemacht. Da der Lebensgefährte der Verunfallten nur noch 10 bar Atemgasdruck in der Flasche hatte habe er diesen an den Oktopus genommen und mit der Gruppe einen Aufstieg mit Sicherheitsstopp durchgeführt.

Weiteres Vorgehen

Die Ausrüstung der Toten wurde schriftlich dokumentiert, beschlagnahmt und an die ortsansässige Tauchbasis zur Inspektion übergeben. Der Tauchcomputer des Tauchgruppenleiters wurde sichergestellt. Der Leichnam wurde beschlagnahmt und zu einem Bestattungsunternehmen überführt.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Die Leichenschau wurde im Bestattungsinstitut in Anwesenheit eines Taucherarztes und zweier Notärzte durchgeführt. Es fand eine Fotodokumentation der Ausrüstung, nicht jedoch der Leiche statt. Details zur Leichenschau wurden nicht angegeben. Der Körper der Verstorbenen wies jedoch laut Ermittlungsbericht keine Spuren äußerer Gewalt auf. Der Tod sei durch Panik/Ertrinken eingetreten.

Im Ermittlungsbericht ist an dieser Stelle vermerkt, ein Notarzt der angeforderten Hubschrauberbesatzung habe mit mitgeführten Geräten die Lunge der Verstorbenen überprüft und einen „Lungenriss“ ausgeschlossen. Auf diese Aussage hin habe man den aufkeimenden Verdacht, der Tauchgruppenleiter habe durch den durch Aufblasen des Jackets induzierten Notaufstieg ein Barotrauma der Lunge provoziert, niedergelegt.



Abb.18: Dokumentation der Tauchausrüstung (Fall 5)

Untersuchung der Tauchausrüstung

Eine Untersuchung erfolgte durch die ortsansässige Tauchschnule und ergab keine wegweisenden Mängel. Eine Vereisung habe nicht stattgefunden. Die Ausrüstung sei jedoch in einem schlechten Wartungszustand. Ein Gutachten durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen mit vollständiger Untersuchung der Ausrüstung und des Atemgases erfolgte nicht.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases fand nicht statt.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Der Tauchgruppenleiter stellte seinen Tauchcomputer zur Auswertung zur Verfügung. Die Verunfallte und die anderen Mitglieder der Gruppe waren nicht im Besitz eines Tauchcomputers.

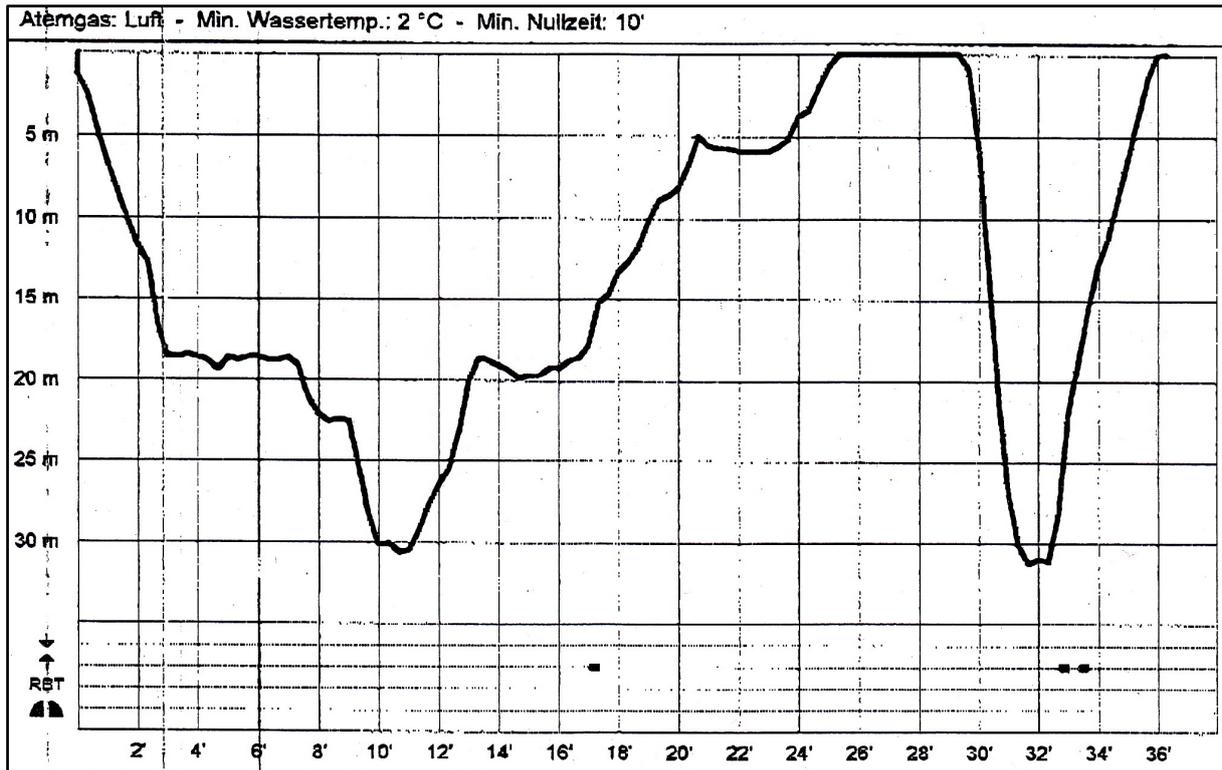


Abb. 19: Tauchprofil des Tauchgruppenleiters. Abtauchen bis zum Geländer auf 18 m Tiefe, dort Aufenthalt von einigen Minuten. Abstieg bis auf 31 m auf den Grund vor dem Rüttler. Aufstieg zum Geländer auf 18 m Tiefe. Verweilen von ca. 4 min inklusive Suche nach Luftblasen. Langsames Auftauchen mit Sicherheitsstopp. Oberflächenpause mit Suche nach Luftblasen. Anschließend erneutes Abtauchen auf 32 m, Fund der Verunfallten, Wiederauftauchen über 4 min. nach Inflation des Jackets der Verunfallten.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung fand nicht statt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Das kriminalpolizeiliche Ermittlungsergebnis sprach für einen nichtnatürlichen Tod bei fahrlässigem Selbstverschulden. Als Todesursache wurde Ertrinken angegeben. Es wurden keine Hinweise auf Fremdverschulden ermittelt. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich. Der Fall wurde eingestellt und der Leichnam zur Bestattung freigegeben.

Beurteilung

Dieser Fall zeigt auf eindrucksvolle Weise, wie ein Zusammenspiel vieler Faktoren zu einem fatalen Ausgang führen kann. Insbesondere die Faktoren Unerfahrenheit, Unsicherheit, Stress, Angst und Panik haben eine entscheidende Rolle bzgl. der in diesem Fall multiplen Auslöser gespielt genauso wie die Tauchgangsplanung entgegen den zu Zeiten des Unfalls gültigen Sicherheitsstandards.

Die Brevetierung (Bronze/* oder ähnliches Niveau) der Verunfallten und der Mitglieder der Tauchgruppe bedeutet eine Begrenzung des Tauchens gemäß den Vorgaben der Tauchausbildungsorganisationen auf 18-20 m Wassertiefe. Der vorgesehene Tauchgang hätte schon in Hinblick auf die Haftpflicht des Tauchgruppenleiters in dieser Form weder geplant noch durchgeführt werden dürfen. Offensichtlich verfügte bis auf den Tauchgruppenleiter keines der Tauchgruppenmitglieder über genügend große Taucherfahrung und Ortskenntnis im

Hemmoorsee. Der Rüttler ist nicht nur aufgrund der Tiefe, sondern auch aufgrund der Sichtverhältnisse und seiner Konfiguration kein anfängereigneter Tauchplatz. Die Betreuung von sechs Tauchanfängern an einem derart komplexen Tauchplatz konnte seitens des Tauchgruppenleiters nicht gewährleistet werden. Die Bedingungen im Hemmoorsee sind zudem in keiner Weise mit denen in den Tropen zu vergleichen, so dass die Taucherfahrung der Verunfallten und ihres Partners von nur 10 Tauchgängen noch weiter relativiert werden muss. Bei ausschließlicher und geringer Taucherfahrung in Warmwasser mit guter Sicht wird der Wechsel auf Kaltwasser mit wenig Sicht (z. T. < 2m) in der Regel als besonders beklemmend empfunden. Ein Abtauchen in einen unübersichtlichen Tauchplatz wie den Rüttler bei Sichtverhältnissen von 2 m mit Tauchanfängern ist ein Beispiel für eine absolute Fehleinschätzung in Bezug auf die Planung des Tauchgangs.

Ungewohntheit, Unruhe und Unsicherheit spielten sicherlich eine große Rolle im Komplex der auslösenden Faktoren. Bereits am Vortag bestanden Probleme mit Ausrüstungsteilen und gesundheitlicher Art in Form von Ohrenschmerzen nach einem Tauchgang in verhältnismäßig geringen Tiefen. Möglicherweise bestand ein leichtes Mittelohrbarotrauma bei Druckausgleichsproblemen. Der Tauchpartner hatte zudem bereits vor dem Abtauchen zum Rüttler Bedenken, setzte sich jedoch über diese hinweg. Im Buddyteam der Verunfallten und ihres Partners zeichnete sich offensichtlich schon vor dem Tauchgang deutliche Skepsis ab. Die häufig fatal endende Abfolge „Stress-Angst-Panik“ wurde durch die Bedingungen am Fuße des Rüttlers begünstigt, zumal der Sichtkontakt zum Tauchgruppenleiter als einzigen Ortskundigen abriß und die Sicht sehr schlecht wurde. Zudem waren die Verunfallte und ihr Partner vermutlich erstmals einer Tiefe von 30 m und den dort erhöhten Druckverhältnissen und, in dieser Tiefe unerfahren, Stress-Angst-Panik bei subjektiv und objektiv deutlich erhöhtem Atemwiderstand ausgesetzt. Diese Faktoren haben wahrscheinlich zu einem klassischen Essoufflement geführt, einer alveolären Ventilationsstörung bei flacher und schneller Atmung mit steigender Kohlenstoffdioxidretention (siehe Kapitel 3.7.3). Typisch sind die geschilderte Dyspnoe mit dem Verlangen, das Mundstück zu überprüfen sowie Tachypnoe. Der Tauchpartner ließ sich durch die Verunfallte nach eigener Aussage zwar kurz beruhigen, scheint dann aber endgültig in Panik verfallen zu sein. Er erwähnt, er habe „nur noch raus“ gewollt und einen schnellen Aufstieg eingeleitet. Dieser scheint immerhin so schnell gewesen zu sein, dass er ihn bewusst wieder verlangsamte. Kurz darauf habe sich die Verunfallte nicht mehr neben, sondern unter ihm befunden und eine horizontale Position eingenommen. Es ist davon auszugehen, dass hier bereits eine Bewusstlosigkeit eingetreten war.

Der Zeugenaussage des Tauchpartners ist zunächst nur zu entnehmen, dass er selbst in Panik war. Ob die Verunfallte, die ihren Partner zwischenzeitlich sogar noch beruhigte, selbst in Panik geriet, lässt sich nicht feststellen. Die Annahme, sie sei durch Verlust des Partners in Panik verfallen und habe die Orientierung verloren, erscheint auf Basis der Zeugenaussage des Partners unwahrscheinlich, da sie ihm erst beruhigend zur Seite stand und dann im Rahmen des schnellen Aufstiegs plötzlich in horizontaler Lage zurück blieb. Wahrscheinlicher ist, dass es auch bei der Verunfallten langsam zu einem Essoufflement kam. Auch wenn sie ihren Partner anfangs noch beruhigen konnte, ist davon auszugehen, dass die Gesamtsituation auch für sie eine massive körperliche und mentale Stresssituation bedeutete. Sie war als Tauchanfängerin den gleichen erschwerten Bedingungen einer großen Tauchtiefe und erhöhtem Atemwiderstand ausgesetzt, zudem der gleichen

herausfordernden Situation beim Durchtauchen des Rüttlers. Hinzu kam der Stress durch die Panikreaktion des Partners. Ein Essoufflement kann die Bewusstlosigkeit der Verunfallten durch einen Kohlenstoffdioxid-Blackout erklären. Für ein Essoufflement spricht auch der extreme Atemgasverbrauch von 200 auf 100 bar in 15-20 min, unter der Vermutung einer initialen Flaschenfüllung von 200 bar und der Tatsache, dass es nach der beobachteten Bewusstlosigkeit schnell zum Ableben kam. Diesbezüglich wäre eine Atemgasverbrauchsberechnung interessant gewesen. Dass sich der Lungenautomat nicht im Mund befand, kann im Rahmen der Panik als auch als Zeichen für ein Essoufflement gewertet werden, wengleich auch ein Verlust des Mundstücks in Ohnmacht in Betracht kommt. Auch an ein Vereisen ist zu denken.

Retrospektiv beurteilt erscheint die im Rahmen der Ermittlung diskutierte Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie unwahrscheinlich. Der orale Austritt größerer Blutmengen ist kein typischer Befund einer Lungenüberdehnung. Vielmehr ist hier eine Verletzung von Mundschleimhaut oder Zunge im Rahmen des agonalen Kampfes oder ein vorangegangenes Barotrauma im HNO-Bereich zu vermuten. Zur sicheren Klärung der Blutungsursache wie auch zur Klärung der Todesursache wäre eine zeitnahe Sektion notwendig gewesen. Eine Überdehnung der Lunge ist vor Ort ohne Sektion - entgegen der Behauptungen des Notarztes - nicht zu diagnostizieren. Eine Sektion hätte gegebenenfalls auch Klarheit in das Durcheinander diverser Vermutungen zur gesundheitlichen Schädigung gebracht.

Gerade vor dem Hintergrund, dass die Tauchausrüstung von Mitarbeitern der Tauchbasis als in mangelhaftem Wartungszustand beschrieben wurde, wäre zudem eine technische Analyse erforderlich gewesen, um ein technisches Versagen auszuschließen. Unter dem mehrfach geäußerten Verdacht einer stattgehabten Panikreaktion sollte der Atemregler unter Simulation von Umgebungsdruck, Umgebungstemperatur und gesteigertem Atemminutenvolumen auf Vereisung getestet werden. Da der Bergende Probleme beim Aufblasen des Jackets hatte, wären diesbezüglich Funktionstests von großer Bedeutung gewesen. Tiefenabhängig benötigt es Zeit, bis ein fast leeres Jacket Auftrieb entwickelt, dennoch wäre ein technisches Problem auszuschließen gewesen. Die Untersuchung der ortsansässigen Tauchschiule hatte zwar keine wegweisenden Mängel festgestellt und eine Vereisung ausgeschlossen, jedoch ist zu beachten, dass die Untersucher über keine ausreichenden technischen Möglichkeiten verfügten, dies valide festzustellen. Zur vollständigen Beurteilung hätte die Untersuchung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen mit vollständiger Untersuchung der Ausrüstung und des Atemgases durchgeführt werden müssen. Der Verzicht auf eine Atemgasanalyse kann zu einer Verschleierung von Blackouts unter Wasser wie Kohlenstoffdioxid- oder Kohlenstoffmonoxidkontamination oder technische Probleme der Gasfüllanlage führen.

Im vorliegenden Fall ergibt sich die interessante tauchjuristische Fragestellung, ob der Sicherheitsstopp der Tauchgruppe vor dem Hintergrund der Annahme, die Verunfallte habe einen Notaufstieg gemacht, gerechtfertigt war, oder ob nicht mindestens ein Mitglied der Gruppe, möglicherweise das mit der größten Taucherfahrung, zur direkten Hilfeleistung an der Wasseroberfläche verpflichtet gewesen wäre. Der „obligatorische“ Sicherheitsstopp von 2 bis 3 min im Binnengewässer auf 3 m Tiefe kann und sollte gemäß einer Konsensuskonferenz internationaler Tauchmediziner zum Thema Unterwasserrettung von Tauchern aus

2012 zugunsten einer Partnerrettung ausgelassen werden, nicht jedoch alle anderen sicherheitsrelevanten Dekompressionsstopps, die vom Tauchcomputer (oder früher den Dekompressionstabellen) vorgegeben werden. Begründet wird die Empfehlung damit, dass der dreiminütige Sicherheitsstopp zusätzlich zu den ohnehin bereits schon auf Sicherheit kalkulierten Tauchtabellen eingeführt wurde. Er ist auch dann empfohlen, wenn keine anderen Dekompressionsstopps bei einem sogenannten „Nullzeittauchgang“ erforderlich sind, damit kleine Inertgasbläschen, die wegen der geringen Größe über eine sehr große Oberflächenspannung verfügen und noch instabil sind, vor einer weiteren exponentiellen Vergrößerung auf den letzten Metern noch „implodieren“ und damit das Gas abgeatmet werden kann. Im Rahmen einer Nutzen-Risiko-Abwägung bei einer Rettungsaktion ist diese Sicherheitsüberlegung gegenüber einer Rettung allerdings eindeutig zu vernachlässigen. [52] Das zusätzliche Risiko für den helfenden Mittaucher ist gegenüber dem möglicherweise lebensrettenden Einsatz für den verunfallten Taucher mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit minimal. Es wäre somit angesichts des Notfalles und der verstrichenen Tauchzeit-/Tiefe gefahrlos ein schnellerer Aufstieg für den Tauchgruppenleiter möglich gewesen. So sind von dem Unfallgeschehen bis zum Auffinden rund 16 Minuten vergangen. Da der vorliegende Fall vor 20 Jahren stattfand und diese aktuelle tauchmedizinische Empfehlung noch nicht veröffentlicht vorlag, wurde gemäß damaligen Empfehlungen und damit formal korrekt gehandelt. Allerdings wurden vor 20 Jahren diese zusätzlichen Sicherheitsstopps keinesfalls von allen Sporttauchern bei jedem Routineauftauchen eingehalten. Für heutige Fälle kann ein solches Verhalten möglicherweise rechtliche Konsequenzen im Rahmen der Garantenpflicht nach sich ziehen.

Insgesamt bleiben mehrere tauchjuristische Aspekte unbeachtet. Das festgelegte „fahrlässige Selbstverschulden“ muss aus tauchmedizinischer Sicht kritisch gesehen und hinterfragt werden, ein Fremdverschulden ist ohne fundierte Klärung einer Verantwortlichkeit der Verleiher der Ausrüstung und des Gruppenführers nicht eindeutig auszuschließen.

Auslöser	Alternativ:
Multipel, Überforderung durch nicht angemessene Tauchgangsplanung und Überforderung mit Panikreaktion des Tauchpartners	Unwahrscheinlichere Differentialdiagnose: Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie
Schädigungsmechanismus	
Hyperkapnie durch Essoufflement	
Gesundheitliche Schädigung	
Bewusstlosigkeit bei CO ₂ -Blackout	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab.10: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 5

4.2.6 Fall 6

Es handelt sich um den Fall eines 66-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Wiederholungstauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. In diesem Fall lag der Bericht einer Tauchtauglichkeitsuntersuchung durch einen Internisten und Sportmediziner vor, allerdings folgte dieser nicht den GTÜM-Kriterien. Lediglich anhand zweier Tests („Atem-Anhaltetest“; „Kreislauf-Belastbarkeitstest nach Ruffier“) wurde eine „ausreichende“ körperliche Belastbarkeit dokumentiert. Dem Arzt lagen ein Röntgenbild des Thorax und ein Ruhe-EKG vor. An Vorerkrankungen wurde ein medikamentös mit einem Betablocker behandelter arterieller Hypertonus erwähnt. Während der Untersuchung wurde ein Blutdruck von 170/90 mmHg dokumentiert. Die Ausstellung der Tauchtauglichkeit wurde vier Monate vor dem Unfall erteilt. Bezüglich einer Substanzanamnese lagen keine Informationen vor. Der Verunfallte besaß ein CMAS Gold/***-Zertifikat und war ein erfahrener Taucher mit über 2000 Tauchgängen, 80 davon im Hemmensee, und kaltwassererprobt.

Tauchgangspezifische Befragung

Die Wassertemperatur lag am Unfalltag im März bei 4°C, wobei nicht angegeben wurde, auf welche Tiefe sich die Angabe bezieht. Angaben zu Wetterbedingungen und Sichtverhältnissen wurden nicht dokumentiert.

Der Verunfallte verwendete seine eigene Ausrüstung. Die einzelnen Ausrüstungsteile wurden nicht im Detail gelistet. Verwendet wurde ein Trockentauchanzug. Die Pressluftflache habe er gefüllt von zu Hause mitgebracht. Über den Füllungsort lag keine Angabe vor. Gemäß polizeilichem Bericht begab sich der Verunfallte gemeinsam mit seinem langjährigen und ebenfalls sehr erfahrenen Tauchpartner zum Einstieg 3, der sich in der Nähe des sogenannten Rüttlers befindet. Der Tauchpartner gab an, beide hätten sich an diesem Tage in guter körperlicher Verfassung befunden. Zuvor sei an der Unfallstelle am Vormittag ein erster Tauchgang von 36 min. mit einer maximalen Tiefe von 45m durchgeführt worden. Weder während dieses Tauchgangs, noch in der Oberflächenpause von ca. 2 ¼ Stunden sei es nach Angabe des Tauchpartners zu Auffälligkeiten gekommen. Der zweite Tauchgang habe in 7 min auf 50 m Tiefe geführt; nach kurzem Aufenthalt habe man sich zu einem geplanten Aufstieg auf etwa 10 m Tiefe entschieden, wo man den Tauchgang in Ruhe habe beenden wollte. In einer Tiefe von 20-25 m habe der Tauchpartner, der sich neben dem Verunfallten befand, eine Rotationsbewegung des Verunfallten zur linken Seite bemerkt. Der Atemregler habe sich nicht mehr im Mund befunden. Nach Aussage des Tauchpartners sei ein zweimaliger Versuch, dem Verunfallten seinen Zweitautomaten (Anm.: der des Tauchpartners) in den Mund zu geben, erfolgt. Der Verunfallte habe einmalig daraus geatmet, ihn dann jedoch wieder ausgestoßen. Es sei die Inflation des Tauchanzuges des Verunfallten durch seinen Partner und der unmittelbare gemeinsame Aufstieg an die Oberfläche erfolgt.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Die Bergung sei erschwert gewesen, einerseits aufgrund der körperlichen Konstitution des Verunfallten (190 cm, 110 kg), andererseits aufgrund der örtlichen Bedingungen eines Steilufers. Der Tauchpartner gab an, nach Bergung eine Mund-zu-Mund-Beatmung versucht zu haben. Nach Erkenntnis, dass weitere

Rettungsmaßnahmen nötig waren, habe er jedoch eine Bergung des Verunfallten an Land und die Aktivierung der Rettungskette forciert. Reanimationsmaßnahmen durch Rettungsdienst und Notarzt blieben erfolglos. Der Notarzt dokumentierte eine ausgeprägte Gesichtszyanose und gab an, dass neben der möglichen Todesursache „Tod durch Ertrinken“ auch ein kardiovaskuläres Ereignis und ein Schlaganfall nicht auszuschließen seien. Offensichtlich wurden seitens des Notarztes auch Vermutungen in Bezug auf eine eventuelle „Schnappatmung“/Hyperventilation geäußert, da das Atemgas des Verunfallten komplett aufgebraucht war.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Da der Bergungsort an einem Steilufer lag erfolgte zunächst der Transport per Motorboot zu einem für den Abtransport des Bestattungsunternehmens günstigen Einstieg. Die Leichenschau erfolgte fünf Stunden später im Leichenschauhaus. Vom Ermittler wurde eine schriftliche Protokollierung und Fotodokumentation an der Leiche durchgeführt. Der Verunfallte trug einen Trockentauchanzug, sowie einen Thermooverall und lange Unterbekleidung. Art des Gewebes und Dicke des Tauchanzuges wurden nicht erwähnt. Der Tauchanzug wurde für die Untersuchung entfernt. Dokumentiert wurden eine ausgeprägte, durchbrechbare Leichenstarre sowie wegdrückbare Leichenflecken. Die Untersuchung von Körperoberfläche und Körperöffnungen sei bis auf einen Austritt blutig tingierter Flüssigkeit aus dem linken Mundwinkel unauffällig gewesen.



Abb. 20: Links: Auffindesituation bei Eintreffen der Ermittler. Rechts: Blutige Abrinnsuren z. B. durch einen Zungenbiss

Weiteres Vorgehen

Es erfolgte die Sicherstellung des Leichnams, der Tauchausrüstung und des Tauchcomputers des Verunfallten sowie des Tauchcomputers des Tauchpartners. Die Computer und die Tauchausrüstung wurden dem Inhaber der Tauchbasis zur Auswertung übergeben.

Untersuchung der Tauchausrüstung

Eine Übersendung an einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zur technischen Analyse erfolgte nicht. Die Überprüfung der Tauchausrüstung erfolgte durch den Betreiber der Tauchbasis. Hierbei habe sich ein Druck von 0 bar im System gezeigt. Beide Ventile der 15 L fassenden Tauchflasche seien voll geöffnet gewesen. Bei Betätigung des Lungenautomaten sei lediglich noch etwas Restatemgas entwichen. Der Restgasvorrat des Tauchpartners wurde mit 120 bar

festgestellt. Beide Flaschen hätten bei Testung vor dem Tauchgang gemäß Ermittlungsbericht 200 bar enthalten. Die weitere Inspektion der Ausrüstung ergab sowohl Vollständigkeit als auch einen guten Zustand und ordnungsgemäße Wartung aller Ausrüstungsteile. Es seien zwei separate Atemreglersysteme angebracht gewesen, wie es für den Hemmoorsee regulatorisch vorgegeben ist. Der Untersucher äußerte die Vermutung, dass der Lungenautomat des Verunfallten unter Wasser aufgrund einer Vereisung den gesamten Atemgasvorrat abgeblasen habe. Begründet sei dieser Verdacht auf der völligen Drucklosigkeit des Systems.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Durch den Betreiber der Tauchbasis erfolgte zudem das Auslesen des Tauchcomputers des Tauchpartners. Der Computer des Verunfallten war ein neueres Modell, welches durch die vor Ort verfügbare Software nicht auszulesen war. Der Untersucher bot sich an, die Daten privat auszulesen und übermittelte die Daten an die Ermittler. Das telefonisch übermittelte Tauchprofil entspreche dem des Tauchpartners. Der Tauchcomputer des Tauchpartners befand sich vor dem Auslesen in einem Warnmodus aufgrund der schnellen Aufstiegs geschwindigkeit. Die Tauchgänge sind in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt. Im Profil des ersten Tauchgangs zeigt sich eine kurze Warnmeldung des Computers aufgrund zu schneller Aufstiegs geschwindigkeit, worauf mit einem erneuten Abtauchen um 5 m und anschließend langsamerem Auftauchen reagiert wurde. Das Profil des zweiten Tauchgangs zeigt ein Abtauchen auf 50 m in 7 min mit einem kurz darauf erfolgten stetigen Aufstieg. Nach Angabe des Tauchpartners wurde das Problem auf 20 bis 25 m erkannt und mit den Maßnahmen zur Hilfeleistung begonnen. Im Profil ist passend hierzu eine Plateauphase von 2 min auf 22 m Tiefe zu erkennen. Es zeigt anschließend einen schnellen Notaufstieg aus 22 m Tiefe innerhalb von 60 sek passend zu der Angabe des Tauchpartners, er habe zur Bergung des Verunfallten dessen Tauchanzug mit Luft gefüllt, woraufhin ein Notaufstieg erfolgt sei.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

„Ertrinken beim Tauchgang durch Vereisung des Atemreglers“. Basierend auf der Aussage des die Tauchausrüstung untersuchenden Betreibers der Tauchbasis wurde von einer Vereisung des Atemreglers bei 4°C Wassertemperatur als Unfallursache ausgegangen. Eine damit in Zusammenhang stehende körperliche Komponente wie „die Verbindung mit einer sogenannten Schnappatmung“ könne seitens des Ermittlers „aufgrund fehlender Kenntnis nicht als ursächlich bestätigt werden“. Das Ereignis wurde zudem als ein „Zusammentreffen unglücklicher Umstände“ gewertet. Die Todesursache wurde als Unglücksfall durch höhere Gewalt gewertet. Ein Fremdverschulden wurde ausgeschlossen. Eine Sektion wurde nicht beantragt.

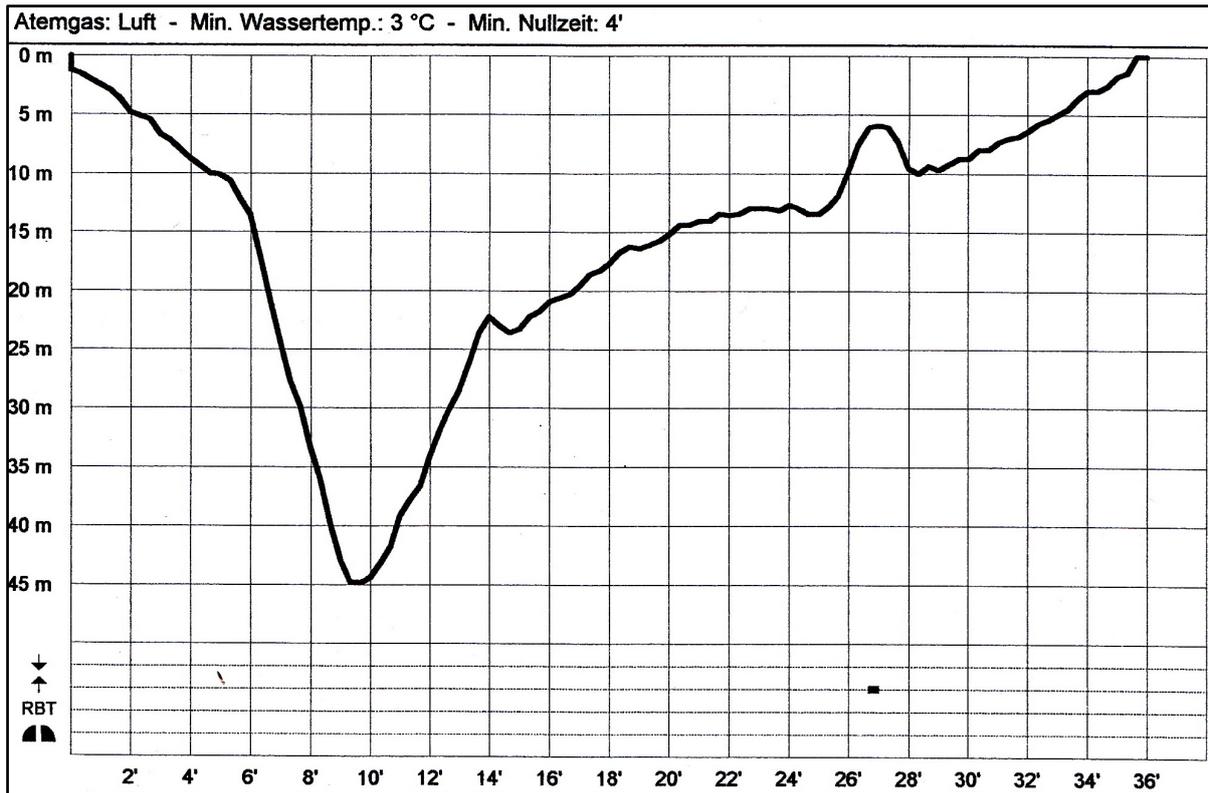


Abb. 21: Profil des ersten Tauchgangs; Aufzeichnung aus dem Tauchcomputer des Tauchpartners

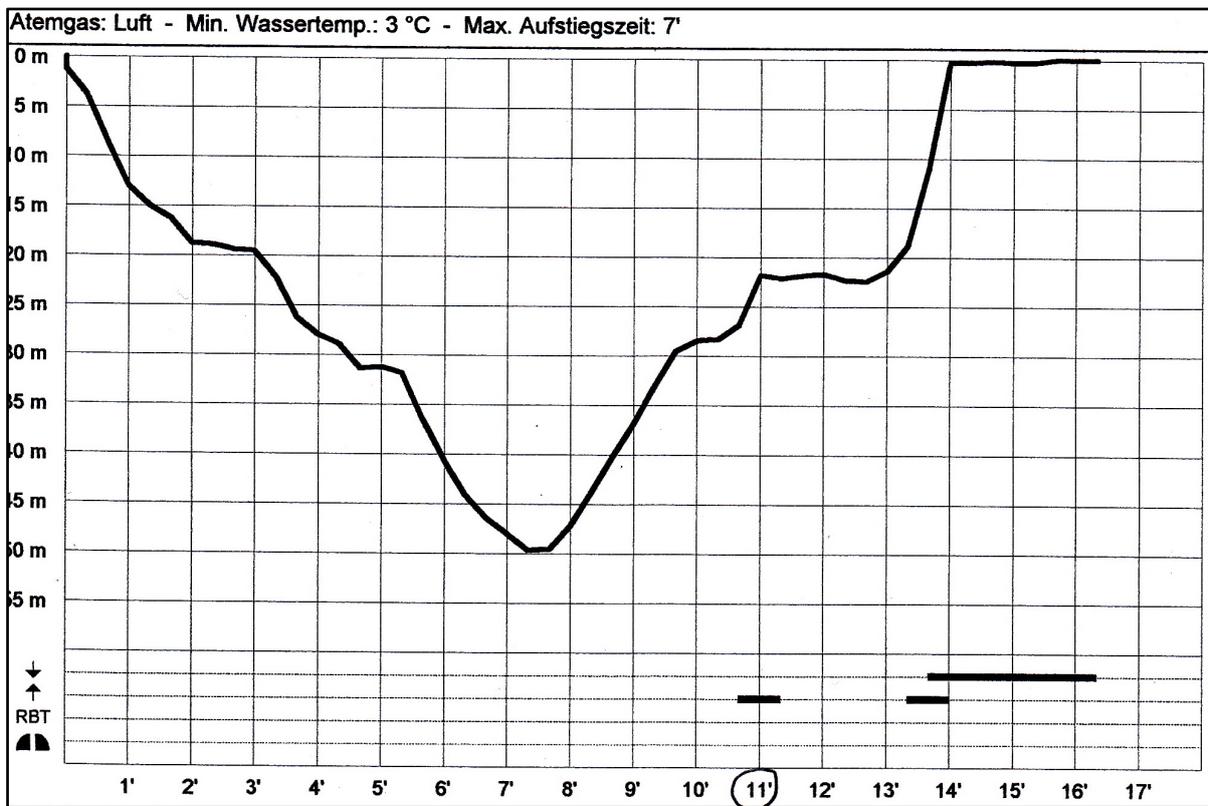


Abb. 22: Profil des Wiederholungstauchgangs; Aufzeichnung aus dem Tauchcomputer des Tauchpartners

Beurteilung

Als Schädigungsmechanismus kann in diesem Fall eine „out of air“-Situation bei verbrauchter Atemgasreserve gesehen werden. Eine Vereisung des Atemreglers als Auslöser und Ursache für ein komplett entleertes Atemgassystem ist grundsätzlich denkbar, jedoch wäre es in diesem Fall zu einem massiven Abblasen der zweiten Stufe gekommen, was in der Regel bei einer regelhaft kommunizierenden Tauchgruppe nicht unbemerkt geblieben wäre. Der Tauchpartner berichtete jedoch nicht über ein Abblasen der zweiten Stufe, was das Szenario unwahrscheinlich macht. Ohne umfangreiche technische Analyse durch einen Sachverständigen bleibt die Theorie einer Vereisung reine Spekulation. Zum Nachweis wären weitere Untersuchungen nötig gewesen. Eine äußere Inspektion reicht zur Beurteilung des Lungenautomaten nicht aus. Einige Fehlfunktionen zeigen sich erst mithilfe einer Prüfbank, oft sogar erst unter erhöhten Druckbedingungen oder in einer komplexen Simulation der realen Bedingungen unter Wasser, bei erhöhtem Druck und angepasster Umgebungstemperatur. Dieser Test bedarf eines komplexen Untersuchungsaufbaus mit Druckkammer, Wasserreservoir und –kühlung, kann dann aber ein Vereisen des Lungenautomaten unter bestimmten Bedingungen nachweisen. [21] Eine Vereisung kann durch ein gesteigertes Atemminutenvolumen getriggert werden. Hinweise darauf waren offensichtlich bereits durch den anwesenden Not- und Taucherarzt geäußert worden. Auch eine Analyse des Atemgases wäre erforderlich gewesen, um auszuschließen, dass zu feuchte Atemluft eine Vereisung getriggert haben könnte oder es durch Verunreinigung des Atemgases zu einer Intoxikation mit Bewusstlosigkeit gekommen ist. Dieser Fall ist jedoch beispielhaft dafür, wie durch Manipulation vor Ort (Betätigung der Luftdusche) das letzte analysierbare Beweismittel in Form einer geringen Restmenge an Atemgas beseitigt wurde. Aus der Restmenge hätte durch einen Sachverständigen noch eine Atemgasanalyse durchgeführt werden können. Vor Ort sollte in keinem Fall die Luftdusche betätigt werden, vielmehr sollte vor Übermittlung an den Sachverständigen das Flaschenventil unter Dokumentation der benötigten Umdrehungen verschlossen und keine Manipulation am Atemregler durchgeführt werden.

Als Schädigungsmechanismus und Ursache für die „out of air“-Situation des Verunfallten deutlich wahrscheinlicher als eine Vereisung ist auf Basis der Zeugenaussage des Tauchpartners ein gesteigerter Verbrauch bei massiv gesteigertem Atemminutenvolumen. Naheliegend als Ursache für ein erhöhtes Atemminutenvolumen ist in diesem Fall eine gesundheitliche Vorschädigung als Auslöser, welche in Immersion und unter körperlicher Belastung verstärkt wurde und zu einem gesteigerten Atemminutenvolumen führte. Die durch den vollständigen Verbrauch von Atemgas herbeigeführte „out of air“-Situation führte dann höchstwahrscheinlich zu einem hypoxiegetriggerten kardialen Akutereignis. Der Tauchpartner bemerkte eine plötzliche Rotationsbewegung des Verunfallten zur linken Seite. Der Verunfallte habe den Atemregler nicht mehr im Mund gehabt und sei nicht in der Lage gewesen, den Reserveautomaten des Tauchpartners im Mund zu halten und sichtbar daraus zu atmen. Diese Schilderung spricht stark gegen eine Vereisung und für ein inneres Akutereignis. Andere Ursachen für ein gesteigertes Atemminutenvolumen erscheinen auf Basis der Zeugenaussage unwahrscheinlich. Zwar ist bereits durch milde Unterkühlung („Frösteln“) eine signifikante Steigerung des Atemgasverbrauchs möglich [53], jedoch dürfte in diesem Fall ein ausreichender Kälteschutz durch den Trockentauchanzug und die Unterbekleidung bestanden

haben. Große Anstrengung durch externe Faktoren bestanden nach Schilderung des Tauchgangs durch den Tauchpartner nicht.

Eine große Unklarheit in diesem Fall entsteht, wenn eine Berechnung des Luftverbrauchs auf Basis des Tauchprofils und physiologischer Daten des Verunfallten durchgeführt wird. Für diesen Fall wurde eine Berechnung des Luftverbrauchs durch Dr. Dietmar Berndt zur Verfügung gestellt. (siehe Abb. 24). Die Berechnungen verdeutlichen, dass zu Beginn des akuten Problems noch 2/3 des Gasvorrats bestanden haben dürften, wenn die Angabe bzgl. der Flaschenfüllung korrekt war (200 bar, 15 L). Ein gesundheitliches Problem kann zwar den Atemgasverbrauch massiv steigern, jedoch nicht auf > 50 l/min und kann somit nicht allein zur „out of air“-Situation geführt haben. Die Berechnung verdeutlicht den Stellenwert einer qualifizierten und umfangreichen Analyse von tödlichen Tauchunfällen durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen für die sorgfältige Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls.

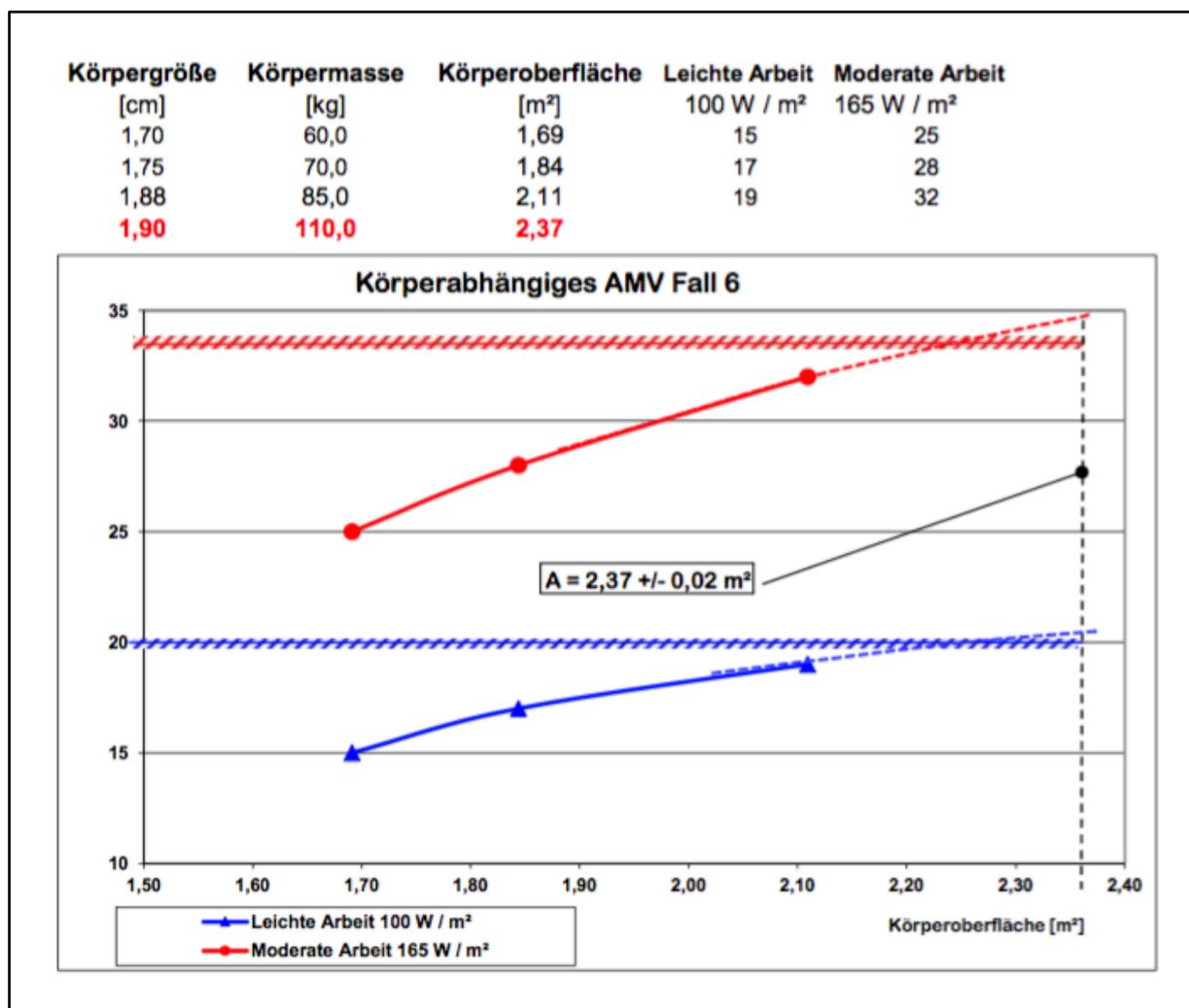


Abb. 23: Berechnung des körperabhängigen Atemminutenvolumens anhand physiologischer Daten für Fall 6. Verwendung mit freundlicher Genehmigung durch Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

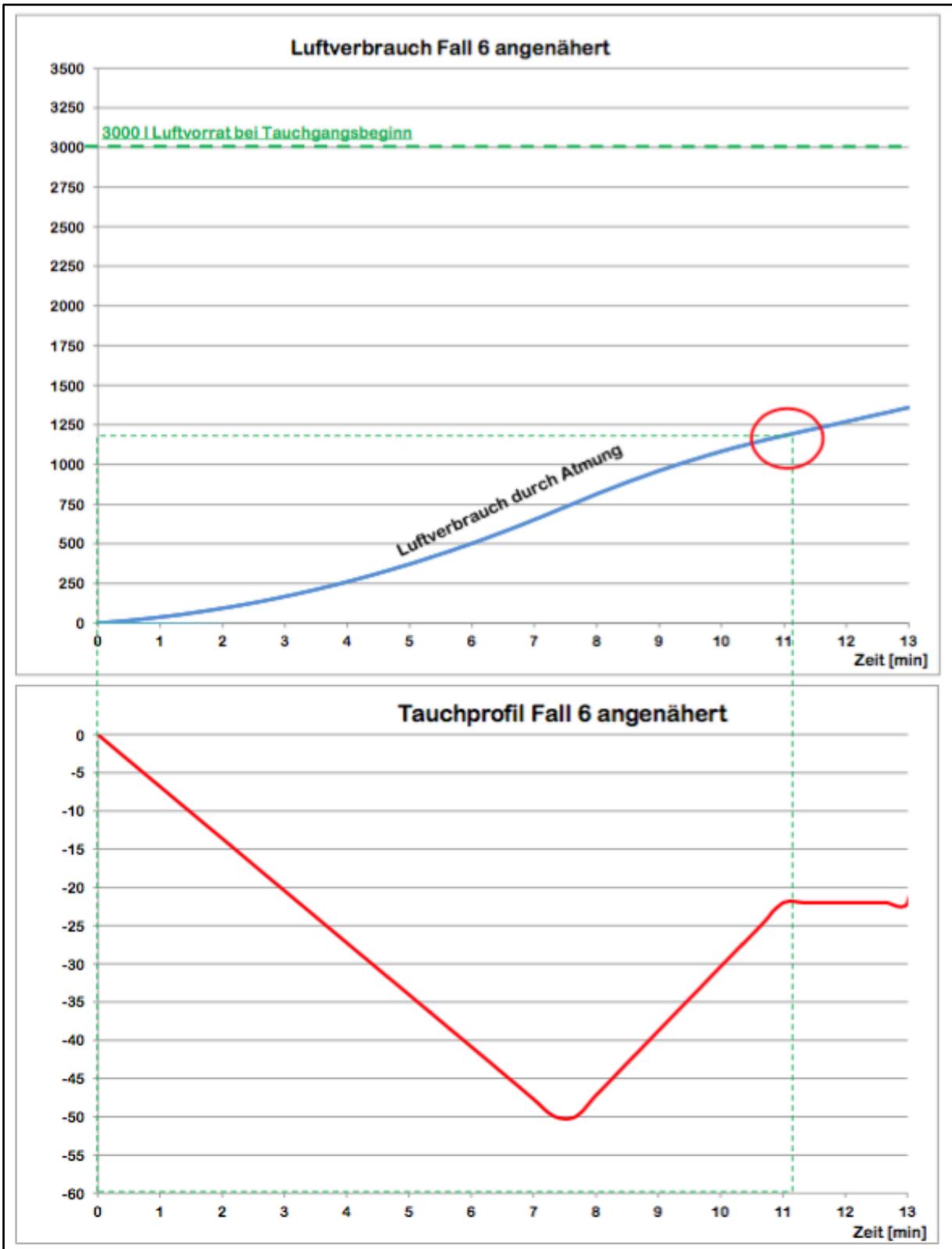


Abb. 24: Berechnung des Luftverbrauchs für Fall 6. Verwendung mit freundlicher Genehmigung durch Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

Die Daten eines Tauchcomputers können bei tödlichen Tauchunfällen entscheidenden Stellenwert haben. Keinesfalls sollten die Daten von einem nicht öffentlich bestellten und vereidigten Untersucher ausgelesen werden, schon gar nicht privat und mit nur mündlicher Übermittlung der Daten. Allein in Hinblick auf

eventuelle Interessenskonflikte ist dies suboptimal, zudem ist für eine umfassende Analyse ein höherer technischer Aufwand nötig, etwa ein minutiöser Abgleich der Tauchprofile des Verunfallten und des Tauchpartners.

Für ein internes gesundheitliches Problem lagen anamnestisch viele Hinweise vor. Bei dem Verunfallten war ein arterieller Hypertonus vorbeschrieben. Tauchtauglichkeit besteht bei arterieller Hypertonie mit stabiler Einstellung der Zielwerte und nach Ausschluss von Endorganschäden. Relative Kontraindikationen bestehen bei nachgewiesener linksventrikulärer diastolischer Dysfunktion, absolute Kontraindikationen bei linksventrikulärer Hypertrophie oder abseits einer stabilen Einstellung. [43 S. 256] Für die tauchmedizinische Beurteilung eines arteriellen Hypertonus und Ausschluss einer bei arteriellem Hypertonus häufig bestehenden diastolischen Dysfunktion ist somit eine Echokardiographie notwendig, welche jedoch offensichtlich nicht durchgeführt wurde. Bei einem im Rahmen der Tauchtauglichkeitsuntersuchung gemessenen Ruhe-Blutdruck von 170/90 mmHg lag definitiv keine ausreichende Einstellung vor, eine Tauchtauglichkeit bestand nach aktuellen Empfehlungen somit nicht. Nicht auszuschließen ist in diesem Fall eine hypertensive Krise mit zerebralen Komplikationen, die zur Handlungsunfähigkeit und Bewusstlosigkeit geführt haben könnten. Auch das ursächliche oder begleitende Auftreten eines Taucherlungenödem (SDPE) mit daraus resultierender Dyspnoe und Panik ist in diesem Fall möglich (siehe auch Kap. 3.8.4). Studien zeigten, dass bei kardialen Vorerkrankungen wie einem arteriellen Hypertonus eine verminderte Toleranz für die unterschiedlichen physiologischen Belastungen beim Tauchen besteht. Arterieller Hypertonus führt zu einer diastolischen Dysfunktion, durch die es zu erhöhtem Druck in den Atrien und Lungenkapillaren und zu vermehrter Permeabilität in die Alveolen mit Ausprägung eines Lungenödems kommt. [68, 74] Starke Anstrengung kann verstärkend wirken. Neuere Studien beschrieben einen Zusammenhang von SDPE und reversiblen myokardialen Dysfunktionen (RMD) ähnlich der Takotsubo-Kardiomyopathie [64], wobei ungeklärt ist, ob die RMD primär ursächlich ist oder sekundär durch den SDPE-bedingten Stress entsteht [65]. Primäre Todesfälle durch ein SDPE sind selten, kommen jedoch vor [94, 98]. Hingegen wird der Stellenwert eines SDPE als verstärkender Faktor in einem fatalen Gesamtgeschehen häufig unterschätzt. Wilmshurst beschreibt eine Häufung von Todesfällen durch IPE/SDPE bei sehr erfahrenen Tauchern im fortgeschrittenen Alter. Er vermutet, dass SDPE verbreitet ist und dass es sich um eine ernste und häufige Erkrankung und gelegentliche Todesursache handelt. Zum Tod komme es dabei vor allem durch schwere Hypoxie mit resultierender Bewusstlosigkeit und nachfolgendem Ertrinken. [65, 101]

Unter Therapie mit Beta-Adrenozeptor-Antagonisten (Betablockern) ist das Tauchen generell nicht empfohlen, da es zu einer mangelnden Adaptation der erforderlichen Herzleistung unter Wasser kommen kann. Zudem besteht ein erhöhtes Risiko für Bronchospasmen, was beim Tauchen eine Überdehnung der Lunge begünstigen kann. [43 S. 62] Bronchospasmen können in Verbindung mit Anstrengung bei einem Tauchgang schnell zu einer hoch riskanten Situation führen. Berndt verdeutlicht in einer Veröffentlichung über Atemarbeit beim Tauchen die Auswirkungen von erhöhter Anstrengung mit vertiefter und beschleunigter Atmung (erhöhtes Atemzugvolumen und erhöhte Atemfrequenz) und verengten Atemwegen im Sinne verengter Strömungsquerschnitte. Die Veränderungen von Atemzugvolumen und Atemfrequenz gehen quadratisch in die Atemarbeit ein. Eine um nur 50 % vertiefte und 50 % beschleunigte Atmung erhöht die Atemarbeit bereits um den Faktor 2,5.

Der Strömungsquerschnitt geht in die Atemarbeit in der 4. Potenz ein, so dass geringe Verlegungen der Atemwege mit Verringerung des Strömungsquerschnitts zu einer massiven Steigerung der Atemarbeit führen können. [46] Auch dieser Aspekt kann somit zur Steigerung des Atemgasverbrauchs beigetragen haben. Zudem kann es bei der Einnahme von Betablockern zu Schwindel oder Müdigkeit während der Dosisanpassung kommen [43 S.62].

Mit dem arteriellen Hypertonus sowie einem leichten Übergewicht bei einem BMI von 30,5 bestand eine Prädisposition für kardiovaskuläre Erkrankungen. Deswegen ist auch ein akutes kardiovaskuläres Ereignis im Sinne eines Herzinfarktes nicht ausgeschlossen. Auch ein Schlaganfall kann vorgelegen haben. Alle erwähnten Erkrankungen können zu einem gesteigerten Atemminutenvolumen führen und wären durch eine Sektion auszuschließen gewesen. Auch in diesem Fall hätte der Ausschluss einer internen Ursache erfolgen müssen. Ein chemisch-toxikologisches Gutachten zum Ausschluss einer Intoxikation mit gängigen Sedativa und/oder Drogen wäre für die Tauchunfallanalyse ebenso erforderlich gewesen wie die Abklärung eines Diabetes mellitus.

Differentialdiagnostisch und als verstärkender Aspekt zu bedenken ist auch ein Essoufflement mit Hyperkapnie. Für ein Essoufflement spräche, dass der Verunfallte zunächst aus dem Zweitautomaten des Partners atmete, ihn dann jedoch ablehnte. Mit 50 m Tiefe lag ein Trigger für ein Essoufflement vor.

Insgesamt bleibt unklar, ob die Todesursache ein Ertrinken als Folge der plötzlich eingetretenen Bewusstlosigkeit war, oder ob ein inneres kardiales oder zerebrales Akutereignis zum Ableben führten. Für letzteres spricht, dass bei der Leichenschau keine äußeren Zeichen eines Ertrinkungstodes wie ein Schaumpilz vorlagen. Ein Schaumpilz ist nicht bei jedem Ertrinkungstod, jedoch häufig vorhanden. Typisch ist ein weißlicher Ertrinkungsschaumpilz mit seitlicher blutig tingierter Abrinns spur. In diesem Fall ist die Blutspur zu dunkel für eine blutig tingierte Abrinns spur. Die Blutung ist wahrscheinlich rettungsdienstbedingt oder in Zusammenhang mit einer Verletzung, z. B. durch einen Zungenbiss, zu sehen.

Zusammengefasst zeigt sich der wahrscheinliche Ablauf wie folgt: Bei gesundheitlicher Vorschädigung durch einen schlecht eingestellten arteriellen Hypertonus kam es in Immersion und bei körperlicher Belastung zu einer Aggravation, beispielsweise zu einer hypertensiven Krise oder einem Taucherlungenödem. Auch eine kardiovaskuläre Komplikation ist denkbar, da ein arterieller Hypertonus einen Risikofaktor darstellt. Die Aggravation führte zu einem massiv gesteigerten Atemgasverbrauch mit folgender „out of air“-Situation. Die dadurch eintretende Hypoxie triggerte schließlich ein kardiales Akutereignis. Zur Aggravation kann darüber hinaus ein typisches Essoufflement beigetragen haben. Unklarheit besteht nach Berechnung des Atemgasverbrauchs weiterhin in Bezug auf die rasche Leerung der Flasche. Offen bleibt die Frage, ob die Flasche wirklich mit 200 bar gefüllt gewesen ist, ob es die gleiche wie beim ersten Tauchgang war und zwischenzeitlich nicht gefüllt wurde, ob sie ggf. nicht korrekt gefüllt wurde oder ob eine andere Flasche verwendet wurde. Auch die Aussage des Tauchpartners hätte vor diesem Hintergrund erneut kritisch hinterfragt werden sollen.

Insgesamt blieben viele wesentliche zu beantwortende Fragen offen. Ein technisches Gutachten und eine Sektion wären zur adäquaten Untersuchung des Falls unverzichtbar gewesen.

Auslöser
Gesundheitliche Vorschädigung – Verstärkung in Immersion und bei Belastung
Schädigungsmechanismus
massiv gesteigerter Atemgasverbrauch, ggf. unzureichende Flaschenfüllung – „running out of air“
Gesundheitliche Schädigung
Hypoxie
Todesursache
Hypoxiegetriggertes kardiales Akutereignis

Tab. 11: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 6

4.2.7 Fall 7

Es handelt sich um den Fall eines 44-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Freizeittauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Angaben zur medizinischen Vorerkrankungen, zur Substanzanamnese und zur Tauchtauglichkeit lagen nicht vor. Es lagen Hinweise zur Brevetierung des Verunfallten vor. Laut Taucher-Logbuch handele es sich um einen erfahrenen Tauchlehrer mit 930 Tauchgängen, davon auch etliche im Hemmoorsee.

Tauchgangspezifische Befragung

Der Verunfallte befand sich mit einer Tauchgruppe im Urlaub am Hemmoorsee. Es lagen keine Angaben zu Umgebungs-, Wassertemperaturen und Sichtverhältnissen am Ereignistag im Oktober vor. Die Gruppe ging am Einstieg 3 für einen Tauchgang in den See. Über Art und Ziel des Tauchgangs sowie Details über die verwendete Ausrüstung und das verwendete Atemgas fehlen in der Befragung die Angaben. Es wurde in Zweiergruppen abgetaucht. Kurz nach dem Abtauchen sei der Verstorbene nach Aussage seines Tauchpartners, ebenfalls ein erfahrener Taucher und Tauchlehrer mit über 1000 Tauchgängen, direkt nach dem Einstieg „plötzlich nach unten weggesackt“. Dies sei so schnell geschehen, dass der Tauchpartner ihn nicht mehr erreichen konnte. Er sei weiter abgesunken und außer Sichtweite geraten. Ein etwas tiefer befindliches Buddyteam aus der Gruppe berichtete darüber, dass über ihnen plötzlich ein „Durcheinander herrschte“. Kurz darauf wäre ein Taucher senkrecht kopfüber an ihnen vorbei abgesunken. Auch dieses Team habe den

Verstorbenen nicht erreichen können. Dies habe nach Aussage der Gruppe auf 30 m Wassertiefe stattgefunden. Die gesamte Tauchgruppe sei hiernach aus 30 m Tiefe sehr schnell aufgetaucht. Dekompressionsstopps seien dabei nicht eingehalten worden. Laut Ermittlungsbericht sei es bei einigen Mitgliedern der Gruppe anschließend zu geringen Atemproblemen gekommen, die aber nicht „ernsterer Natur“ gewesen seien. Zwei Personen wurden anschließend ärztlich versorgt. Laut Bericht wurde eine dieser Personen anschließend mit einem Rettungshubschrauber zur spezifischen Tauchunfallbehandlung zu einem Druckkammerzentrum verlegt.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Der Verstorbene wurde im Rahmen einer umfangreichen Suchaktion in 41 m Tiefe von anderen Sporttauchern gefunden und geborgen. Genauere Angaben dazu, in welchem Zustand sich der Körper und die Ausrüstung unter Wasser befunden haben, liegen nicht vor. Nach erfolgloser Reanimation wurde der Verunfallte schließlich für tot erklärt. Anschließend erfolgte der direkte Transport der Leiche zum Bestatter.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Es fehlen Angaben zur Leichenschau, da unmittelbar nach der Bergung die Freigabe der Leiche zur Bestattung erfolgte.

Weiteres Vorgehen

Die Tauchgerätschaften der Gruppe wurden beschlagnahmt. Der Tauchcomputer und das Equipment des Verunfallten wurden ebenfalls beschlagnahmt. Die Logbücher des Verunfallten und des Tauchpartners wurden gesichtet; sie seien ordnungsgemäß geführt und würden keine wegweisenden Auffälligkeiten vorweisen.

Untersuchung der Tauchausrüstung, der Atemgase und des Tauchprofils

Die Tauchausrüstung wurde von einem anwesenden Taucherarzt und dem Tauchbasisbetreiber überprüft. Die Geräte seien in einwandfreiem Zustand und dabei von gehobener Ausstattungskategorie gewesen. Alle Erfordernisse für Tauchgänge im Kaltwasser seien erfüllt gewesen. Die Flaschen seien allesamt noch fast vollständig gefüllt. Es fanden keine weiteren Untersuchungen der Ausrüstung, des Tauchprofils sowie Analyse des Atemgases und Auswertung der Daten des Tauchcomputers durch einen polizeilich bestimmten unabhängigen Gutachter statt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Es wurde keine rechtsmedizinische Untersuchung durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Im polizeilichen Abschlussbericht wird erwähnt, dass von den vor Ort anwesenden Taucher- und Notärzten bei fehlenden technischen Mängeln an der Ausrüstung ein plötzlich aufgetretenes gesundheitliches Problem für sehr wahrscheinlich gehalten wurde. Das plötzliche „Wegsacken“ weise auf eine akute Bewusstlosigkeit hin. Ein Fremdverschulden wurde nicht angenommen. Das kriminalpolizeiliche Ermittlungsergebnis sprach für einen natürlichen Tod bei „V. a. Ertrinken im Rahmen eines Tauchunfalls mit tödlichem Ausgang“.

Beurteilung

Todesursache, sowie Auslöser, Schädigungsmechanismus und gesundheitliche Schädigung lassen sich in diesem Fall auf Basis der minimalen Informationen in

keiner Weise zufriedenstellend klären. Es bleiben beinahe alle Fragen offen, die durch eine Untersuchung der Tauchausrüstung, der Atemgase und eine Sektion gegebenenfalls hätten geklärt werden können.

In diesem Fall wurde ein verhältnismäßig junger und mit 930 Tauchgängen und Brevetierung als Tauchlehrer erfahrener Taucher mittleren Alters ohne Vorzeichen unmittelbar nach Immersionsbeginn plötzlich bewusstlos und sank mit dem Kopf voran in die Tiefe. Diese Schilderung bietet genug Veranlassung für eine umfangreiche Untersuchung. Die geäußerte Todesursache „V. a. Ertrinken“ kann nicht uneingeschränkt geteilt werden, da es völlig unklar bleibt, ob und warum der Verunfallte ursächlich bewusstlos wurde oder ob es differentialdiagnostisch zu einem plötzlichen Herztod kam. In diesem Fall ist ein kardiales Ereignis aufgrund der Anamnese wahrscheinlicher als ein Ertrinken. Wenn es zum Ertrinken kam, dann sekundär aufgrund einer Bewusstlosigkeit.

Aus der Vielzahl möglicher gesundheitlicher Schädigungen sind schon allein aufgrund statistischer Überlegungen zu tödlichen Wasserunfällen akute kardiovaskuläre Ereignisse hervorzuheben. In der Literatur wird der Anteil kardiovaskulärer Erkrankungen an mindestens einem der zum Tode führenden Faktoren zwischen 25 und 32 % beschrieben [12, 13]. Kommt es bei einem per se nicht tödlichen kardiovaskulären Ereignis zur Bewusstlosigkeit oder Handlungsunfähigkeit anderer Art, endet dies unter Wasser oft fatal [28]. Der Verunfallte befand sich in einem Alter, in dem vor allem bei genetischer Disposition und Nikotinkonsum häufig kardiovaskuläre Erstereignisse auftreten, viele davon auch primär fatal. Über Vorerkrankungen, Nikotinkonsum und Familienanamnese liegen allerdings keine Angaben vor. Eine gezielte Anamnese nach frühen und fatalen kardiovaskulären Ereignissen in der Familie hätte wegweisend sein können, ebenso hätten kardiovaskuläre Ereignisse durch eine Sektion abgeklärt werden können.

Grundsätzlich ist bei diesem Fall der akute Immersionseffekt zu diskutieren. Unmittelbar mit Immersion kommt es zur Verlagerung signifikanter peripherer venöser Blutvolumina zentral in den Thoraxraum, was zu einer akuten kardialen Vorlasterrhöhung führt. Ende Oktober sind die Wassertemperaturen bereits niedrig. Über die Tauchausrüstung liegen zwar keine Angaben vor; bei Nutzung eines Nasstauchanzugs käme es im Moment der Flutung über die vasokonstriktive Kältereaktion der Haut zusätzlich zu einer Nachlasterrhöhung. Beides kann kardiale Akutereignisse triggern, sowohl kardiovaskuläre Ereignisse als auch eine akute Herzinsuffizienz im Rahmen von Herzmuskelerkrankungen, insbesondere jedoch ventrikuläre Herzrhythmusstörungen im Rahmen von Ionenkanalerkrankungen. Die Erhöhung von Vor- und Nachlast in Immersion und bei Kälte können auch zu einem Taucherlungenödem (SDPE) führen, was eine Rolle bei kardialen Ereignissen spielen kann. Fatale Ereignisse bei einem Taucherlungenödem sind selten, jedoch möglich. Eine unterschätzte Rolle spielt es als begleitender Faktor kardialer Ereignisse beim Tauchen.

Bemerkenswerterweise werden in diesem Fall keine äußerlich sichtbaren ertrinkungstypischen Befunde beschrieben. Eine Herzrhythmusstörung als gesundheitliche Schädigung oder Todesursache ist hochwahrscheinlich. Herzrhythmusstörungen können in Immersion sowohl ausgelöst durch ein kardiovaskuläres Ereignis auftreten als auch im Rahmen eines Badetods und/oder einer Ionenkanalerkrankung. Als Badetod bezeichnete primär rhythmogene

Synkopen werden vor allem durch vagale Reflexe durch Wasserkontakt ausgelöst. Prädisponierend für einen Badetod können kardiale Erkrankungen sein. Eine besondere Rolle spielen hier genetische Dispositionen wie beim Brugada-Syndrom und weiteren Ionenkanalerkrankungen. Besonders bei tödlichen Tauchunfällen in jungen Jahren ist dieser Aspekt besonders zu bedenken [55]. Die Ionenkanalerkrankungen stehen zunehmend im Mittelpunkt der Forschung. Es wird angenommen, dass für viele Fälle von „idiopathischem Kammerflimmern“ und bei vielen unklaren Fällen von plötzlichem Herztod bei Erwachsenen Ionenkanalerkrankungen ursächlich sind [72]. Von besonderem Interesse in Bezug auf tödliche Tauchunfälle ist das Long QT-Syndrom 1, welches typischerweise bei starker körperlicher oder emotionaler Anspannung und bei akuter Immersion auftritt. Typisch ist der vermeintliche Ertrinkungstod beim Schwimmen ausgelöst durch Kammerflimmern. [71, 72, 56, 104] Eine Studie ergab einen Anteil von genetisch nachgewiesenen Ionenkanalerkrankungen (Long-QT-Syndrom 1 und katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie) bei 28,6 % der unklaren Todesfälle beim Schwimmen; in vielen weiteren Fällen wurden unspezifische Ionenkanalpolymorphismen, welche die Wahrscheinlichkeit einer Arrhythmie beim Schwimmen erhöhen können, nachgewiesen [71]. Die Studie verdeutlicht eindrucksvoll den Stellenwert von Ionenkanalerkrankungen bei vermeintlich ungeklärten spontanen Todesfällen beim Wassersport und zeigt, dass diese Erkrankungen bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle vor allem bei jüngeren Verunfallten mehr Berücksichtigung finden sollten [71]. Für die Umsetzung regelmäßig eingesetzter genetischer Untersuchungen bei unklaren Todesfällen im Wasser beispielhaft zu nennen ist unter anderem Australien. Für Deutschland wurde im Februar 2021 ein Konsensuspapier einiger Fachgesellschaften (Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK), Deutsche Gesellschaft für pädiatrische Kardiologie (DGPK), Deutsche Gesellschaft für Humangenetik (GfH), Deutsche Gesellschaft für Pathologie (DGP), Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM)) veröffentlicht, welche die aktuellen Leitlinien zur Durchführung von Obduktionen/Sektionen ergänzen soll. Das Konsensuspapier enthält Handlungsempfehlungen für eine molekulare Autopsie (postmortale molekulargenetische Untersuchung von Erbmaterial auf Genmutationen) insbesondere bei unklaren Todesfällen im Alter von < 40 Jahren (siehe auch Kapitel 5.4.6). Die molekulare Autopsie rückt in Deutschland insgesamt immer mehr in den Fokus. [126]

Auch eine Kardiomyopathie kommt als Verdachtsdiagnose in Frage. Vor allem hypertrophe Kardiomyopathien führen nicht selten zum plötzlichen Herztod bei jungen und jüngeren Sportlern. Auch an eine arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie oder eine floride Myokarditis sollte gedacht werden.

Der Nachweis einer Kardiomyopathie oder Ionenkanalerkrankung hätte nicht nur für die Aufklärung des Falles Konsequenzen, sondern aufgrund ausgeprägter genetischer Dispositionen auch für die Angehörigen. Viele Ionenkanalerkrankungen zeigen einen autosomal-dominanten Erbgang.

Auch ein stattgehabter Apoplex erscheint in diesem Fall möglich, ebenso eine Bewusstseinsstrübung durch toxische Substanzen. Eine Anamnese in Bezug auf toxische Substanzen wie Alkohol, Drogen und sedierende Medikamente lag hier wie in vielen anderen Fällen nicht vor, ebenso fehlen Aussagen über das Befinden des Verunfallten vor dem Tauchgang.

Zusammenfassend wären eine sorgfältige Familienanamnese auf Rhythmusereignisse beim Verunfallten oder Familienmitgliedern, ungeklärte Todesfälle oder kardiovaskuläre Erkrankungen, eine Befragung zuletzt behandelnder Ärzte bezüglich kardialer Vorerkrankungen und eine Sektion samt chemisch-toxikologischer Untersuchung unabdinglich gewesen.

Auch in diesem Fall beschränkt sich die technische Untersuchung der Ausrüstung auf eine Einschätzung eines Mitarbeiters der Tauchbasis und eines anwesenden Taucherarztes. Es mag diesbezüglich technisches Wissen vorgelegen haben, jedoch reichen die vor Ort verfügbaren Untersuchungsmöglichkeiten bei Weitem nicht aus, um eine qualifizierte Aussage zur Funktionsfähigkeit der Tauchausrüstung abgeben zu können. Ein „einwandfreier Zustand“ kann ohne Zusatzuntersuchungen durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen nicht festgestellt werden.

Es lagen keine Informationen zum verwendeten Atemgas vor. Obwohl eine Intoxikation durch Verunreinigung oder falsche Zusammensetzung des Atemgases als Ursache der Bewusstlosigkeit aufgrund der kurzen Latenz zwischen Beginn der Atmung aus dem offenen Tauchsysteem und dem akuten Ereignis nach Abtauchen eher unwahrscheinlich ist, wäre die Gasanalyse zum sicheren Ausschluss erforderlich gewesen.

In einer Studie von Denoble et al. zur Untersuchung von Ursachen tödlicher Tauchunfälle wurden unter anderem Faktoren untersucht, die mit einer Bewusstlosigkeit unklarer Genese, wie sie auch in diesem Fall vorlag, in Zusammenhang zu bringen waren. In 27% der Fälle bestand ein Diabetes mellitus als Vorerkrankung. Es konnte eine Assoziation zwischen Bewusstlosigkeit unklarer Genese und Diabetes mellitus nachgewiesen werden. [28] Somit wäre auch die Abklärung, ob ein Diabetes mellitus vorlag, von Interesse.

Auslöser
mutmaßlich Immersion
Schädigungsmechanismus
mutmaßlich akute Vor- und ggf. Nachlasterhöhung
Gesundheitliche Schädigung
Verdacht auf akute kardiale Belastung
Todesursache
Bezogen auf den dafür typischen Ablauf unmittelbar nach Immersionsbeginn: Verdacht auf kardiales Akutereignis durch akute oder vorbestehende kardiale Disposition in Kombination mit akuter Pumpbelastung durch den Immersionseffekt

Tab.12: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 7

4.2.8 Fall 8

Es handelt sich um den Fall eines 43-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Problems mit seinem Trockentauchanzug tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Zur medizinischen Vorgeschichte, der Substanzanamnese, der Tauchtauglichkeit und der Tauchausbildung des Verunfallten lagen keine Angaben vor. Seitens der Tauchbasis konnte in Erfahrung gebracht werden, dass der Verunfallte ein erfahrener Taucher war.

Tauchgangspezifische Befragung

Angaben zum körperlichen Befinden oder zu Besonderheiten vor dem Tauchgang lagen nicht vor. Der Verunfallte und sein Tauchpartner, der ebenfalls als erfahrener Taucher galt, führten an diesem Tag einen Tauchgang von Einstieg 4 aus durch. Sie seien nach Angabe des Tauchpartners ein eingespieltes Buddyteam gewesen, das oft zusammen tauchen würde. Am Unfalltag hatte das Wasser an der Oberfläche eine Temperatur von 6°C. Weitere Angaben zu Wetter-, Wasser- und Sichtbedingungen an diesem Tag im November lagen nicht vor.

Man sei auf maximal 26 m abgetaucht, hätte sich dort ca. 5 min aufgehalten und sei dann wieder auf 16 m auf Höhe der Abbruchkante aufgestiegen. Hier habe der Verunfallte nach ca. 15 min Tauchzeit auf sich aufmerksam gemacht und auf seinen Körper gezeigt. Dann habe er sich plötzlich mit den Beinen nach oben gedreht. Der Tauchanzug habe sich mit Luft gefüllt. Der Verunfallte habe Auftrieb bekommen. Sein Partner habe noch versucht, den Verunfallten festzuhalten und zu drehen. Das Ablassen der Luft aus dem Anzug sei ihm in dieser Lage nicht möglich gewesen, da hierzu eine normale Lage im Wasser notwendig gewesen wäre. Der Verunfallte sei ihm dann entglitten und „nach oben geschossen“.

Der Tauchanzug sei laut Aussage des Tauchpartners vom Verunfallten gebraucht erworben worden; bei vergangenen Tauchgängen hätten sich keine Probleme ergeben. Bezüglich der weiteren Ausrüstung, der verwendeten Atemgase und dem Zeitpunkt und -ort der Flaschenfüllung lagen keine Angaben vor.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Nach Bergung des Verunfallten ans Ufer habe dieser Zeugenaussagen zufolge ausgesehen „wie ein Michelinmännchen“. Der Trockentauchanzug sei maximal mit Gas gefüllt gewesen. Durch zwei Taucher, die gerade ihren Tauchgang beendet hatten, wurden erste Hilfe geleistet und Reanimationsmaßnahmen begonnen. Der Tod des Verunfallten wurde nach erfolgloser Reanimation im Verlauf durch einen Notarzt festgestellt. In der Todesbescheinigung wurde durch den Notarzt ein „Tod durch Ertrinken, Barotrauma der Lunge“ bei nichtnatürlicher Todesart vermerkt. Der Tauchpartner war zu jeder Zeit voll orientiert und wurde in ein Druckkammerzentrum geflogen und dort behandelt. Es bestanden keine akuten Symptome.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Bei der Leichenschau durch die Polizei war ein ortsansässiger Taucherarzt zugegen. Der Verunfallte sei ca. 185 cm groß und 95 kg schwer gewesen. Es waren

Veränderungen am Leichnam durch Erstversorgung zu sehen, so etwa ein zerschnittener Tauchanzug und Einstiche in der Ellenbeuge. Aus Mund und Nase trat weißer Schaum aus. Es erfolgte eine Fotodokumentation. Nach Verbringung des Leichnams in das Bestattungsunternehmen wurde die Leichenschau fortgesetzt, der Leichnam vollständig entkleidet. Aus Mund und Nase drang weiterhin Schaum; beim Umlagern des Körpers rann Flüssigkeit aus Mund und Nase. Diese sei zunächst wasserklar, dann rötlich-bräunlich gewesen. Es wurden eine beginnende Totenstarre und wegdrückbare Leichenflecken beschrieben. Äußere Verletzungen bestanden nicht. Der anwesende Taucherarzt vermutete ein Barotrauma der Lunge als Todesursache. Im Ermittlungsbericht wird der zuvor geäußerte Verdacht, dass der Verunfallte durch den unkontrollierten Aufstieg ein Barotrauma der Lunge erlitten habe, zunächst aufgegriffen.

Weiteres Vorgehen

Die Tauchausrüstung wurde sichergestellt. Die Marke des Taucheranzugs (Mares®) wurde dokumentiert, jedoch nicht das spezifische Modell. Die Ventile des Anzuges wurden im Rahmen der Leichenschau aus dem Anzug herausgeschnitten. Weiterhin wurden Typ und Marke des Tauchcomputers dokumentiert (Guardian/Mares®). Über den Atemregler und die restliche Ausrüstung lagen keine Angaben vor.

Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchcomputerprofils

Eine Untersuchung der Tauchausrüstung durch einen Sachverständigen fand nicht statt. Die Überprüfung der Ausrüstung durch einen Mitarbeiter der Tauchbasis ergab auf den ersten Blick keinen Funktionsfehler. Es habe sich um eine gute Ausrüstung gehandelt. Die Flaschen seien teilweise noch gefüllt, Restdruck sei vorhanden. Eine Vereisung habe nicht vorgelegen. Laut des Tauchcomputers des Verunfallten, den er ausgelesen habe, sei eine maximale Tiefe von 26 m erreicht worden. Der Untersucher äußerte gegenüber den Ermittlern die Vermutung, ein Lufteinlassventil habe gegebenenfalls nicht richtig funktioniert. Bei Verunreinigung des Ventils z. B. durch Sand könne es vorkommen, dass Ventile nach dem Öffnen nicht richtig schließen und somit ein unkontrollierter Lufteinstrom in den Anzug möglich wird. Zudem wurde seitens des Untersuchers hinsichtlich der Unfallursache die Meinung geäußert, der Verunfallte sei durch den „Auftrieb in Fußlage“ letztendlich ertrunken.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Das kriminalpolizeiliche Ermittlungsergebnis sprach für einen Unglücksfall durch höhere Gewalt. Als Todesursache wurde ein Tod durch Ertrinken angegeben. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich.

Beurteilung

In diesem Fall mangelt es in Bezug auf die Anamnese an zahlreichen Informationen. Zur medizinischen Vorgeschichte, der Substanzanamnese, der Tauchtauglichkeit und der genauen Tauchausbildung des Verunfallten und seines Tauchpartners lagen keine Angaben vor, auch nicht über die Erfahrung des Verunfallten im Umgang mit

Trockentauchanzügen. Ebenfalls liegen keine Informationen bezüglich der Tauchausrüstung abseits des Tauchanzuges und Tauchcomputers vor.

Möglicherweise war der Informationsgewinn zu diesen Punkten von untergeordneter Bedeutung in der Ermittlung, weil der Unfallhergang auf den ersten Blick vermutet leicht herzuleiten war. Die Zeugenaussage des Tauchpartners lässt darauf schließen, dass der Verunfallte Probleme mit seinem Trockentauchanzug hatte und durch einen unkontrollierten Einstrom von Luft durch das Inflatorventil plötzlich starken Auftrieb bekam. In der Todesbescheinigung wird ein Tod durch Ertrinken angegeben. Vermutlich war der Unfallhergang für einen tauchtechnischen und tauchphysiologischen Laien so schlüssig und die Erklärung eines „Unglücksfalls durch höhere Gewalt“ ausreichend.

Der Fall ist beispielhaft dafür, wie wichtig die Ermittlungen von Auslöser, Schädigungsmechanismus und gesundheitlicher Schädigung für eine adäquate Rekonstruktion des Unfallgeschehens sind. Ein Zufriedengeben mit der Erklärung einer Fehlfunktion des Anzuges ist unzureichend. Allein in Hinblick auf gegebenenfalls bestehende Schadensersatzansprüche ist die Ermittlung des Auslösers von Interesse.

Zudem zeigt der Fall eindrucksvoll, wie bedeutend Grundkenntnisse über einige tauchtechnische Besonderheiten sind, um Fehler im Umgang mit dem sichergestellten Material zu verhindern. Allem voran sollten in keinem Fall wie in diesem Fall geschehen vor Ort Ventile aus einem Trockentauchanzug herausgeschnitten werden. Ebenso wenig sollten anderweitige Veränderungen an der Ausrüstung vorgenommen werden wie Betätigung des Inflators oder Manipulation am Überdruckventil. Eine Funktionsprüfung eines Trockentauchanzuges mit Analyse der Ventile, der Inflatorfunktion und Dichtigkeit ist Teil einer qualifizierten Untersuchung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen, durch den eine technische Analyse der Ausrüstung durchgeführt werden sollte [20]. In diesem Fall wurde eine Verunreinigung der Ventile vermutet. Die Verifizierung durch eine sachverständige Analyse wäre unbedingt erforderlich gewesen. Der Sachverständige muss die Ausrüstung hierzu jedoch in unverfälschtem Zustand erhalten. Häufig muss ein Tauchanzug für notärztliche Interventionen oder die spätere Leichenschau aufgeschnitten werden. Gleichwohl sollte er ansonsten immer möglichst im Originalzustand belassen werden. Keinesfalls sollten Teile jedweder Art von der Ausrüstung entfernt oder gar herausgeschnitten werden. Am Unfallort darf auch dann nicht an der Ausrüstung manipuliert werden, wenn technisch erfahrene Taucher hilfsbereit eine Untersuchung anbieten. Die umfassende Analyse ist ohne die erforderlichen komplexen Gerätschaften, die einem öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zur Verfügung stehen, nicht möglich. Ad hoc Untersuchungen vor Ort bergen die Gefahr einer Verfälschung der Ergebnisse oder sogar Vernichtung von Beweismitteln [19, 20]. Zudem ist die Sachverständigkeit eines nicht öffentlich bestellten und vereidigten Untersuchers für einen tauchtechnisch nicht oder wenig erfahrenen Ermittler kaum zu prüfen, ebenso nicht dessen Eigeninteresse oder Unabhängigkeit in Bezug auf den Fall.

Ergänzend zur Analyse des Tauchprofils durch einen Sachverständigen zum Abgleich mit Zeugenaussagen wäre eine technische Analyse der gesamten Ausrüstung erforderlich gewesen. In diesem Fall ist das Vorliegen eines technischen Defekts als Auslöser hochwahrscheinlich. Der Tauchpartner berichtet, der Verunfallte

habe sich „plötzlich mit den Beinen nach oben gedreht“. Der Tauchanzug scheint sich gemäß der Zeugenaussage im Beinbereich mit Luft gefüllt zu haben, wodurch der Verunfallte Auftrieb bekam und mit den Füßen voran in hoher Geschwindigkeit an die Oberfläche geriet. Den Aussagen der Bergenden zufolge sah der Verunfallte an der Oberfläche aus wie ein „Michelinmännchen“, da der Trockentauchanzug prall mit Gas gefüllt war. Dabei ist von einem Defekt des Inflatorventils des Trockentauchanzugs auszugehen. Möglicherweise bestand eine spontane Öffnung des Inflatorventils, was durch eine technische Untersuchung hätte nachgewiesen werden können. Bei mangelhafter Wartung/Verschmutzung kann es nach Betätigung des Inflatorventils dazu kommen, dass das Ventil nicht mehr richtig schließt. Hierbei kann es zu einem ungehinderten Gaseinstrom kommen. Ohne notfallmäßige Diskonnektion des Inflatorschlauchs vom Einlassventil als wirksame Gegenmaßnahme können große Mengen von Gas in den Anzug strömen. Dieser unwillentlichen Belüftung kann grundsätzlich durch Öffnen des Überdruckventils am Trockentauchanzug entgegengewirkt werden. In beginnender Panik ist dieser Handgriff jedoch womöglich nicht abrufbar. Fatal kann die Situation enden, wenn der betroffene Taucher reflexartig versucht, nach unten zu tauchen, um dem Auftrieb entgegen zu wirken. Hierdurch kommt es zur Verlagerung der Luft in die Beine. Trockentaucher haben zwar in der Regel gelernt, wie man sich wieder in eine aufrechte Position begeben kann, bei starkem Auftrieb kommt es jedoch zum raschen Aufstieg mit den Füßen voran. Das Gewicht der Tauchausrüstung am Oberkörper verstärkt die Kopftieflage bei starker Inflation des Tauchanzuges. Durch das Gesetz von Boyle-Mariotte kommt es beim Aufstieg zu einer exponentiellen Volumenzunahme des Gases im Tauchanzug. An der Oberfläche ist es bei voll aufgeblasenem Anzug in Kopftieflage schwierig, sich selbst aus dieser Körperposition zu befreien. Insbesondere bei Verlust des Mundstücks in Panik besteht Ertrinkungsgefahr an der Wasseroberfläche.

Bezüglich der Todesursache wurden seitens der am Fall beteiligten Ärzte und Berater unterschiedliche Annahmen getroffen. Sowohl die Annahme einer Überdehnung der Lunge mit pulmonalem Barotrauma durch den maximal schnellen Aufstieg aus 16 m Tiefe als auch die Annahme eines Ertrinkungstodes sind gerechtfertigt. Tatsächlich liegt die Vermutung nahe, dass der Verunfallte an der Oberfläche ertrunken ist. Im voll aufgeblasenen Trockentauchanzug befand er sich an der Wasseroberfläche in Kopftieflage und konnte sich offensichtlich nicht selbst aus der Lage zu befreien. Auch für den Tauchpartner wird eine Drehung des Verunfallten an der Oberfläche unter diesen Bedingungen schwierig bis unmöglich gewesen sein, wenn gleich ein solcher Versuch nicht explizit erwähnt wird. In Kopftieflage ist die Atemmechanik wegen der hydrostatischen Druckdifferenz erschwert, zudem kann der Verunfallte den Atemregler beim Versuch, sich zu drehen und um seitwärts zu atmen oder Hilfe zu rufen, entfernt oder aus dem Mund verloren haben. Für ein Ertrinken spricht der im Rahmen der Leichenschau dokumentierte Schaupilz. Ertrunken ist der Verunfallte dann wohl tatsächlich in der Endphase, als er bis zur Bergung als „Michelinmännchen“ kopfunter mit akzidentell entferntem Lungenautomat positioniert war. Eine Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie stellt eine denkbare Differentialdiagnose dar und könnte auch begleitend aufgetreten sein. Zur adäquaten Abklärung wäre eine Sektion erforderlich gewesen.

Auslöser	Verstärkende Faktoren: unkontrollierter maximal schneller Aufstieg mit möglicher Überdehnung der Lungen/arterieller Gasembolie
Technisches Problem: Fehlfunktion des Inflatorventils des Trockentauchanzugs mit vollständiger Inflation	
Schädigungsmechanismus	
Kopftieflage an der Wasseroberfläche bei inadäquater Problemlösung	
Gesundheitliche Schädigung	
Asphyxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 13: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 8

4.2.9 Fall 9

Es handelt sich um den Fall eines 37-jährigen Tauchers, der im Rahmen eines Tieftauchgangs tödlich mit einem CC-Rebreathertauchgerät verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Informationen über die medizinische Vorgeschichte, zur Substanzanamnese und zur Tauchtauglichkeit lagen nicht vor. Der Verunfallte hatte nach Aussage seiner Tauchpartner etwa 150 Tauchgänge absolviert. Bezüglich der Tauchausbildung gab ein Tauchpartner an, der Verunfallte verfüge über ein „IANTD Brevet“ (Erläuterung: siehe Punkt Beurteilung aus tauchmedizinischer Sicht, es gibt eine Vielzahl IANTD Brevets unterschiedlichster Limitierungen). Mit dieser Qualifikation hatte sich der Verunfallte in die Liste bei Anmeldung in der Tauchbasis wie dort gefordert eingetragen. Auffällige Lebensumstände wurden nicht abgefragt.

Tauchgangspezifische Befragung

Am Unfalltag im April betrug die Wassertemperatur 4°C. Die Sicht lag bei 4 bis 5 m bei regnerischer Wetterlage. Über das Befinden des Verunfallten vor dem Tauchgang liegen keine Angaben vor mit der Ausnahme, dass am Unfalltag und am Vortag kein Alkoholkonsum stattgefunden habe. Der Verunfallte war offensichtlich mit vier Freunden und Bekannten für einen Tag an den Hemmoorsee gereist. Dokumentiert wurde, dass drei der vier Tauchpartner ebenfalls über ein „IANTD Brevet“ verfügten. Der vierte verfügte über ein CMAS***-Brevet. Nach Aussage der Tauchgruppe wurde am Unfalltag ein komplikationsloser erster Tauchgang durchgeführt. Der Beginn des Tauchgangs sei gegen 10 h gewesen. Man sei am Rüttler bis auf 55 m abgetaucht, nach Aktenlage mit einem CC-Rebreather und Luft als Diluentgas.

Gegen 12 h habe der Verunfallte mit den Tauchpartnern 1 und 2 einen zweiten Tauchgang angetreten. Begonnen wurde der Tauchgang am Einstieg 3. Auf Höhe des Pontons sollte auf 55 m abgetaucht werden, um dann mit Kompassnavigation zurück zu Einstieg 3 zu gelangen und am Steilhang langsam aufzutauchen.

Die anderen beiden Taucher (Tauchpartner 3 und 4) führten einen weniger langen und tiefen Tauchgang am Rüttler durch, da einer der beiden über weniger Taucherfahrung als der Rest der Gruppe verfügte und nicht in die geplante Tiefe abtauchen wollte. Diese beiden Taucher seien nach 30 min wohlbehalten wieder an Land gegangen und hätten kurz danach die Tauchpartner 1 und 2 20 m entfernt vom Ponton an die Oberfläche kommen und Hilfesignale zeigen sehen. Man habe beiden sofort an Land geholfen und Erste-Hilfe-Maßnahmen eingeleitet; durch umstehende Personen sei der Rettungsdienst alarmiert worden. Der Verunfallte galt von diesem Zeitpunkt an vermisst.

Eine Vernehmung der Tauchpartner 1 und 2 war aufgrund der schlechten gesundheitlichen Verfassung der beiden initial nur eingeschränkt möglich. Sie wurden ärztlich versorgt, Tauchpartner 2 musste vor Ort schutzintubiert werden. Es erfolgte eine notfallmäßige Verlegung beider Taucher mit Rettungshubschraubern in ein Druckkammerzentrum. Anschließend erfolgte für beide eine intensivmedizinische Behandlung. Die Tauchpartner 3 und 4 berichteten, sie hätten erfahren, dass alle drei Taucher in 55 m Tiefe akute Atemprobleme bekommen und einen gemeinsamen Notaufstieg eingeleitet hätten. Der Verunfallte wäre dabei wieder in die Tiefe gesackt.

Die Ausrüstung von Tauchpartner 2 konnte sichergestellt werden. Tauchpartner 1 hatte beim Notaufstieg sein Tauchgerät abgeworfen.

Drei Tage nach dem Ereignis konnte der Tauchpartner 1 von der Polizei vernommen werden. Der Tauchpartner 2 befand sich weiterhin im künstlichen Koma und in Lebensgefahr. Über seinen weiteren gesundheitlichen Verlauf liegen keine weiteren Informationen vor. Der Tauchpartner 1 zeigte sich während der Vernehmung wach und orientiert, musste jedoch nach Aussage der behandelnden Ärzte bei Vorliegen der „Caisson-Krankheit, eines Barotraumas und neurologischer Defizite“ einige Tage stationär behandelt werden.

Der Tauchpartner 1 gab bei der Vernehmung an, dass alle drei am direkten Geschehen Beteiligten erfahrene Taucher gewesen seien. Er selbst habe 400, der Verstorbene 150 und der Tauchpartner 2 250 Tauchgänge durchgeführt. Er selbst sei bereits 10 mal im Hemmoorsee getaucht. Alle drei hätten Zertifikate für Tiefen bis 100 m und den Tauchgang mit selbstmischenden Kreislauf-Tauchgeräten „Buddy Inspiration®“ angetreten. Diese Geräte könne man bis zu Tiefen von 100 m einsetzen. Sie seien auch für Trimix geeignet. Ein Trimixgas habe keiner der Tauchpartner verwendet.

Die Überprüfung der Tauchausrüstungen vor den Tauchgängen habe jeweils eine normale Funktion der Geräte ergeben. Der erste Tauchgang sei störungsfrei verlaufen. Beim zweiten Tauchgang sei man wie geplant zum Ponton getaucht und von dort aus auf 55 m abgetaucht. Hier hätten gute Sicht- und Lichtverhältnisse bestanden. Allerdings habe einer der Taucher am Grund Sediment aufgewirbelt, wodurch sich die Sicht schlagartig verschlechtert habe. Die anderen beiden hätten sich an ihm festgehalten. Der Verunfallte habe Panik bekommen und „hyperventiliert“. Durch den offenbar vorzeitigen Verbrauch des Atemgases habe der Verunfallte dann zum Notsystem (Anm.: „Bailout-System“) greifen müssen. Hierbei handle es sich um eine separate Flasche mit eigenem Atemregler. Dieses habe auch funktioniert, wie der Tauchpartner 1 anhand der aufsteigenden Luftblasen erkannt habe. Dann habe ihn der Verunfallte kurz darauf jedoch noch fester umklammert und

nach seinem eigenen Notsystem verlangt. Tauchpartner 1 habe daraufhin den Notaufstieg eingeleitet. Dabei habe er versucht, den Auftriebskörper des Verunfallten mit dessen Notflasche zu belüften, diese sei jedoch leer gewesen. Er habe das Jacket des Verunfallten deshalb mit Gas aus „seiner eigenen Flasche“ gefüllt. Hierbei sei man wieder etwas abgesunken. Schließlich sei man langsam bis etwa 6 m unter der Oberfläche aufgestiegen. An dieser Stelle habe auch der Tauchpartner 1 „keine Luft mehr in der Flasche gehabt“; er habe den Verstorbenen zur Oberfläche gestoßen, sei selbst durch „das Fehlen des Auftriebskörpers“ wieder abgesunken und habe aufgrund des leeren Notsystems nur die Möglichkeit gehabt, die Ausrüstung abzulegen. Er sei mit letzter Kraft zur Oberfläche getaucht. Hierbei habe er noch beobachtet, wie der Verstorbene mit seiner (wohl etwa 50 kg schweren) Ausrüstung kämpfte, sich nicht vom Tauchgerät befreien konnte und neben ihm ertrank, bevor er in die Tiefe gezogen wurde. Wann der Tauchpartner 2 aufgetaucht sei, wisse er nicht.

Ein Zeuge, der das Auftauchen der Tauchpartner beobachtete hatte, gab an, die Tauchpartner 1 und 2 seien neben der Plattform aus dem Wasser „hochgeschossen“.

Die Ermittlung ergab, dass im Hemmoorsee eine Tiefenbeschränkung auf 45 m gilt, sofern eine entsprechende Brevetierung vorliegt. Tauchgänge unterhalb von 45 m mit Trimix seien anmeldungspflichtig. Laut Anmeldungsliste war jedoch keiner der fünf Taucher für Trimixtauchgänge angemeldet, so dass für sie nach Angabe der Tauchbasis das Limit von maximal 45 m Tiefe galt. Seitens der Tauchbasis wurde auch der Hinweis gegeben, dass der Hersteller der Kreislaufgeräte „Buddy Inspiration®“ eine maximale Tiefe von 40 m empfiehlt (Anm.: ohne Trimixgas).

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Zwei Tage nach dem Ereignis wurde die Leiche des Verunfallten durch einen Sporttaucher gefunden und geborgen. Der Bergende berichtete der Polizei, er habe die Leiche in 55,5 m auf dem Rücken liegend vorgefunden. Das Tauchgerät habe unmittelbar neben dem Körper gelegen. Die Tauchlampe sei am rechten Handgelenk fixiert gewesen. Das Lampenkabel verlief unterhalb des Körpers zum Tauchgerät. Das Kreislaufgerät sei „geflutet und offen“ gewesen. In den Flaschen habe sich keine Luft mehr befunden. Das Bailout-System sei ebenfalls leer gewesen. Der Inflator sei „offen“ gewesen. Die Maske habe sich ordnungsgemäß im Gesicht des Toten befunden. Der Bergende äußerte seinen Eindruck, der Verunfallte habe vermutlich versucht, sich von seinem Gerät zu befreien, habe jedoch das Lampenkabel nicht vom Handgelenk lösen können. Das Gewicht des Gerätes (50 kg) habe ihn vermutlich in die Tiefe gezogen. Das Tauchgerät konnte nicht zeitgleich mit der Leiche geborgen werden. Über den eigentlichen Bergungsprozess liegen keine verwertbaren Angaben vor.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Die polizeiliche Leichenschau wurde in einem Bestattungsinstitut in Anwesenheit eines Notarztes durchgeführt. Es handelte sich um einen 1,75 m großen und 85 kg schweren Mann von muskulöser Statur. Zum Zeitpunkt der Leichenschau habe sich der Verunfallte noch in seinem Tauchanzug befunden. Unter dem Tauchanzug habe er einen Thermoanzug und lange Wäsche getragen. (Anm.: Es ist also von einem Trockentauchanzug auszugehen) Eine Auflistung der Ausrüstungsteile lag vor, jedoch nicht mit Marken/Typbezeichnungen.

Dokumentiert wurde eine schaumige, gelblich-bräunliche Flüssigkeit in der Taucherbrille. Nach Abnehmen der Brille habe sich um die Nasenostien eine gelbe schaumige Substanz befunden. Die Pupillen wurden als weit und starr beschrieben. Die Unterlider seien dunkelviolettfarbig gewesen ebenso wie die gesamte Gesichtshaut, der Halsbereich, der Brustkorb bis zur Höhe der Mamillen und der Nacken und obere Rücken. Aus dem Mund sei rötliche Flüssigkeit ausgetreten. An den Wangen und der Oberlippe hätten sich mehrere kleine Schürfwunden gezeigt, wobei es sich um Hautareale gehandelt habe, die nicht vom Taucheranzug oder der Brille bedeckt waren. Am Hals habe sich ein Areal weiß-gelblicher Verfärbung inmitten der ansonsten lividen Haut gezeigt, welche als Abdruck der Halsmanschette gewertet wurde. Ebenso habe sich auf Höhe des Sternums ein kreisrunder Abdruck ebensolcher weiß-gelblicher Verfärbung gezeigt; an dieser Stelle habe sich das Ventil des Tauchanzugs befunden. Es wurde eine Waschhaut beschrieben. Insgesamt wurden ansonsten keine Hinweise auf äußerliche Verletzungen festgestellt. Die Totenstarre sei ausgeprägt gewesen, jedoch zu durchbrechen. Hinweise auf Fremdverschulden hätten sich nicht ergeben.

Die oral ausgetretene Flüssigkeit und der aus den Nasenostien entweichende Schaum wurden vom anwesenden Notarzt laut Ermittlungsbericht als typische Anzeichen für ein Lungenödem gewertet. Die Todesbescheinigung führt einen nichtnatürlichen Tod auf und beschreibt: „schaumiges Sekret in Taucherbrillenbereich; offensichtlich Tod durch Ertrinken“.

Weiteres Vorgehen

Die Tauchcomputer von Tauchpartner 1 und 2 waren im Zuge der Rettungsmaßnahmen mit zum Druckkammerzentrum gegeben worden und wurden im Verlauf sichergestellt. Der Tauchcomputer des Verunfallten wurde sichergestellt. Die Leiche des Verunfallten wurde beschlagnahmt, jedoch im weiteren Verlauf zur Bestattung freigegeben.

Untersuchung der Tauchausrüstung:

Der Trockentauchanzug des Verstorbenen wurde sichergestellt, aber nicht weiter untersucht. Das auf dem Seegrund verbliebene Tauchgerät des Verstorbenen wurde drei Tage nach Auffinden seiner Leiche geborgen und beschlagnahmt. Seitens eines öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen wurde ein Interesse an der Erarbeitung eines Gutachtens bezüglich Ursachenermittlung und Technikbewertung angekündigt. Eine Untersuchung des Gerätes fand nach Aktenlage jedoch nicht statt.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Die Auslesung der Tauchcomputer des Verunfallten und der Tauchpartner 1 und 2 erfolgte im Verlauf durch den Betreiber einer örtlichen Tauchstation. Es wurde festgehalten, dass die Auslesung der aufgezeichneten Profile über eine PC-Infrarotschnittstelle offensichtlich nicht möglich war, da die Batterieleistung der Geräte nicht mehr ausreichend war. Die Tauchcomputer wurden deswegen von Hand ausgelesen und die Profile verglichen. Von einem Batterietausch wurde aus Sorge vor Datenverlust abgesehen. Eine Dokumentation war somit nicht möglich. Rekonstruiert wurde aus den Daten des Verunfallten, dass der erste Tauchgang der Gruppe einen Beginn um 9.07 h aufweise mit einem Tauchgang von 35 min Dauer

auf maximal 49 Meter. Der zweite Tauchgang sei um 11.14 h mit einer maximalen Tiefe von 60 m und einer Dauer von 27 min durchgeführt worden (Anm.: nach Aktenlage mit Pressluft und nicht mit Trimix).

Der Untersucher äußerte der Polizei gegenüber, dass man für Tauchgänge dieser Tiefe viel mehr Zeit einplanen müsse. Auch der zeitliche Abstand zwischen den Tauchgängen sei zu kurz gewesen. Die Taucher hätten keine Trimix-Ausrüstung verwendet.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Das Ergebnis der polizeilichen Ermittlung sprach für einen „nichtnatürlichen Tod durch eigenes Verschulden/fahrlässiges Selbstverschulden“. Das Unfallgeschehen sei auf eigenes Fehlverhalten der Taucher verbunden mit nicht optimaler Ausrüstung zurückzuführen. Fremdverschulden wurde nicht vermutet. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich.

Beurteilung

Vorliegend ist ein weiterer Fall, bei dem keine Sektion und keine technische Analyse durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen durchgeführt wurden, obwohl der Unfallhergang unzureichend aufzuklären war. In diesem Fall wäre die technische Analyse und Beratung durch einen Sachverständigen besonders deshalb von Interesse gewesen, weil sich bei der Durchsicht der Ermittlungsergebnisse mehrere Ungereimtheiten ergeben haben.

Vornehmlich besteht eine Diskrepanz zwischen der Zeugenaussage des Tauchpartners 1, er sei nach dem Ereignis mit letzter Kraft und ohne Auftrieb an die Oberfläche gekommen und dem des Zeugen, der gesehen habe, wie die Tauchpartner 1 und 2 aus dem Wasser „hochgeschossen“ seien. Ein solches Detail mag nebensächlich erscheinen, kann jedoch von kriminalistischer Bedeutung sein, vor allem in Fällen, in denen z. B. ein Fremdverschulden nicht auszuschließen und damit in Betracht zu ziehen ist. Ebenfalls widersprüchlich ist die Aussage des Tauchpartners 1, welcher schildert, das vornehmlich der Verunfallte in der Tiefe Probleme bekam, zu derjenigen von Tauchpartner 3 und 4, die berichteten, sie hätten erfahren, dass alle drei Taucher in 55 m Tiefe akute Atemprobleme bekommen und einen gemeinsamen Notaufstieg eingeleitet hätten. Bei derartigen Diskrepanzen wären Nachermittlungen und weitere Zeugenaussagen von Interesse. In der Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen ist es üblich, dass bestehende Aussagen durch Vernehmungsbeamte nachträglich konkretisiert werden, wenn sich Unklarheiten ergeben. Unklar bleibt, ob der Tauchpartner 2 im Verlauf wieder zu Bewusstsein kam und ob er zu einer Zeugenaussage in der Lage gewesen wäre. Auch die Tauchprofile der Verunfallten wären gerade bei diskrepanten Aussagen von großem Interesse gewesen. Mit den technischen Möglichkeiten eines Sachverständigen hätten die Daten ausgelesen und als Teamprofil analysiert werden können.

Eine weitere Unklarheit betrifft den Ausbildungsstand und die tatsächliche Erfahrung des Verunfallten und seiner Tauchpartner in Bezug auf das technische Tauchen und Tauchen mit Kreislaufgeräten. Laut Aktenlage hatten vier der fünf Taucher bei der Anmeldung in der Rubrik „Brevet“ der Anmeldeleiste „IANTD“ eingetragen. IANTD ist

die Abkürzung für International Association of Nitrox and Technical Divers. Hierbei handelt es sich um einen Verband, der Training in allen Bereichen des technischen Tauchens anbietet, unter anderem verschiedene Nitrox- und Trimix-Ausbildungen, Rebreather-Ausbildungen, Wrack- und Höhlentauchen. Der Verband schult aber auch Taucher ab dem Open Water Diver Kurs [45]. Insgesamt bietet die IANTD über 30 verschiedene Kurse an, so dass auf Basis der Bezeichnung „IANTD-Brevet“ in keiner Weise Rückschlüsse auf die Ausbildung des Verunfallten und seiner Tauchpartner gezogen werden können. Angeblich hätten die drei Tauchpartner Zertifikate gehabt, die das Tauchen bis 100 m erlaubten. Diesbezüglich wäre eine genauere Ermittlung von Interesse. Der Stellenwert dieser Informationen und auch die Unklarheiten in Bezug auf die Tauchausbildung des Verunfallten hätten sich durch Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen ergeben. Nach Rücksprache hätte diesbezüglich nachrecherchiert werden können.

Bei dem vom Verunfallten und den Tauchpartnern 2 und 3 verwendeten „Buddy Inspiration®“ handelt es sich um ein computergesteuertes geschlossenes Mischgaskreislauf-Tauchgerät der Firma A.P. Valves, also um einen CC-Rebreather. Als Füllgas („Diluent“) können bei diesem Gerät Pressluft, Nitrox, Trimix oder Heliox verwendet werden, je nach vorgesehener Einsatztiefe. Das Rebreather-Modell „Buddy Inspiration®“ ermöglicht durchaus auch Tauchgänge in größere Tiefen, nicht jedoch unter Verwendung von Pressluft als Diluentgas. Pressluft ist unabhängig davon, ob es in Form einer herkömmlichen Tauchflasche oder in einem Kreislauf-Tauchgerät verwendet wird, kein ideales Atemgas für das Tieftauchen unterhalb von 40 m. In dieser Tiefe wird ein Stickstoffpartialdruck von knapp 4 bar erreicht, ab dem die Wahrscheinlichkeit zum Auftreten eines Tiefenrausches deutlich steigt. Tauchunfallversicherungen begrenzen deswegen den zulässigen Stickstoffpartialdruck bei veränderlichen Gasgemischen auf diese Größenordnung. Durch das teilweise oder komplette Ersetzen des Stickstoffs mit einem Inertgas geringeren narkotischen Potenzials wie Helium können der Stickstoffpartialdruck und die Gefahr eines Tiefenrausches verringert werden. Im technischen Tauchen wird für Tiefen ab etwa 40 m Trimix (Helium/Stickstoff/Sauerstoff) eingesetzt, beim kommerziellen Tauchen oft Heliox (Helium/Sauerstoff).

Die Darstellung des Tauchpartners 1, die verwendeten Rebreather könne man bis zu Tiefen von 100 m einsetzen und sie seien auch für Trimix geeignet, ist also formal zutreffend. In Verbindung mit der Aussage, eine „Trimixausrüstung“ habe keiner der Taucher „dabeigehabt“ und der Tatsache, dass geplant in eine Tiefe von 55 m abgetaucht wurde, lässt darauf schließen, dass die Gruppe Tauchgänge mit Atemluft als Diluent- und Bailout-Gas durchführte. Beim technischen Tauchen, und darum handelt es sich in diesem Fall des Rebreathertauchens, werden aufgrund des Risikos einer Sauerstoffintoxikation Grenzwerte geradezu penibel beachtet, indem das selbstmischende Tauchgerät auf einen pO_2 von zumeist nicht mehr als 1,4 bar eingeregelt ist. Ab einem pO_2 von über 1,6 bar steigt das Risiko einer Sauerstoffintoxikation exponentiell an. Eine Sauerstoffintoxikation setzt unvermittelt innerhalb weniger Sekunden ohne wesentliche Vorwarn- und Reaktionszeiten mit einem epileptiformen zerebralen Krampf ein, der unter Wasser mit einem sehr hohen Ertrinkungsrisiko assoziiert ist. Im vorliegenden Fall betrug die geplante Tauchtiefe mit 55 m ziemlich exakt dem konstant eingestellten $pO_2 = 1,4$ bar (56,5 m).

Konsekutiv stieg dabei allerdings der Stickstoffpartialdruck auf rund 5,1 bar. Es ist zu vermuten, dass die Taucher das pN_2 assoziierte Rauschpotential billigend in Kauf

genommen haben, möglicherweise davon überzeugt, dass sie bislang subjektiv immer damit klargekommen sind. Der Verstorbene hatte allerdings mit 150 Lebenstauchgängen deutlich weniger Erfahrungen als Taucher 1 mit 2.250.

Mindestens Tauchpartner 1 hatte belastbare Erfahrungen mit technischem Tauchen, insbesondere mit Rebreathertauchen. Die wesentlichen tauchphysiologischen Grundlagen sowie die Sicherheitsstrategien müssen ihm bekannt gewesen sein. Vom Erfahrensten angeleitet oder selbst mitentschieden hat die 3-er Gruppe die Gefahr der Stickstoffnarkose sowie weitere Gefährdungsmöglichkeiten missachtet.

Der Bericht des Tauchpartners 1 über das Geschehen wirkt ab der einsetzenden Panik des Verunfallten ungereimt. Der genaue Ablauf, welche der Flaschen durch wen und wofür verwendet wurden und welche letztendlich leer waren, ist nicht eindeutig nachvollziehbar, zumal die Konfiguration des separaten Bailout-Systems einschließlich des verwendeten Gases nicht beschrieben ist. Überhaupt findet das Bailout-System in der Auflistung der Ausrüstung keine Erwähnung. Offen bleibt, ob es überhaupt gefunden wurde. Die unverständliche Beschreibung des Ablaufs ist gegebenenfalls ein „Übersetzungsfehler“ von technisch komplexen Details durch den im technischen Tauchen eher unerfahrenen Ermittler. Mit hoher Sicherheit hätte eine technische Analyse klärende Verhältnisse über die Konfiguration der Geräte und den Füllungszustand der Gasflaschen erbracht.

Für die Analyse eines tödlichen Tauchunfalls ist die Stellungnahme eines öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen gegenwärtig mehr denn je unabdingbar. Die Komplexität moderner weiterentwickelter Tauchgeräte und die hieraus resultierenden zahlreichen spezifischen Gefährdungen erfordern eine Beurteilung durch einen Experten. Die Analyse des computergesteuerten Gerätes hätte auch ein Auslesen des Computers beinhaltet, was in diesem Fall entscheidende Informationen über die Atemgaszusammensetzung und den Atemgasverbrauchs hätte liefern können. Eine Atemgasanalyse ist vor allem vor dem Hintergrund der Zeugenaussage von Tauchpartner 3 und 4 von Interesse, die aussagten, dass der Verunfallte sowie die Tauchpartner 1 und 2 alle auf maximaler Tauchtiefe „Atemprobleme“ bekommen hätten. Eine technische Analyse hätte auch eine Untersuchung des Atemkalks beinhaltet. Der Atemkalk bindet Kohlenstoffdioxid als metabolisches Abfallprodukt und muss nach genauen Regeln ersetzt werden. Versagt die Kohlenstoffdioxid-Absorption durch Aufbrauchen der Bindekapazität, kommt es zur Hyperkapnie mit Lufthunger, Panik und/oder Bewusstlosigkeit mit fatalen Folgen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass die beschriebene Panik des Verunfallten nicht nur durch die akut verschlechterten Sichtverhältnisse, sondern auch durch eine Hyperkapnie verursacht wurde. Auch die Überprüfung, ob eine korrekt dosierte Zufuhr von Sauerstoff sowie das einwandfreie Funktionieren des Zusammenwirkens der elektronischen Steuerungskomponenten mit den mechanischen und pneumatischen Komponenten gewährleistet waren, hätte stattgefunden. Bei Rebreathertauchgeräten gibt es konstruktionsbedingte Möglichkeiten des unbeabsichtigten Atemgasverlusts durch Fehlbedienung oder Fehlfunktion, auch des Bailout-Systems oder der Alarmsysteme. Nach einer ordnungsgemäßen Überprüfung vor dem Tauchgang ist dies jedoch unwahrscheinlich mit der Ausnahme eines spontanem Massiv-Versagens, was sich aber durch starken hör- und sichtbaren Gasverlust bemerkbar machen würde. Zusammenfassend kann ein Eigen- oder Fremdverschulden in Bezug auf den Rebreather ohne ein sachverständiges Gutachten nicht ausgeschlossen werden. Unklar bleibt somit, wieso ein als erfahren beschriebener

Taucher in nur wenig mehr als 20 min in eine „out of air“-Situation gekommen ist. Allein durch Panik mit erhöhtem Atemminutenvolumen scheint dies nicht zu erklären zu sein, da diese offensichtlich laut Zeugenaussage erst im Moment der verschlechterten Sicht einsetzte. Bei Anwendung eines Rebreathers ist zudem der Atemgasverbrauch gering. Es wird nur der verbrauchte Sauerstoff ersetzt. Dieser Prozess ist tiefenunabhängig. Zudem lag gemäß Berechnung der zur Verfügung stehenden physiologischen Daten und einer körperlichen Belastung von leicht bis moderat ein mittlerer Sauerstoffverbrauch um 0,775 l/min vor. Ein Buddy Inspiration-Rebreather hat Sauerstoff- und Diluent-Flaschen von 3L Volumen. Bei angenommener 200 bar-Füllung steht somit theoretisch ausreichend Atemgas für 12 - 13 Stunden Betrieb zur Verfügung. Alle Taucher hatten bei Tieftauchgang 1 bereits Atemgas verbraucht, mutmaßlich ohne Nachfüllung hat die Dreiergruppe einen Wiederholungs-Tieftauchgang angeschlossen. Eine umfangreiche technische Analyse der Tauchausrüstungen des Verunfallten und des Tauchpartners 1 wäre für diesen Fall von zentralem Stellenwert, da es anderweitig ungeklärt bleibt, wieso in kürzester Zeit sowohl das Bailout-Gas des Verunfallten als auch das Bailout-Gas des Tauchpartners 1 sowie offensichtlich auch die Haupt-Atemgasreserven beider Taucher verbraucht waren. Tauchpartner 1 vermochte sich nur durch Ablegen seiner Ausrüstung vor dem Absinken zu retten. Für den Verunfallten, der sich nicht von seiner Ausrüstung befreien konnte, bedeutete die Kombination aus „out of air“ - Situation und fehlendem Auftrieb aufgrund leerer Flaschen den fatalen Ablauf. Geht man von mangelhafter Flaschenfüllung aus, ergeben sich Fragen mit gegebenenfalls juristischer Relevanz. Von großem Interesse wären Ort und Zeitpunkt der letzten Flaschenfüllungen, da unklar bleibt, ob die Flaschen wirklich ordnungsgemäß gefüllt worden sind, sowie Angaben zur Wartung und die tatsächliche Erfahrung des Verunfallten im Umgang mit dem Rebreather. Auch eine Fehlkalkulation des Tauchgangs durch den Verunfallten oder die Tauchpartner ist nicht ausgeschlossen. Derartige Aspekte sind ohne Einschaltung eines Sachverständigen bei einem tödlichen Tauchunfall mit einem Rebreather nicht zu ermitteln und bleiben unbedacht. Im Hinblick auf die Tarierprobleme hätte auch eine technische Sachverständigenanalyse des Trockentauchanzugs stattfinden müssen.

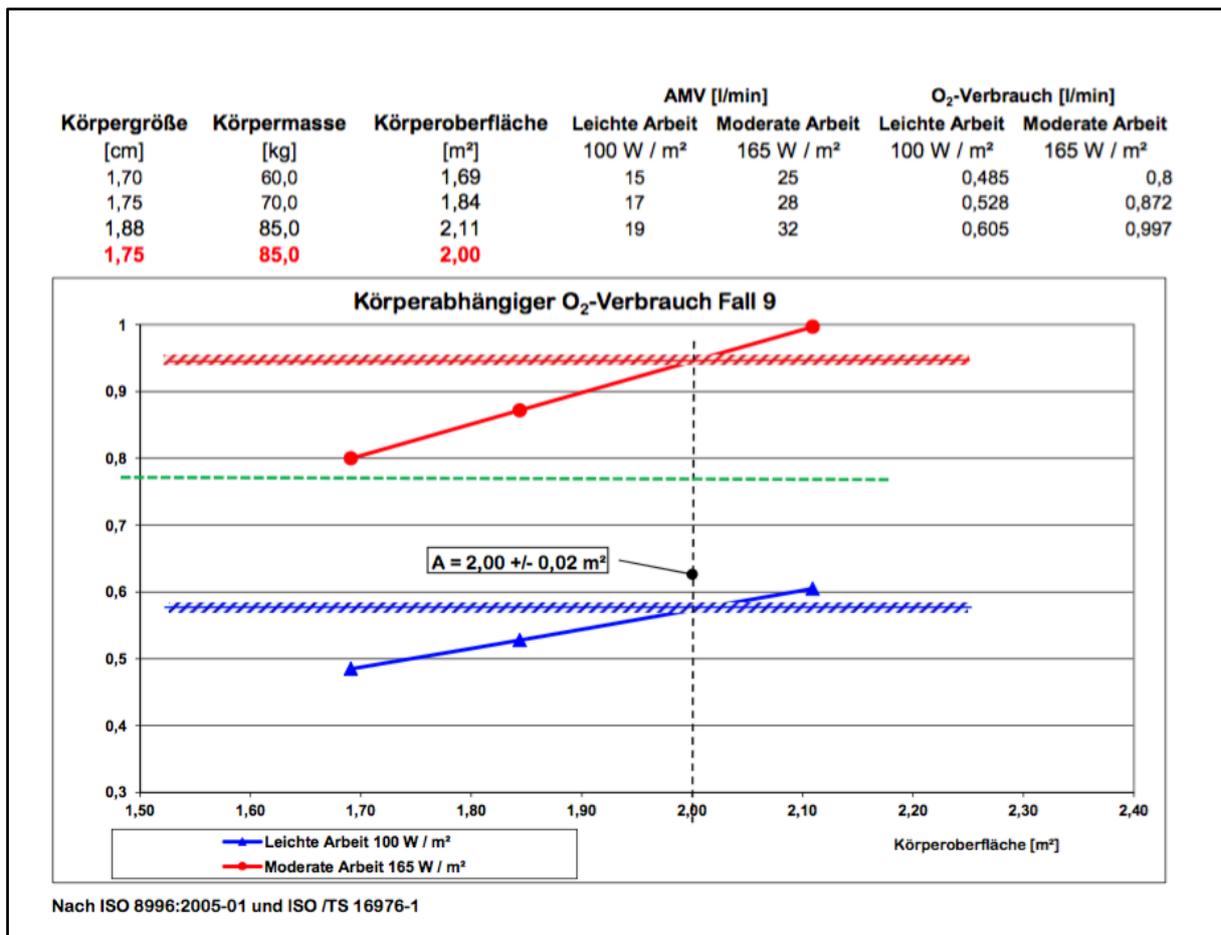


Abb. 25: Berechnung des körperabhängigen Sauerstoffverbrauchs für Fall 9, mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe.

Die Todesursache ist mit großer Wahrscheinlichkeit Ertrinken. Der Ertrinkungstod wurde durch den Tauchpartner 1 beobachtet, da sich der Verunfallte fatalerweise kurz vor Erreichen der Oberfläche nicht rechtzeitig von seinem Tauchgerät befreien konnte. Der äußere Befund der Leichenschau unterstützt die Vermutung eines Ertrinkungstodes. Trotz allem wäre auch in diesem Fall eine Sektion allein deshalb wichtig gewesen, um Erkrankungen auszuschließen, die den Vorfall unter Wasser getriggert oder die Handlungsfähigkeit nach Auftreten des Problems in irgendeiner Weise eingeschränkt haben könnten. Diesbezüglich wäre auch in diesem Fall ein chemisch-toxikologisches Gutachten von Interesse gewesen. Als möglicher verstärkender Faktor ist ein Tiefenrausch vor allem in Kombination mit einer Hyperkapnie möglich, welche zu einer Vasodilatation der zerebralen Durchblutung führt und das Auftreten des stickstoff-vermittelten Tiefenrauschs verstärkt. Dass ein Tiefenrausch in diesem Fall eine Panikreaktion und Einschränkung der kognitiven Handlungsfähigkeit getriggert hat, erscheint möglich.

Auslöser	Verstärkende Faktoren:
Unklar, vermutlich Fehlbedienung oder Fehlfunktion des Rebreathers, ungenügende Flaschenfüllung	Verfangen an Ausrüstung, frustraner Befreiungsversuch
Schädigungsmechanismus	
out of air-Situation/mangelnder Auftrieb	Tariertprobleme
Gesundheitliche Schädigung	
Asphyxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 14: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 9

4.2.10 Fall 10

Es handelt sich um den Fall eines 35-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Tauchgangs mit einem Tauchscooter tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Zur medizinischen Vorgeschichte, der Substanzanamnese sowie der Tauchtauglichkeit des Verunfallten lagen keine Angaben vor. Nach Angaben des Leiters der Tauchgruppe handelte es sich bei dem Verunfallten um einen erfahrenen, besonnenen und sicherheitsbewussten Taucher. Am Vortag habe er persönlich mit dem Verunfallten zwei unauffällige Tauchgänge auf jeweils 17 m für 30 min unternommen. Der Verunfallte sei PADI-Rescue Diver. Angaben zu auffälligen Lebensumständen lagen nicht vor.

Tauchgangspezifische Befragung

Angaben zu den Wetterbedingungen am Unfalltag im Oktober lagen nicht vor. Es wurde eine Wassertemperatur von 17°C bis in 10 m Tiefe angegeben, in der Tiefe würde die Temperatur schlagartig fallen. Über die Sichtverhältnisse bestanden keine Angaben.

Der Verunfallte habe mit einer 27-köpfigen Gruppe von Tauchern seines Vereines Urlaub am Hemmoorsee gemacht. Am Tag des Ereignisses sei die Gruppe in Kleingruppen aufgeteilt worden. Der Verunfallte habe vom Leiter der Tauchgruppe die Verantwortung als Tauchgruppenführer für zwei Tauchpartnerinnen zugeteilt bekommen, deren Ausbildungsstand nicht näher beschrieben wurde. Art und Ziel des Tauchgangs waren nicht näher dokumentiert. Der Verunfallte habe einen Tauchscooter mitgeführt. Hierbei handelt es sich um ein handgehaltenes Propeller-Antriebsmittel für jeweils einen Taucher. Über das Befinden des Verunfallten vor dem Tauchgang liegen keine Angaben vor, ebenso nicht bezüglich der Flaschenfüllung, des verwendeten Atemgases, der Ausrüstung und der Überprüfung der Ausrüstung im Rahmen eines Buddy Checks. Unklar bleibt auch, ob der Tauchplatz dem Verunfallten als Tauchgruppenführer bekannt war.

Die Gruppe habe sich laut Ermittlungsbericht und Aussage des Leiters der Tauchgruppe vom Einstieg 4 aus langsam auf etwa 17 m Wassertiefe hinab begeben und sich in der Nähe eines der Autowracks aufgehalten. An dieser Stelle divergieren die Berichte: Dem einen Bericht nach habe jeder in Sichtweite der Gruppe eine kleine Runde mit dem Tauchscooter gedreht. Der Verunfallte habe diesen am Ende wieder selbst ergriffen und sich damit außer Sicht entfernt. Einem anderen Bericht zufolge sei der Verunfallte sofort nach Eintreffen am Autowrack unbemerkt verschwunden, einem dritten Bericht zufolge sei er nach Eintreffen am Wrack entgegen der vorherigen Absprache mit dem Tauchscooter in größere Tiefe abgetaucht, wobei er mit dem Gerät Sediment aufgewühlt habe und außer Sichtfeld geraten sei. Deckungsgleich sind die Aussagen der Tauchpartnerinnen in Bezug darauf, dass sie sich nach dem Verlust ihres Tauchgruppenführers weiterhin am Autowrack aufgehalten hätten, bis sich ihr Luftvorrat dem Ende zuneigte. Sie hätten sich einem anderen Taucher gegenüber bemerkbar gemacht, der mit ihnen kontrolliert aufgetaucht sei. Eine förmliche Zeugenvernehmung der Tauchpartnerinnen erfolgte nicht.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Es wurden Rettungsmaßnahmen eingeleitet und eine Suchaktion begonnen, an der sich auch der Leiter der Tauchgruppe des Verunfallten beteiligte. Dieser sei zum letztbekanntesten Aufenthaltsort des Verunfallten getaucht und habe den Verunfallten auf einer Tiefe von 26 m auf Höhe des Einstiegs 3 bäuchlings treibend mit Flossen und Knien auf dem Untergrund vorgefunden. Der Lungenautomat habe sich nicht im Mund befunden. Beim Wenden des Verunfallten habe der Leiter der Tauchgruppe den Kopf des Verunfallten überstreckt, wobei es zum Austritt massiver Mengen von Schaum und Blut aus der Mundöffnung und in die Taucherbrille kam. Er konnte den Verunfallten anschließend bergen, wobei hierüber keine Details vorliegen. Noch im Wasser wurde dem Verunfallten zur Bergung in ein Boot die Ausrüstung abgenommen. Er wurde anschließend mit dem Boot an Land gebracht. Über den Auffindeort des Tauchscooters bestanden keine Angaben.

An Land wurde durch einen anwesenden Notarzt der Tod festgestellt und die ärztliche Leichenschau durchgeführt. Die Diagnose des Notarztes lautet: „V.a. Ertrinken/hyperbares Trauma“. In der Todesbescheinigung wurde ein nicht natürlicher Tod angegeben und als Besonderheit ein massiver Austritt von Schaum aus Mund und Nase angemerkt.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Die Leiche des Verunfallten wurde anschließend in die Räumlichkeiten des Bestatters gebracht. Hier wurde kurz darauf die polizeiliche Leichenschau mit Fotodokumentation durchgeführt.

Es wurde ein 190 cm großer Mann von kräftigem Körperbau beschrieben. Als Bekleidung dokumentiert wurden ein „Neoprentaucheranzug“, ein darunter getragener Overall, sowie Unterwäsche. Über Marke und Typ des Tauchanzuges sowie über die weitere Ausrüstung wurde keine detaillierte Dokumentation durchgeführt. Der Leichnam wurde komplett entkleidet. Als besondere Auffälligkeit wurde ein weißer Schaumpilz mit Austritt aus dem linken Nasenostium beschrieben. In der Mundhöhle des Verunfallten habe sich hellroter Schaum befunden. Entsprechende Abrinnspuren seien von den Mundwinkeln und Nasenostien zum Hinterkopf verlaufen. In der Kunststoffwanne habe sich dort hellrote, blutig tingierte

Flüssigkeit gesammelt. Die Bindehäute seien im Sinne eines feinen Adernetzes gerötet gewesen, die Lippen blauviolett verfärbt. Die Leichenstarre sei noch nicht voll ausgeprägt, aber im Kiefergelenk beginnend gewesen. Am Rücken hätten sich beginnende wegdrückbare Livores gezeigt. Die restliche Leichenschau habe keinen auffälligen Befund erbracht.

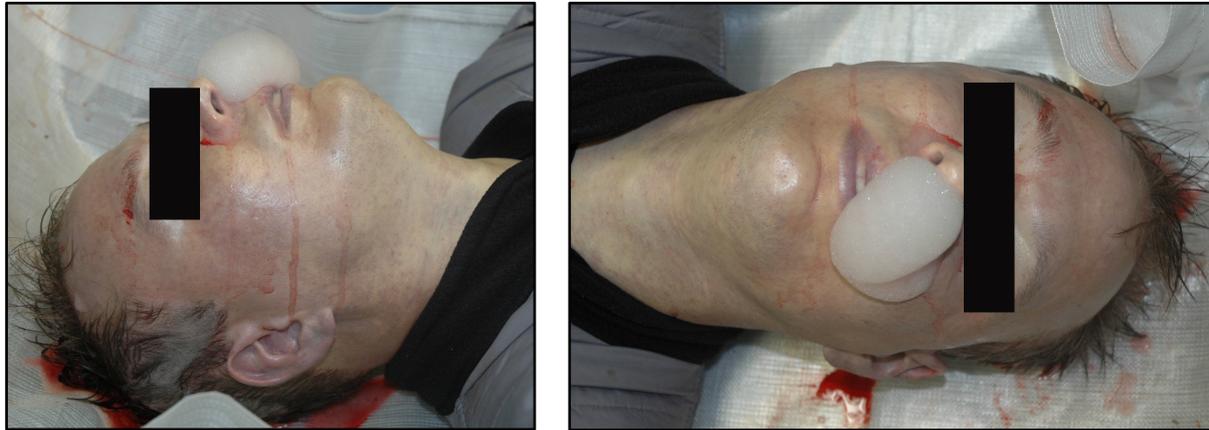


Abb. 26: Schaumpilz als Hinweis auf einen Ertrinkungstod. Sanguinolente Abrinnspuren als Zeichen eines Barotraumas im HNO-Bereich beim Absinken in Bewusstlosigkeit (Fallbeispiel 10)

Weiteres Vorgehen

Die Tauchausrüstung, bestehend aus dem Tauchgerät, Flossen, Bleigürtel und einem Tauchcomputer (Hersteller: Aladin®) und dem Tauchscooter, wurden nach der Leichenschau sichergestellt, ebenso der Tauchcomputer einer der Tauchpartnerinnen. Dabei wurden Marken und Typenbezeichnungen dokumentiert. Der Leichnam wurde beschlagnahmt.

Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchcomputerprofils

Der Tauchcomputer des Verunfallten habe bei Bergung die Anzeige „SOS“ angezeigt, sowie „Maximal depth: 25,6 m“, „Dive time: 114“ und „Dekostopp 9, 15 m“. Ein Mitarbeiter der Tauchbasis, der nach der Bergung an Land anwesend war, wurde von der Polizei zur Sache befragt. Der Austritt von Blut und Schaum sei nach seiner Ansicht auf einen „Lungenriss“ zurückzuführen. Die SOS-Anzeige des Computers sei ein Zeichen für zu schnelles Auftauchen. Die Ziffer 25,6 weise auf eine maximale Tauchtiefe von 25,6 m hin. Die Anzeige „Dekostopp 9, 15 m“ beschrieb er als verwirrend, da diese für eine Aufforderung des Computers zu einem Dekompressionsstopp nach einem Tauchgang in größerer Tiefe spräche. Hierzu solle idealerweise eine Auswertung des Tauchcomputers von fachkundiger Stelle eingeholt werden.

Bei der Ausrüstung handle es sich um eine gute Qualität. Sie sei an sich „in Ordnung“ gewesen. Die Tauchflasche habe zwei separat verschließbare Ventile gehabt. Der Trockentauchanzug sei „ohne Luft“ gewesen. Es sei jedoch unklar, ob dies auch im Wasser so gewesen oder im Rahmen der Bergung durch Lockerung der Halsmanschette entstanden sei. Die Tauchflasche sei nach Bergung leer gewesen. Er könne sich vorstellen, dass der Verunfallte mit dem Tauchscooter im Verlauf des Tauchgangs schnell in Richtung Oberfläche gesteuert und dabei einen Lungenriss erlitten haben könnte. Die Vermutung eines schnellen Aufstieges basiere auf der „SOS“-Anzeige des Computers. Eine Auslesung des Computers könne

eindeutige Daten darüber ergeben, wann und zu welchem Zeitpunkt sich der Verunfallte in welcher Tiefe bewegte.

Seitens eines öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen wurde im Verlauf Interesse an der Auswertung der Ausrüstung angemeldet. Nach Aktenlage wurden jedoch weder die Ausrüstung noch der Tauchcomputer durch einen Sachverständigen analysiert. Eine „Inaugenscheinnahme der Tauchutensilien [vor Ort habe] keinen Grund zur Beanstandung gegeben“. Ausrüstung und Tauchscooter würden sich in „einem guten/technisch nicht zu beanstandendem und funktionablem Zustand“ befinden.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Das polizeiliche Ermittlungsergebnis sprach gemäß Ermittlungsakte für einen „Tod durch eigenes Verschulden und fahrlässiges Selbstverschulden; Motiv Selbstüberschätzung“. Hinweise auf Fremdverschulden lagen nicht vor. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich.

Beurteilung

Auf Basis der vorliegenden Informationen muss die zufriedenstellende Klärung des Unfallhergangs versagen. Die Bedingungen, die zum Tod des Verunfallten geführt haben, bleiben in Gänze spekulativ. Selbst hierfür sind die vorliegenden Basisinformationen dürftig.

Die Unklarheiten beginnen mit der Frage, ob und weshalb sich ein als „erfahrener, besonnener und sicherheitsbewusster Taucher“ beschriebener Rescue Diver von seiner ihm zugeteilten Gruppe mit Taucherinnen geringeren Ausbildungsstands entfernt hat, sofern denn diese Aussage bei divergierenden Aussagen überhaupt als Grundlage für Spekulationen angenommen werden kann. Die Tatsache, dass er für diese Gruppe als Tauchgruppenführer eingeteilt worden war, würde sein bewusstes Entfernen von seinen Tauchpartnerinnen zu einer Verletzung der Garantenpflicht und somit zu einer fahrlässigen Handlung machen. Die Diskrepanz zwischen der Charakterbeschreibung des Verunfallten als erfahrener, besonnener und sicherheitsbewusster Taucher und dem diskutierten fahrlässigen Verhalten sollte das Interesse wecken, den Ablauf unter Wasser genauer zu rekonstruieren. Dazu kommt, dass hierzu keine direkten Zeugenaussagen vorliegen. Der bereits geschilderte Ablauf war indirekt dem Ermittlungsbericht zu entnehmen und basiert auf den initialen Aussagen der Tauchpartnerinnen und des Leiters der Tauchgruppe sowie Aussagen der Tauchpartnerinnen gegenüber Dritten. Gerade weil die Beschreibungen des Ablaufs ab dem Eintreffen der Dreiergruppe am Autowrack erheblich divergieren wäre eine dezidierte Vernehmung der Tauchpartnerinnen erforderlich gewesen. Auf Basis von derart geringer Deckungsgleichheit der Berichte darf auch ein Fremdverschulden nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

Geht man davon aus, dass sich der Verunfallte tatsächlich bewusst von der Gruppe entfernt hat, bleibt die Frage, warum es zu diesem inadäquaten Verhalten

gekommen ist. Dabei rücken Fragen der allgemeinen und tauchgangspezifischen Befragung in den Mittelpunkt.

Von besonderem Interesse ist die medizinische Vorgeschichte, insbesondere die Substanzanamnese (Alkohol, Drogen, sedierende oder bewusstseinsverändernde Medikamente). Auch Fragen zu auffälligen Lebensumständen können in Fällen wie diesem eine zentrale Rolle spielen. Nicht selten zeigen Menschen in besonderen Lebensumständen wie privaten oder gesundheitlichen Schicksalsschlägen und/oder Stress, ein auffälliges oder risikofreudiges Verhalten ohne Rücksicht auf Konsequenzen. Die Frage nach einem Imponiergehabe gegenüber den beiden Taucherinnen sollte gestellt werden, um abzuwägen, ob das inadäquate Verhalten des Verunfallten damit in Zusammenhang zu setzen ist. Auch nach Anhaltspunkten für Suizidalität sollte gefahndet werden, dies auf Basis der (auf Grund der unterschiedlichen Zeugenaussagen nicht sicher glaubwürdigen) Aussage, dass sich der Verunfallte plötzlich von der Gruppe entfernte.

Die Ermittlungsakte ergab keine wegweisenden Informationen zu besonderen Umständen am Unfalltag, etwa in Bezug darauf, ob der Verunfallte an diesem speziellen Tag übermüdet wirkte, eine besondere körperliche Anstrengung vorlag, Stress oder psychische Auffälligkeiten bestanden haben und ob vor kurzem Alkohol oder andere Substanzen konsumiert wurden. Wichtig wäre auch zu wissen, in welcher Verbindung die Tauchpartnerinnen zum Verunfallten standen und ob sie als Team erstmalig gemeinsam tauchen gingen. Fremdanamnestisch wäre von Interesse, ob Spannungen in der Gruppe bestanden und wie der Verunfallte darauf reagierte, dass er die beiden Taucherinnen zugeteilt bekam. Gegebenenfalls könnte sich aus diesen Informationen Hinweise ergeben, wieso der Verunfallte gegenüber beiden Tauchpartnerinnen das geschilderte Verhalten zeigte. Ort und Zeitpunkt der Flaschenfüllung sowie die Art des Atemgases wären zu ermitteln, vor allem in Verbindung mit einer Analyse des Atemgases. Eine Untersuchung auf Verunreinigung sollte allein deshalb durchgeführt werden, um eine gegebenenfalls bestehende Intoxikation des Verunfallten oder eine falsche Zusammensetzung als Erklärung seines Verhaltens auszuschließen. Auch bezüglich des Tauchscooters wären Ermittlungen geboten. Unklar bleibt, ob der Verunfallte Erfahrung mit dem gemäß Aktenlage geliehenen Gerät hatte und ob er eine Einweisung erhalten hatte.

Der vorliegende Fall ist somit ein Beispiel dafür, von welcher hohen Bedeutung eine detaillierte und systematische Befragung für die Aufklärung eines tödlichen Tauchunfalls sein kann.

Die adäquate Rekonstruktion des gesamten Geschehens hätte die technische Analyse der Tauchausrüstung und eine Analyse des Tauchcomputers sowie des Tauchscooters durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen erforderlich gemacht, so wie es auch vom Mitarbeiter der Tauchschiule, der Ausrüstung und Computer vor Ort grob überprüft und auf Unklarheiten hingewiesen hatte, vorgeschlagen worden war. Der Aktenvermerk, dass Ausrüstung und Tauchscooter sich in „einem guten/technisch nicht zu beanstandendem und funktionablem Zustand“ befunden haben, ist absolut nicht nachvollziehbar. Wie bereits in den vorherigen Fällen und im Abschnitt 5.3 (Technische Untersuchung und Beurteilung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen) erläutert, bedarf es für eine solche Aussage umfangreicher und technisch komplexer Untersuchungen.

Über den völlig unklaren Verlauf des Tauchgangs des Verunfallten hätte man durch das gespeicherte Tauchprofil Klarheit gewinnen können. Von Bedeutung wäre gewesen, ob das Tauchprofil Hinweise auf ein orientierungsloses Verhalten, Bedienungsprobleme oder Steuerungsversagen des Scooters enthalten könnte. Zudem hätte die Frage um den möglichen schnellen Aufstieg und somit die Diskussionsgrundlage für einen möglichen Lungenriss als Todesursache geklärt werden können. Die Hypothese eines Lungenrisses durch schnellen Aufstieg wurde vom Mitarbeiter der Tauchbasis aufgrund der SOS-Anzeige des Tauchcomputers geäußert. Es ist jedoch in erster Linie davon auszugehen, dass die SOS-Anzeige des Computers mit der Warnung über ein zu schnelles Auftauchen im Rahmen der Bergung aktiviert wurde. Über die Bergung an sich bestehen keine Angaben, häufig werden Leichen jedoch mit Hilfe von externen Auftriebsmitteln und somit schnell an die Oberfläche verbracht. Eventuell vorangegangene Aufstiegswarnungen werden durch die jeweils letzte maskiert. Hinweise über Aufstiege zu Lebzeiten wären somit nur durch Auslesung des Profils zu detektieren gewesen ohne die der Ablauf generell spekulativ bleibt. Die für Verwirrung sorgende Anzeige des Tauchcomputers bezüglich der Dekompressionsstopps muss in Hinblick auf die gemessene „Tauchzeit“ von fast zwei Stunden (bis zur Bergung) interpretiert werden. Bei einer derart langen Grundzeit auf 25 m wären Stopps bei 15 und 9 m erforderlich.

Von zentralem Interesse wäre die technische Analyse der Tauchausrüstung. Ganz abseits der Frage, ob und warum sich der Verunfallte von der Gruppe entfernte, bleibt die Unklarheit, was in Abwesenheit von Augenzeugen unter Wasser geschah und zum Tod des erfahrenen und als „Rescue Diver“ geschulten Verunfallten führte, zumal anzunehmen ist, dass er gute erworbene Kenntnis über Selbsthilfe- und Selbstrettungsmaßnahmen in Notsituationen hatte. Von einem Ertrinkungstod ausgehend erscheint ein technischer Defekt der Ausrüstung kombiniert mit eingeschränkter Handlungsunfähigkeit ein möglicher Auslöser zu sein. Die Tauchflasche des Verunfallten war entleert, ebenso enthielt der Trockentauchanzug kein Gas mehr. Von weiterem Interesse wäre, ob auch das Jackett komplett entleert war und ob Hinweise auf einen ursächlichen Defekt am Tauchanzug vorlagen. Komplett entleerte Auftriebsmittel könnten eine Suizidalitätshypothese unterstützen. Die genaue Konfiguration von Flasche und Atemregler(n) ist nicht erkennbar, offensichtlich verfügte der Verunfallte aber sogar über zwei separat verschließbare Ventile an der Flasche. Das ganze Spektrum möglicher technischer Defekte von Problemen am Atemregler (Vereisung, Atemwiderstände, Defekte, Fremdkörper, Korrosion) über Funktions- und Dichtigkeitsprobleme von Auftriebsmitteln und des Trockentauchanzugs bis hin zu Ablagerungen und Fremdstoffen in der Tauchflasche ist in Ermangelung einer Analyse durch einen Sachverständigen nicht auszuschließen, schon gar nicht durch eine einfache Inspektion am Unfallort, wie es hier der Fall war. Eine Fehlfunktion oder eine Entladung der Batterien des Scooters könnten Hinweise auf den Unfallhergang geben. Insgesamt wurde in Bezug auf den Scooter in der gesamten Ermittlung wenig dokumentiert. Wenn ein tödlicher Tauchunfall so viele Ungereimtheiten aufzeigt, wie der vorliegende, ist die Analyse durch einen unabhängigen, offiziell bestellten und vereidigten Sachverständigen essentiell.

Die polizeiliche Leichenschau ergab Indizien für einen Ertrinkungstod. Der beschriebene ausgeprägte Schaumpilz spricht für ein Ertrinken als Todesursache. Die blutigen Abrinnsuren sind im Rahmen eines Barotraumas im HNO-Bereich beim Absinken in Bewusstlosigkeit ohne Druckausgleich zu werten. Mit Sicherheit kann die

Todesursache eines Ertrinkens jedoch nur durch eine Sektion nachgewiesen werden. Die Sektion wäre gerade in diesem hinsichtlich des Ablaufs unklaren Fall zur differentialdiagnostischen Abklärung von immenser Bedeutung gewesen, sowohl in Bezug auf die Auslöser des unklaren Verhaltens des Tauchers als auch in Bezug auf andere gesundheitliche Schädigungen wie der Ausschluss innerer Erkrankungen und hirnorganischer Prozesse. Auch hätte ein chemisch-toxikologisches Gutachten mit Untersuchung auf Alkohol, Drogen, sowie bewusstseinseinschränkende oder bewusstseinsverändernde Medikamente durchgeführt werden müssen.

Für die Überlegungen des Notarztes („hyperbares Trauma“) und des Mitarbeiters der Tauchbasis („Lungenriss“) spricht abgesehen von theoretischen Überlegungen im Zusammenhang mit einem akzidentell schnellen Aufstieg mit dem Tauchscooter nichts Fassbares. Es wird kein Subkutanemphysem beschrieben und der reinweiße Schaumpilz ist nicht blutig tingiert. Um allerdings eine Überdehnung der Lunge mit zerebraler Luftembolie, Mediastinalemphysem, Pneumothorax oder Spannungspneumothorax sicher ausschließen zu können, wäre eine Sektion alternativlos und unbedingt indiziert gewesen, wenngleich postmortale Dekompressionsartefakte nach raschem Aufstieg im Rahmen der Bergung die Beurteilung sicherlich erschwert hätten. Eine postmortale Computertomographie war zu Zeiten des Unfalls noch nicht etabliert, wäre heutzutage aber von größter Bedeutung für diese Fragestellung.

Zusammenfassend wurde in diesem Fall eine völlig unklare Situation ohne weitere Ermittlungs- und Untersuchungsschritte als „Tod durch eigenes Verschulden und fahrlässiges Selbstverschulden; Motiv Selbstüberschätzung“ deklariert.

Dieser Fall ist beispielhaft dafür, wieso diese Dissertation eine Sensibilisierung für eine genaue Anamnese und die Wichtigkeit einer umfassenden, interdisziplinären Zusammenarbeit bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle zum Ziel hat.

Auslöser
unklar
Schädigungsmechanismus
unklar
Gesundheitliche Schädigung
unklar
Todesursache
Ertrinken

Tab. 15: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 10

4.2.11 Fall 11

Es handelt sich um den Fall eines 30-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Tieftauchgangs tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Bezüglich der medizinischen Vorgeschichte ergab die Rücksprache mit dem Hausarzt das Vorliegen einer (nicht näher beschriebenen) Bronchitis zwei Jahre zuvor und einer perianalen Blutung 6 Monate zuvor. In der Befragung der fünf Tauchpartner berichtete einer (Tauchpartner 1), dass der Verunfallte in letzter Zeit stark abgenommen habe. Er habe ihm über eine Krebserkrankung mit stattgehabter Strahlentherapie berichtet. Bezüglich dieser Information befindet sich in der Akte kein Hinweis auf weitere Abklärung. Die letzte Tauchtauglichkeitsuntersuchung des Verunfallten fand ein Jahr zuvor statt; das Ergebnis war nicht bekannt. Aussagen bezüglich einer Substanzanamnese lagen nicht vor. Der Verunfallte sei aktiver Sportler gewesen. Der Verunfallte verfügte über ein AOWD-Brevet und eine Erfahrung von über 109 Tauchgängen, viele davon unter Kaltwasserbedingungen. Bezüglich auffälliger Lebensumstände lag keine Information vor.

Tauchgangspezifische Befragung

Über die Wassertemperatur sowie die Wetter- und Sichtbedingungen am Unfalltag im Mai wurden keine Angaben gemacht. Der Verunfallte befand sich mit fünf anderen Tauchern eines Tauchclubs im Tauchurlaub am Hemmoorsee. Am Tag des Ereignisses führte er einen gemeinsamen Tauchgang mit zwei der Tauchclubmitglieder durch. Hierbei handelte es sich um Vater (50 Jahre, Tauchpartner 1) und Sohn (20 Jahre, Tauchpartner 2). Alle drei Taucher verfügten laut Tauchpartner 1 über eine mehrjährige Taucherfahrung. Bereits am Vortag hätten die drei Beteiligten zwei Tauchgänge in gleicher Formation im Hemmoorsee durchgeführt. Der Tauchpartner 2 verfüge über ein Bronze Brevet und über 129 Tauchgänge. Der Tauchpartner 1 verfügte ebenfalls über ein Bronze Brevet. Die beiden Tauchpartner hätten das Tauchrevier gekannt und schon einige Male im Hemmoorsee getaucht. Der Tauchpartner 1 schätzte den Verunfallten als besonnenen Taucher ein. Man habe schon öfter miteinander getaucht und verstehe sich gut. Die Tauchausrüstungen wurden vor dem Tauchgang kontrolliert. Der Lungenautomat von Tauchpartner 2 sei noch Anfang des Monats in der Wartung gewesen. Man habe keine Beanstandungen gehabt. Der Verunfallte habe seine eigene Ausrüstung benutzt. Über das Atemgas des Verunfallten und der letzten Füllung lag keine Aussage vor. Der Tauchpartner 2 gab an, mit Pressluft getaucht zu haben.

Bezüglich des Ereignishergangs gaben beide Tauchpartner unabhängig voneinander weitgehend identische Schilderungen ab. Man sei am Einstieg 5 auf 35 m Tiefe abgetaucht. Der Tauchgang sei zunächst ruhig verlaufen. Nach etwa 11 bis 12 Minuten habe der Tauchpartner 2 auf 30 m Tiefe signalisiert, dass er Probleme mit seinem Lungenautomaten habe. Tauchpartner 1 habe die Zeichen als Vereisung interpretiert, zumal der Lungenautomat „selbstständig abblies“. Das Ventil sei daraufhin geschlossen worden. Tauchpartner 2 habe seinen Zweitautomaten in Gebrauch genommen, jedoch das Gefühl gehabt, auch darüber keine Luft zu bekommen und daraufhin nach dem Oktopus des Tauchpartners 1 verlangt. Seine Flasche sei zu diesem Zeitpunkt fast leer gewesen, da durch das Abblasen keine

Luft mehr im System war. Der Tauchpartner 1 habe ihm seinen Oktopus gegeben. Diese Situation schien nach Schilderungen und Tauchprofil zunächst geordnet zu verlaufen; man habe einen langsamen Aufstieg begonnen. Der Tauchpartner 1 berichtet, er habe sich intensiv um den Tauchpartner 2 gekümmert und dabei den Verunfallten aus den Augen verloren.

Kurz darauf sei der Verunfallte wild gestikulierend wieder in sein Sichtfeld geraten. Der Verunfallte habe allem Anschein nach eine Panikattacke gehabt und seine Maske vom Gesicht und den Lungenautomaten aus dem Mund gezogen. Der Tauchpartner 1 habe noch versucht, ihn zu fassen und zu halten, wobei alle Beteiligten einige Meter sanken, hätte sich jedoch nicht um zwei Taucher in Not zugleich kümmern können, zumal weder Tauchpartner 1 noch Tauchpartner 2 dem Verunfallten Not-Atemgas hätten anbieten können. Der Verunfallte sei daraufhin langsam in die Tiefe gesunken. Beide Tauchpartner führten hiernach einen Notaufstieg ohne Dekompressionsstopps aus 27 m Tiefe durch, um Rettungsmaßnahmen von der Oberfläche aus einzuleiten.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Beide Tauchpartner erhielten nach dem Notaufstieg an Land eine Erstversorgung mit normobarem Sauerstoff. Es bestanden keine gesundheitlichen Einschränkungen. Der Verunfallte wurde ca. 2 ½ Stunden später nach Einsatz eines Mini-U-Boots des Tauchbasisbetreibers, Bergungstauchern und mehrerer Rettungskräfte tot geborgen. Über die Bergung selbst und die Situation des Auffindens lagen keine Angaben vor. In der Todesbescheinigung durch den Notarzt wurde ein nichtnatürlicher Tod und als Todesursache ein „Tod durch Ertrinken“ angegeben.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Die Leiche wurde in die Räumlichkeiten eines Bestatters verbracht. Dort erfolgte die polizeiliche Leichenschau. Die Bekleidung des Verunfallten wurde beschrieben, jedoch keine Marken/Typbezeichnungen dokumentiert. Er habe einen „Neoprenanzug“ (offensichtlich ein Trockentauchanzug, weil Unterbekleidung vorhanden), Handschuhe, Tauchschuhe, einen Thermoanzug und ein Thermoshirt, sowie Socken getragen. Der Verunfallte wurde anschließend vollständig entkleidet. Der Leichnam wurde als 180 cm groß, 90 kg schwer und von kräftiger Statur beschrieben. In Nase und Mund habe sich ein Schaumpilz gezeigt. Nach Entfernen des Schaumpilzes sei oral immer wieder Wasser und Blut nachgelaufen. Beim Versuch, den Schaum mit einem Sauger zu entfernen, habe man größere Mengen Blut absaugen können. Auffällig sei zudem eine rötliche Verfärbung der Bindehäute gewesen. Das Gesicht sei gedunsen und bläulich-rötlich verfärbt gewesen. Die Leichenstarre habe im Kieferbereich beginnend eingesetzt. Anzeichen auf Fremdeinwirkung hätten nicht bestanden. Bezüglich des abzusaugenden Blutes wurde ein telefonischer Kontakt zur Rechtsmedizin hergestellt. Nach Rücksprache mit einem ärztlichen Mitarbeiter der Rechtsmedizin wurde notiert, dass es bei Ertrinkungsopfern in gewissen Tiefen durch die Kompression von Lunge oder Herz zu starken Blutungen kommen könne (Anm.: Es ist anzunehmen, dass hiermit ein „Inneres Blaukommen“ gemeint ist). Es könne aber auch für eine organische Erkrankung (Herz/Lunge) sprechen.

Weiteres Vorgehen

Die Tauchausrüstungen der Beteiligten, sowie die Tauchcomputer wurden beschlagnahmt.

Untersuchung der Tauchausrüstung, des Atemgases und des Tauchcomputerprofils

Die Tauchausrüstungen der Beteiligten sowie die Tauchprofile wurden vom Inhaber einer Tauchstation im Ort als Gutachter analysiert.

Bezüglich der Ausrüstung des Tauchpartners 2 war auffällig, dass die 2. Stufe des Hauptlungenautomaten insofern extrem grenzwertig eingestellt war, als dass bereits ein leichter Druck auf die Luftdusche zu einem sofortigen und kontinuierlichen Abströmen des Atemgases führte. (Anm.: Die Luftdusche besteht aus einer Taste am Gehäuse, über die man die Einatem-Membran manuell eindrücken kann. Hierdurch strömt Luft durch die zweite Stufe und das Mundstück.)

Bezüglich des zweiten Atemreglersets wurde erwähnt, es sei „schwergängig zu atmen, aber voll funktionsfähig“. Die erste Stufe habe einen Mitteldruck gemäß Herstellervorgabe und keinerlei Schäden gezeigt. Aller Wahrscheinlichkeit nach habe ein Abblasen der zweiten Stufe des Hauptlungenautomaten zur vollständigen Entleerung der Pressluftflasche geführt. In der Flasche befand sich ein Restdruck von 0 bar. Eine Analyse des Atemgases war somit nicht möglich. Bezüglich des Jackets wurde keine Beeinträchtigung der Funktion gefunden. An Gewichten hätten sich je Seite 2 kg in Schnellabwurf taschen befunden.

Bezüglich der Ausrüstung des Tauchpartners 1 wurden beide Lungenautomaten als voll funktionsfähig beschrieben. Die Flasche zeigte einen Restdruck von 90 bar. Das Atemgas sei geruchsfrei gewesen und bezüglich des Wassergehaltes in der Norm. Das Jacket zeigte keine Beeinträchtigung der Funktion. An Gewichten befanden sich je Seite 4,1 kg Blei in Schnellabwurf taschen sowie je 1,5 kg Trimmblei.

In der Flasche des Verunfallten bestand ein Restdruck von 130 bar. Auch hier war das Atemgas geruchsfrei und der Wassergehalt normwertig. Das Hauptatemreglerset wurde als voll funktionsfähig beschrieben. Am zweiten Lungenautomaten des Verunfallten wurde ein Defekt an der zweiten Stufe dokumentiert. Die Luftdusche verklemme sich bei Betätigung. Das zweite Set sei somit nicht einsatzbereit gewesen. Die klemmende Luftdusche könne zu einem unkontrollierten Abströmen der Atemluft führen.

In der Analyse der Ausrüstung wird zudem beschrieben, dass die Halsmanschette des Trockentauchanzuges des Verunfallten einen leichten Defekt zeigte und möglicherweise nicht richtig abdichten würde. Das Jacket habe keine Beeinträchtigung der Funktion gezeigt. An Gewichten wurden 1,4 kg in der linken Außentasche beschrieben.

Die Analyse der Tauchprofile ergab, dass bei dem Verunfallten bei Antritt des Tauchgangs am Unfalltag durch die Tauchgänge am Vortag (37 m, 30 min und 18,5 m, 39 min) eine signifikante, aber nicht kritische Stickstoff-Vorbelastung vorlag. Die Tauchpartner seien am Unfalltag ruhig und mit durchschnittlicher Geschwindigkeit innerhalb von 12 min bis auf 40 m abgetaucht und dabei „vorbildlich eng bei einander geblieben“. Die Probleme des Teams hätten nach Beginn des Aufstieges in Minute 14 begonnen. Es folgt im Profil ein schneller Aufstieg aller Taucher bis auf 23,6 m. Der Verunfallte sank hiernach auf 35,5 m ab. In den Profilen von den Tauchpartnern 1 und 2 zeigt sich hier ein schnelles Absinken von 23 auf 30 m, passend dazu, dass

beide beim Versuch dem Verunfallten zu helfen mit in die Tiefe gezogen wurden, bevor sie den eigenen Notaufstieg einleiteten.

Auffällig zeigte sich in der Analyse des Tauchcomputers des Verunfallten auch ein hoher persönlicher Luftverbrauch in den vergangenen sowie dem tödlich endenden Tauchgang (20L/min), so dass im Rahmen der weiteren Ermittlung ein gesundheitliches Problem angenommen wurde.

In der Auswertung der technischen Analyse wird angegeben, dass die Untersuchung der Ausrüstungen keine eindeutige Unfallursache erbracht habe. Das Abblasen des Lungenautomaten von Tauchpartner 2 habe das Team in eine Situation gebracht, die von „gut ausgebildeten Tauchern beherrscht werden“ könne. Das habe auch hier vorgelegen. Zwar sei der Reservelungenautomat des Verunfallten defekt gewesen, jedoch sei auszuschließen, dass dieser zum Unfallgeschehen beigetragen habe, da ein abblasender Automat den Atemgasvorrat signifikant gesenkt hätte. Unklar bliebe, wieso der Verunfallte keinen Auftrieb hatte und sogar absank. Auf Basis der vorliegenden Ausrüstungsteile habe der Verunfallte nach seinen Berechnungen beim Auftreten der Probleme bereits Auftrieb haben müssen. Offen würden die Fragen bleiben, welches Problem der Verunfallte hatte, wieso er keinen ausreichenden Auftrieb herstellen konnte, ob dem Tauchanzug durch die defekte Halsmanschette Luft entwich und wie viel Blei er ursprünglich mitführte.

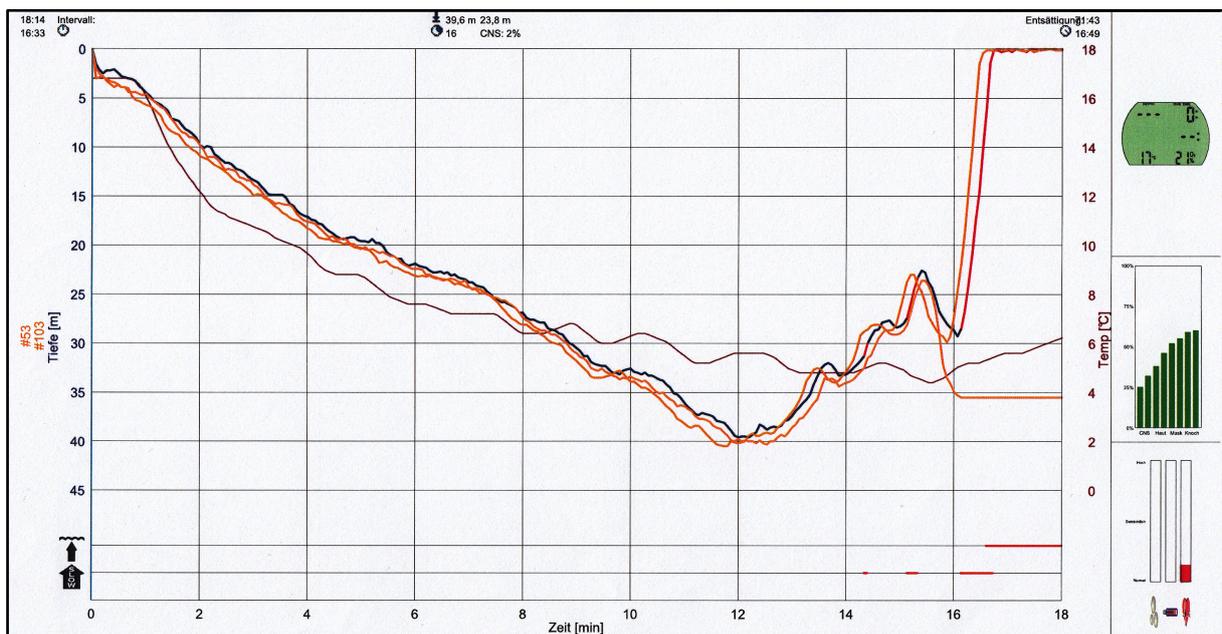


Abb. 27: Teamprofil. Maximale Tiefe: 40m (Fall 11)

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Im polizeilichen Abschlussbericht wird beschrieben, dass eine konkrete Ursache für den Tauchunfall nicht gefunden werden könne. Die Frage, warum kein Auftrieb hergestellt werden konnte, bleibe ungeklärt. Der Bericht schließt mit den Worten: „Eine Obduktion des verunfallten Tauchers wurde nicht durchgeführt. Somit kann

derzeit auch nicht festgestellt werden, ob hier eventuell ein gesundheitliches Problem für den Unfall in Frage kommen könnte“. Die Ermittlungen wurden an dieser Stelle abgeschlossen. Es wurde ein nicht natürlicher Tod angegeben. Das polizeiliche Ermittlungsergebnis spräche für einen Tod durch „fahrlässiges Selbstverschulden“. Es gebe keine Hinweise auf ein Fremdverschulden. Eine Leichenöffnung sei nicht erforderlich.

Beurteilung

In diesem Fall führte die Verkettung zweier an sich nicht zwingend fataler Ereignisse zum Tod des Verunfallten. In der Tiefe von 40 m fanden nach einem problemlosen Abtauchen der Tauchgruppe offensichtlich zeitgleich zwei kritische Ereignisse statt. Gut beschrieben ist die Situation des Tauchpartners 2, der offensichtlich ein Problem mit seinem abblasenden Atemregler hatte. Es erfolgte ein Wechsel auf seinen Reserveautomaten, mit dem eine Atmung möglich, jedoch subjektiv erschwert war. Für diese beiden technischen Probleme finden sich Korrelate im Rahmen der technischen Analyse. Die zweite Stufe des Tauchpartners 2 sei sehr grenzwertig eingestellt gewesen, so dass bereits ein leichter Druck auf die Luftdusche zu einem sofortigen und kontinuierlichen Abblasen des Atemgases führte. Bezüglich des zweiten Atemreglersets gilt, dass damit „schwergängig zu atmen“ sei. Die Situation wurde jedoch von den Tauchpartnern 1 und 2 gemeinsam gut unter Kontrolle gebracht. Man konnte trotz des durch das Abblasen bedingten vollständigen Aufbrauchens des Atemgases von Tauchpartner 2 einen gemeinsamen kontrollierten Aufstieg beginnen, nachdem der Tauchpartner 2 den Oktopus des Tauchpartners 1 erhalten hatte. Einen Anteil an dem fatalen Ausgang für den Verunfallten hat das Ereignis dadurch, dass keiner der Tauchpartner dem Verunfallten bei seinem zeitgleich aufgetretenen Problem aktive Unterstützung leisten konnte. Der Tauchpartner 2 war selbst in Not; die Kapazitäten von Tauchpartner 1 dadurch gebunden. Man konnte den Verunfallten nicht am Absinken hindern und ihm auch keine Atemgasversorgung anbieten.

Unklar bleibt, was zu der beobachteten Notsituation des Verunfallten geführt hat, da keiner der durch die Notsituation des Tauchpartners 2 beanspruchten Tauchpartner auf den Verunfallten geachtet hatte. Die Beschreibung, er habe wild gestikuliert und sich seine Maske vom Gesicht und den Lungenautomaten aus dem Mund gezogen, spricht für eine unterwasser-typische Panikreaktion. Wie es zu dieser kam, bleibt spekulativ. Denkbar als Auslöser der Panik sind die Schwierigkeiten der beiden Tauchpartner, wobei der Verunfallte als AOWD mit über 100 Tauchgängen über eine gewisse Erfahrung verfügte und er am direkten initialen Geschehen nicht beteiligt war. Dass die initiale Situation alleiniger Auslöser der Panik war erscheint unwahrscheinlich. Zu bedenken ist, dass der Verunfallte wahrscheinlich analog zu seinen Tauchpartnern Pressluft geatmet hat. Für einen Tauchgang auf 40 m ist Pressluft jedoch wegen der Gefahr eines Tiefenrausches nur noch grenzwertiges Atemgas. Laut den Regeln der Tauchbasis Kreidensee hätte aufgrund der Brevetierungen der drei Taucher (Bronze, AOWD) zudem eine Tiefenlimitierung bis 25 m vorgelegen. Diese Limitierung besteht nicht ohne Hintergrund. Für Tauchgänge mit Pressluft jenseits von 30 m ist eine spezielle Ausbildung und Erfahrung nötig. Ein Tiefenrausch kann das Verhalten des Verunfallten erklären, beispielsweise in Form einer inadäquaten Reaktion auf ein akut aufgetretenes technisches oder gesundheitliches Problem, wodurch der Verunfallte in der Folge in Panik geriet. Der Tiefenrausch ist dabei in Tiefen um 40 m selten das primäre Problem. Meistens lässt sich - geeignete Ermittlung und Analyse vorausgesetzt - ein handfester

Unfallauslöser in Form eines technischen Problems oder plötzlichen dramatisch verlaufenen medizinischen Problems feststellen. Ein Tiefenrausch kann aber verstärkender Faktor sein.

Zur Abklärung technischer und gesundheitlicher Probleme als Auslöser liegen in diesem Fall keine ausreichenden Informationen vor. Zwar liefert die Untersuchung der Tauchausrüstungen Informationen und zumindest im Fall von Tauchpartner 2 Erklärungen für das Abblasen des Atemreglers. Zur kompletten Untersuchung der Tauchausrüstung und Ausschluss eines technischen Defektes wären jedoch weitere Untersuchungen notwendig gewesen. Der Untersuchungsbericht beschreibt einen Defekt am Reserveatemregler des Verunfallten. Dieser war nicht einsatzklar, da es bei Betätigung der Luftdusche zu einem Verklemmen und Abblasen gekommen wäre. Der Defekt sei laut Untersucher jedoch nicht ursächlich gewesen, da ein abblasender Automat den Atemgasvorrat signifikant gesenkt hätte, jedoch noch 130 bar Restdruck bestanden. Dies ist sicherlich korrekt. Durch die durchgeführten Untersuchungen ist allerdings eine Vereisung am als „funktionstüchtig“ beschriebenen Hauptlungenautomaten nicht sicher auszuschließen. Eine Vereisung der zweiten Stufe kann mit Blockade der Luftzufuhr einhergehen. Dies könnte die Reaktion des Verunfallten (Entfernen der Maske und des Lungenautomat, Panikreaktion) erklären. Nach dem Beenden der Atmung aus dem Lungenautomaten löst sich eine Vereisung der zweiten Stufe innerhalb einiger Minuten wieder auf und ist im Nachhinein schwer nachweisbar. Hierzu hätte ein spezieller Versuchsaufbau mittels in eine Druckkammer integrierter Prüfbank und Nachstellung der Bedingungen zum Unfallzeitpunkt (Wassertemperatur, Tiefe, Testung im Wasserreservoir) stattfinden müssen. Ein derartiger Versuchsaufbau, durch den Vereisungen und erhöhte Atemwiderstände unter bestimmten Umgebungsbedingungen nachgewiesen werden können, steht in der Regel wenigen Untersuchern zur Verfügung, gehört jedoch zum Untersuchungsablauf öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger. Von Interesse wäre auch eine Untersuchung der Atemregler auf Fremdkörper und Korrosionsprodukte gewesen, da auch diese zu einer Dysfunktion führen können.

In der Analyse der Ausrüstung wird zudem beschrieben, dass die Halsmanschette des Trockentauchanzuges des Verunfallten einen leichten Defekt zeigte, der mit Undichtigkeiten verbunden sein könnte. In der Leichenschau wird die Unterbekleidung des Toten als trocken beschrieben, so dass ein Eindringen größerer Mengen Wasser seitens der Ermittler als unwahrscheinlich gedeutet wurde. Sicher ausgeschlossen werden kann eine Undichtigkeit des Anzugs ohne spezielle Untersuchungen aber nicht. Gerade bei Unklarheiten nach Tarierungsproblemen ist diese Fragestellung nach möglichem Gasverlust aus dem Anzug jedoch von großem Interesse, ebenso die Stellung des Überdruckventils.

Das Jacket habe laut des Untersuchers keine Beeinträchtigung der Funktion gezeigt. An Gewichten wurden lediglich 1,4 kg in der linken Außentasche gefunden. Anzunehmen ist, dass initial auch auf der anderen Seite Blei verstaut wurde. Ein Versuch der Klärung der ursprünglichen Bleimenge wäre von Interesse gewesen, sofern in Erfahrung zu bringen. Es besteht Grund zur Annahme, dass der Verunfallte die zweite Bleitasche beim Versuch, Auftrieb zu erzeugen abgeworfen hat. Unklar bleibt, wieso der Verunfallte keinen Auftrieb hatte und sogar absank. Auf Basis der vorliegenden Ausrüstungsteile musste der Verunfallte nach den Berechnungen des Untersuchers beim Auftreten der Probleme bereits Auftrieb gehabt haben. Offen bleibt, welches Problem der Verunfallte hatte, wieso er keinen ausreichenden

Auftrieb herstellen konnte, ob dem Tauchanzug durch die defekte Halsmanschette tatsächlich Luft entwich und wie viel Blei er ursprünglich mitführte. Mit den Möglichkeiten eines öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen hätten diesbezüglich weitere klärende Berechnungen durchgeführt werden können.

Positiv zu bewerten ist das erstellte Teamprofil aus den Computerdaten des Verunfallten und seiner Tauchpartner. Die Profile zeigen sich weitgehend passend zu den Zeugenaussagen. Zudem konnte anhand des Tauchprofils rekonstruiert werden, dass der Verunfallte nach dem Ereignis direkt auf den Grund sank und dort offensichtlich zeitnah verstarb. Der Untersucher gab an, dass die Analyse des Tauchcomputers des Verunfallten einen hohen persönlichen Luftverbrauch im vergangenen und dem tödlich endenden Tauchgang ergeben hätte, so dass im Rahmen der weiteren Ermittlung ein gesundheitliches Problem vermutet wurde. Diese Annahme ist jedoch zu relativieren. Eine Berechnung des körperabhängigen Atemminutenvolumen für diesen Fall, welcher durch Dr. Dietmar Berndt durchgeführt und zur Verfügung gestellt wurde, ergibt, dass ein Atemgasverbrauch von 20L/min im Rahmen liegt und nicht auf einen hohen persönlichen Atemgasverbrauch geschlossen werden kann.

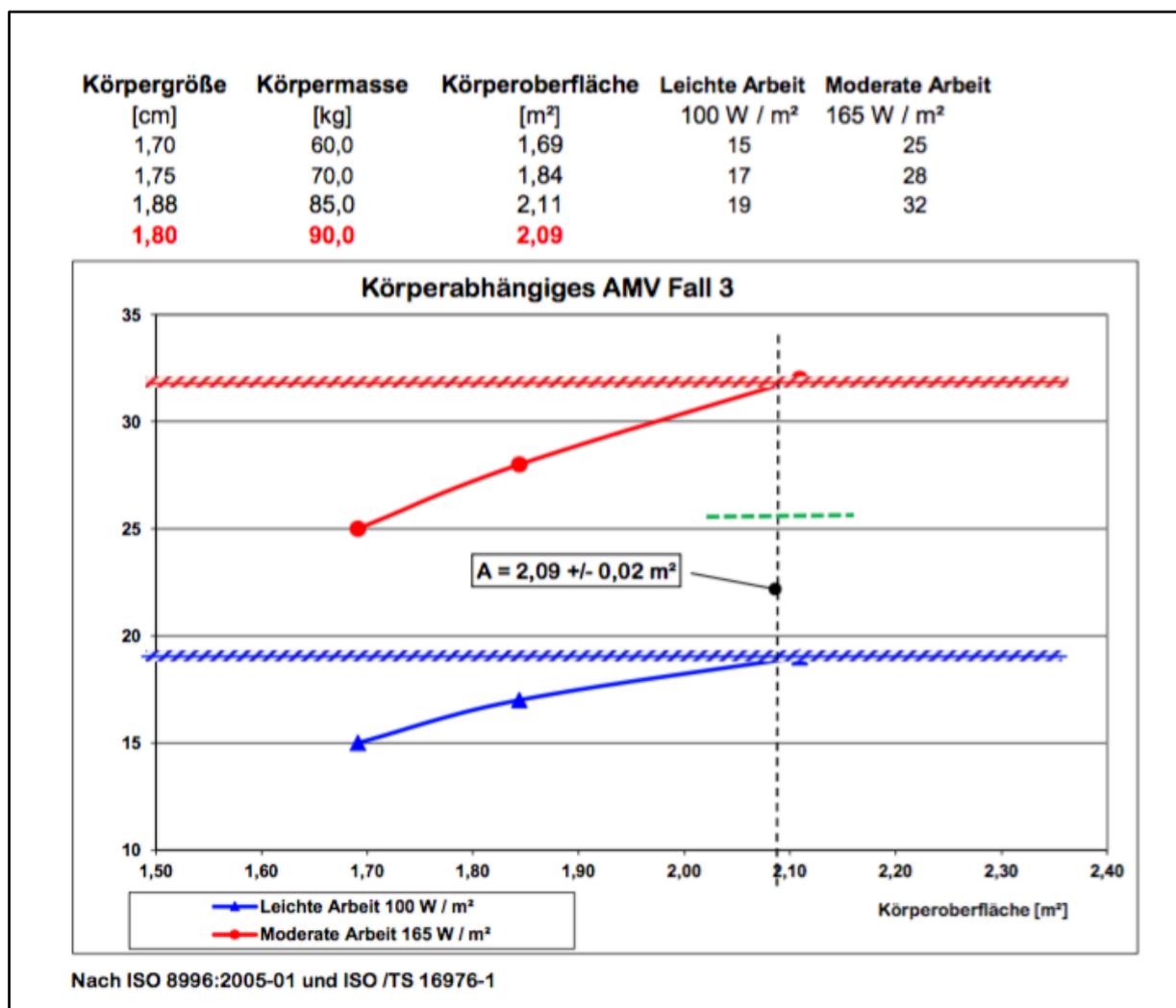


Abb. 28: Berechnung des körperabhängigen Atemminutenvolumen auf Basis der physiologischen Daten. Erstellt und zur Verfügung gestellt von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe

Der Ermittlungsbericht erwähnt explizit, dass mangels Sektion nicht festgestellt werden konnte, ob ein gesundheitliches Problem für den Unfall in Frage komme. Offen bleibt, weshalb trotz dieses Vermerks sowie trotz des Vermerks eines erhöhten Luftverbrauchs (unabhängig dessen Wahrheitsgehaltes) und mehrerer in der Anamnese erwähnter relevanter Vorerkrankungen keine Sektion erfolgte. Sowohl eine stattgehabte nicht näher beschriebene Bronchitis als auch eine Krebserkrankung mit stattgehabter Strahlentherapie können die Tauchtauglichkeit erheblich einschränken oder unmöglich machen. Die weitere Abklärung der erwähnten Erkrankungen ist offensichtlich nicht erfolgt. Eine genauere Differenzierung von Art und Ort der Krebserkrankung ist auch in Hinblick auf einen Stellenwert für den Unfallhergang von großem Interesse. Als zwei von vielen möglicherweise ursächlichen malignen Erkrankungen sind hier Hirntumoren und Lungentumoren zu nennen. Eine Sektion wäre auch zu Klärung dieser Frage unabdinglich gewesen. Zu einer Sektion hätte es auch deshalb kommen müssen, weil im Rahmen der Leichenschau eine Kontaktaufnahme mit der Rechtsmedizin erfolgte und bezüglich der erwähnten größeren Blutmengen in den Atemwegen eine organische Erkrankung von Herz und Lunge in Betracht gezogen wurde. Wie in den meisten Fällen wären zudem Substanzanamnese und ein chemisch-toxikologisches Gutachten von großem Interesse gewesen.

Sehr wahrscheinlich ist, dass der Faktor Panik in diesem Fall eine große Rolle gespielt hat. Umso mehr wäre die Ermittlung des panikinduzierenden Auslösers, des Schädigungsmechanismus und der gesundheitlichen Schädigung von Interesse gewesen.

Auslöser	Mögliche Auslöser für eine Panikreaktion:
unklar	Vereisung 2. Stufe
Schädigungsmechanismus	gesundheitliches Ereignis
Panikreaktion mit Entfernen des Lungenautomaten	Überforderung durch Schwierigkeiten der Tauchpartner
Gesundheitliche Schädigung	
Asphyxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 16: vermuteter Unfallhergang Fall 11

4.2.12 Fall 12

Es handelt sich um den Fall einer 40-jährigen Sporttaucherin, die im Rahmen eines Testtauchgangs zur Überprüfung ihrer Ausrüstung bei Trageproblemen tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten wurden vollständig aufgenommen. Die medizinische Anamnese ergab in diesem Fall fremdanamnestische Hinweise auf gravierende Vorerkrankungen. Ein Freund der Verunfallten berichtete über ein gesundheitliches Ereignis vier Monate zuvor, bei dem die Verunfallte direkt nach dem Auftauchen über akute Dyspnoe geklagt habe, wonach sie vorübergehend stationär überwacht worden sei. Man habe eine Hypoxie festgestellt. Anschließend habe man sie zu einem Pneumologen überwiesen. Laut Aussage des Pneumologen habe die Verunfallte unter einem Asthma bronchiale und einer „Herzmuskelerkrankung“ gelitten. Der Pneumologe kenne sie schon einige Jahre und habe ihr mehrfach vom Tauchsport abgeraten. Durch den Hausarzt lag allerdings eine „Tauchtauglichkeitsbescheinigung“ vor. Hierzu ist besonders hervorzuheben, dass die Bescheinigung handgeschrieben auf einem Krankenkassen-Rezeptblatt notiert wurde mit dem Wortlaut: „Ärztliche Bescheinigung: Bei der o.g. Patientin besteht ein Asthma bronchiale mit stabiler Situation unter entsprechender Medikation. Die Tauchfähigkeit ist insgesamt nicht eingeschränkt.“ Die Verunfallte ging somit dem Tauchsport weiter nach. Angaben über die Substanzanamnese lagen nicht vor. Insbesondere gab es keine Angaben, ob eine Medikation gegen die bekannten Erkrankungen bestand. Die Verunfallte galt eine erfahrene Taucherin und war als Rescue Diver brevetiert.

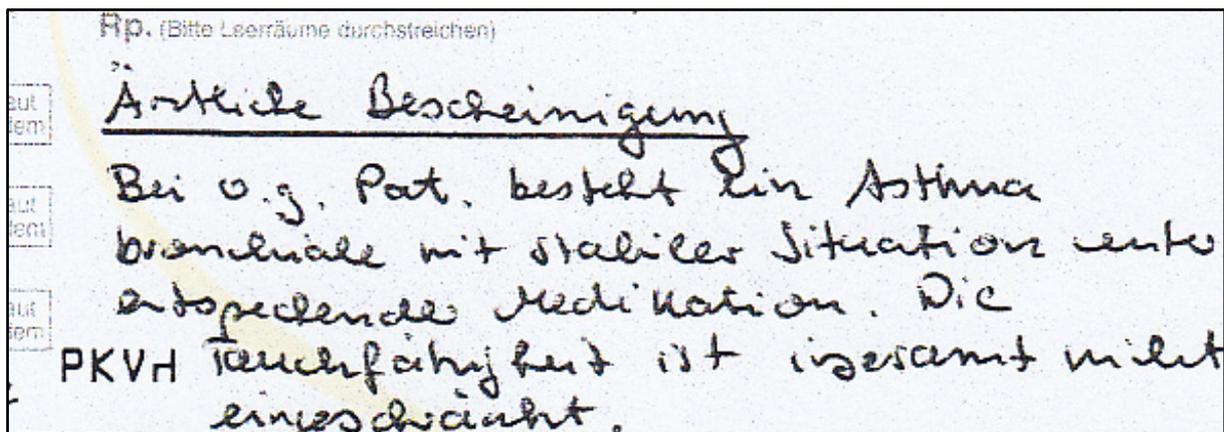


Abb. 29: „Tauchtauglichkeitsbescheinigung“.

Tauchgangspezifische Befragung und Befragung zu Rettungsmaßnahmen

Laut Ermittlungsbericht war es am Unfalltag im März sonnig. Die Außentemperatur lag bei 11°C. Über die Wassertemperatur und Sichtbedingungen wurden keine Angaben gemacht. Ebenso bestanden keine Angaben zu den letzten vorangehenden Tauchprofilen, körperlicher Anstrengung oder Stress. Über die verwendete Ausrüstung, Ort und Zeitpunkt der Flaschenfüllung sowie den Buddy Check bestanden ebenfalls keine Informationen.

Die Verunfallte habe den Tauchgang gemeinsam mit ihrem Lebensgefährten durchgeführt, der als Divemaster brevetiert war. Beide seien am Unfalltag bei gutem Befinden gewesen und hätten sich auf den Tauchgang gefreut. Der Tauchgang sei nach Aussage des Lebensgefährten über den Einstieg 1 im flacheren Teil des Sees durchgeführt worden. Ziel des Tauchganges sei einerseits gewesen, neue Handschuhe zu testen, andererseits aber auch den Trockentauchanzug der Verunfallten zu prüfen. In der Vergangenheit habe es mit dem Anzug immer wieder

Probleme gegeben. Der Anzug habe die Verunfallte eingeeengt. Die Verunfallte und ihr Partner seien nach dessen Angaben langsam auf 19 m abgestiegen. Dort habe ihm die Verunfallte signalisiert, dass sie kalte Hände habe und auftauchen wolle. Er sei dann voraus aufgetaucht und habe an der Oberfläche festgestellt, dass ihm seine Partnerin nicht gefolgt sei. Daraufhin habe er sofort wieder den Abstieg begonnen, um nach ihr zu suchen. Er habe sie in Begleitung eines weiteren Tauchers und Augenzeugen vorgefunden und sie gemeinsam mit ihm zur Oberfläche begleitet. Dort habe sie sofort nach dem Auftauchen gerufen, dass sie keine Luft mehr bekäme.

Der unter Wasser Hilfe leistende Taucher und Augenzeuge berichtete, er habe den Lebensgefährten sehr schnell auftauchen sehen. Die Verunfallte habe er auf einer Plattform in 12 m Tiefe angetroffen, wo sie sich kopfüber mit ängstlicher Mimik an einem Gegenstand festgehalten habe. Sie habe sehr schnell geatmet, sei jedoch bei Bewusstsein gewesen. Sie habe per Handzeichen signalisiert, dass etwas nicht stimmte. Die Kommunikation über Handzeichen sei schwierig gewesen. Auf mehrfache Nachfrage, ob man gemeinsam auftauchen wolle, habe sie wiederholt angedeutet, sie würde noch kurz warten wollen. Nach 10 min sei man dann gemeinsam kontrolliert und langsam aufgetaucht. Dabei habe die Verunfallte langsam und regelmäßig geatmet. Drei Meter unter der Oberfläche sei ihnen der Lebensgefährte wieder abtauchend entgegengekommen. An der Oberfläche habe man sich auf den Weg zum Ufer gemacht. Die Verunfallte habe dann über akute starke Dyspnoe geklagt und eine Lippenzyanose entwickelt. Sie sei leicht panisch geworden und habe ihr Jacket abgelegt. Noch vor Erreichen des Ufers sei es zum Bewusstseinsverlust gekommen. Am Ufer erfolgten Reanimationsmaßnahmen, welche erfolglos blieben. Dem den Tod feststellenden Notarzt fiel ein ausgeprägter Schaumpilz aus Mund und Nase auf, den er nach der Untersuchung entfernte. Zudem habe die Verunfallte ein massiv geblähtes Abdomen gehabt. Im Notarztprotokoll wurde die Diagnose „Tauchunfall; V. a. Aspiration und Lungenödem“ angegeben. Zudem wurde ein unnatürlicher Tod angegeben. Der Ermittlungsbericht weist auf die Notwendigkeit einer Sektion hin.

Auch der Lebensgefährte der Verunfallten war über den Vorfall vier Monate zuvor informiert, bei dem die Verunfallte nach dem Auftauchen über Luftnot klagte. Ihm gegenüber habe sie behauptet, die Konsultation des Lungenfacharztes habe zu keiner Feststellung geführt. Generell habe sie das Gefühl gehabt, dass ihr Trockentauchanzug ihr die Luft nehme und sie einenge.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Bei der Leichenschau war der Notarzt anwesend. Hinsichtlich der Bekleidung wurde ein „Tauchanzug aus Neopren“ beschrieben; als Unterbekleidung eine „Art Trainingshose“ und eine Fleecejacke, sowie lange Unterwäsche. Demzufolge handelte es sich eindeutig um einen Trockentauchanzug. Eine detaillierte Auflistung der Ausrüstung mit Marken und Typenbezeichnungen erfolgte nicht. Die Verunfallte wurde im Anschluss komplett entkleidet. Der Körper wurde als leicht fettleibig beschrieben. Es ergaben sich keine Hinweise auf Fremdeinwirkung. Als auffällig beschrieben wurden neben einer dunkelvioletten Verfärbung der Gesichtshaut ein deutlicher Schaumpilz im Bereich der Nase, sowie das bereits erwähnte deutlich aufgeblähte Abdomen. In den Augen sei eine vermehrte Gefäßzeichnung aufgefallen. Die Fingerspitzen seien violett verfärbt gewesen. Am Rücken wurden

Leichenflecken festgestellt, die noch wegdrückbar waren. Äußere Verletzungen lagen bis auf eine minimale Verletzung der rechten Gesichtshälfte nicht vor.

Weiteres Vorgehen

Tauchgerät und Tauchcomputer wurden beschlagnahmt.

Untersuchung der Tauchausrüstung und des Atemgases

Eine Analyse der Ausrüstung und des Atemgases durch einen Sachverständigen erfolgte nicht.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Ein Angehöriger der Verunfallten sah sich nach Aushändigung des Tauchcomputers der Verunfallten das Profil gemeinsam mit einer nicht näher beschriebenen Taucherin an und ließ sich von ihr beraten. Die Taucherin gab an, die Verunfallte sei „unwahrscheinlich schnell“ aufgetaucht. Im direkten Vergleich des Tauchprofils mit der Aussage des Lebensgefährten seien Diskrepanzen aufgefallen. Dem Angehörigen gegenüber habe der Lebensgefährte abgestritten, dass die Verunfallte längere Zeit ohne ihn unter Wasser gewesen sei, sie seien gemeinsam aufgetaucht. Der Angehörige wies darauf hin, dass die Aussage nicht damit übereinstimme, weil sowohl das Tauchcomputerprofil als auch die Aussage des Augenzeugen einen ca. 10-minütigen Aufenthalt auf 10 bis 12 m beschreiben. Ungewöhnlich würde er zudem empfinden, dass laut Profil erst auf 6 m aufgetaucht und dann erneut auf 10 bis 12 m abgetaucht wurde. Er wolle keinen Schuldigen suchen und er wisse, dass die Verunfallte gesundheitlich angeschlagen war. Dennoch würde er um schriftliche Aussagen des Augenzeugen und des Lebensgefährten zur besseren Klärung bitten sowie um die Auswertung des Tauchcomputers des Lebensgefährten. Er erwähnt zudem, dass es vor kurzem seitens der Verunfallten eine Risikolebensversicherung und viele Kredite thematisiert worden waren.

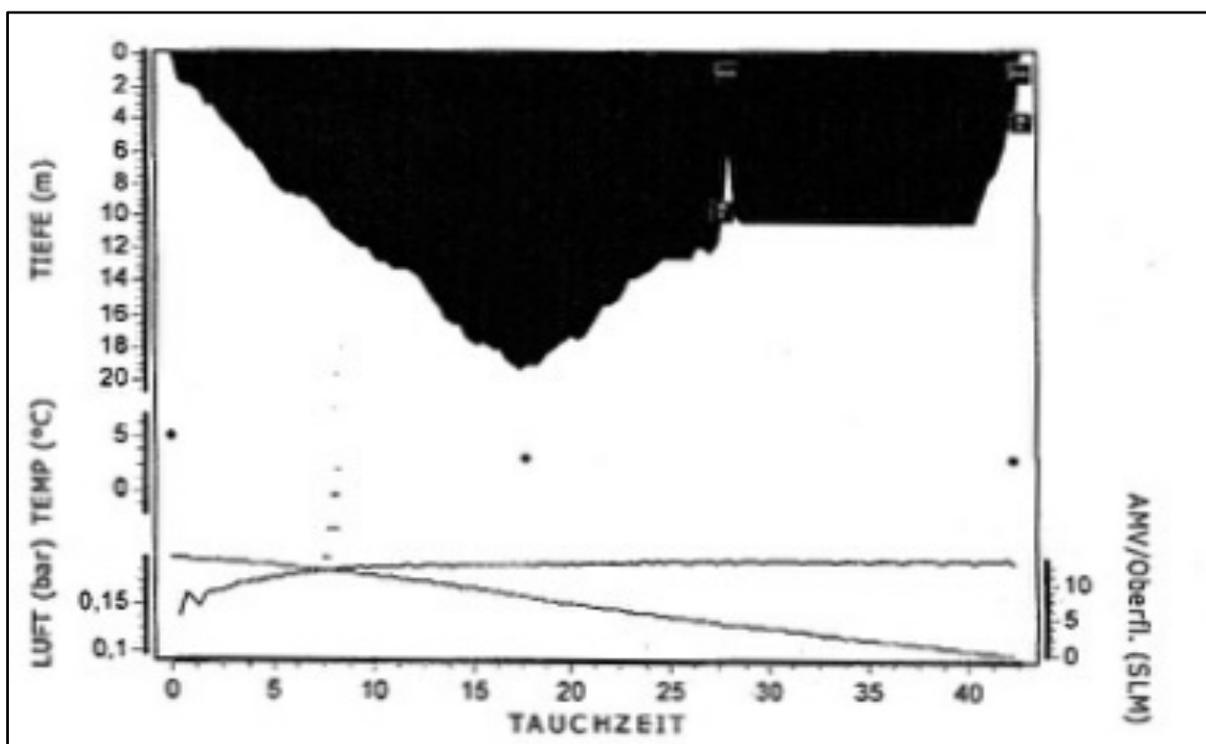


Abb. 30: Tauchprofil der Verunfallten

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Die Todesbescheinigung enthielt den Vermerk „ungeklärt“. Die Ermittlungen führten zu dem Schluss, dass kein Fremdverschulden vorlag. Die Verunfallte habe unter Asthma und einer Herzmuskelerkrankung gelitten und sei gegen den Rat des behandelnden Arztes dem Tauchsport weiterhin nachgegangen. Die Leiche wurde freigegeben, eine Sektion erfolgte nicht.

Beurteilung

Ein direkter Zusammenhang mit einer internistischen Grunderkrankung ist hochwahrscheinlich, wobei es von Interesse wäre, diese genauer zu differenzieren. Ein Fremdverschulden kann keinesfalls sicher ausgeschlossen werden. Ein technisches Problem wäre zumindest als verstärkender Faktor auszuschließen.

Die allgemeine Anamnese ergab durch Aussagen des Lebensgefährten und eines Freundes das Vorliegen zweier internistischer Grunderkrankungen, die jeweils allein und vor allem in Kombination ein hohes Risiko für gesundheitliche Komplikationen beim Tauchen darstellen und zur Untauglichkeit für das Sporttauchen hätten führen müssen [43].

Tauchen mit einem Asthma bronchiale geht generell mit einem erhöhten Risiko für eine Lungenüberdehnung durch Air Trapping einher. Hierbei handelt es sich um gefangene Luft, die bei der Ausatmung durch Verengung der Bronchiolen nicht im gleichen Maße ausgeatmet werden kann wie sie eingeatmet wurde. Zudem besteht gerade in der adiabatischen Kälte der Atemluft, die durch die Entspannung über die beiden Stufen des Lungenautomaten entsteht, ein bronchialer Kältereiz, der bei Überempfindlichkeit einen Asthmaanfall auslösen kann. Außerdem ist die Atemluft beim Tauchen mit offenen Systemen immer trocken. Die Mechanismen eines Asthmaanfalls können durch die Anstrengung und Hyperventilation unter Wasser verstärkt werden. Eine zu enge Halsmanschette des Trockentauchanzugs ist geeignet, auf die ohnehin beeinträchtigte Atmung einer Asthmapatientin verstärkend einzuwirken. Asthmatiker sind nicht grundsätzlich vom Tauchen ausgeschlossen. Ausschlaggebend für die Beurteilung der Tauchtauglichkeit eines Asthmatikers ist der Zustand der Asthmakontrolle. Ein unkontrolliertes Asthma sowie ein belastungs- und kälteinduziertes Asthma stellen nach Empfehlungen der GTÜM e. V. eine absolute Kontraindikation dar. Für ein kontrolliertes Asthma besteht eine relative Kontraindikation, selbst wenn dies unter Medikation erreicht wird. Voraussetzungen dafür sind Beschwerdefreiheit unter Medikation und wiederholt normale Lungenfunktion. Diese Patienten bedürfen somit einer genauen und regelmäßigen Kontrolle der Lungenfunktion. Idealerweise sollte diese vor jedem Tauchgang mit einem Peak-Flowmeter gemessen werden. Es sollte ein Peak-Flow über 80 % vom Bestwert vorliegen und vor dem Tauchgang ein Bronchodilatativum, beispielsweise ein Beta2-Rezeptorantagonist, inhaliert werden. [43 S. 235-238]

Eine mögliche Hypothese ist, dass die asthmatisch vorerkrankte Verunfallte durch Air Trapping eine Überdehnung der Lunge mit einem Pneumothorax erlitten hat. Dieser kann partiell als Mantelpneumothorax oder auch komplett beim ersten Aufstieg eingetreten sein, bevor es zum erneuten Abtauchen auf die Plattform kam (siehe Tauchprofil). Von dort aus kam es zu einem erneuten Auftauchen mit dem Helfer

unter schneller Atmung, wobei es zur Ausdehnung des unilateralen Pneumothorax über das Mediastinum hin zum funktionellen Spannungspneumothorax gekommen sein kann. Hierbei handelt es sich um ein tauchtypisches, wenngleich seltenes Ereignis, für das in diesem Fall einige Aspekte sprechen. Ein Spannungspneumothorax führt zu der beschriebenen ausgeprägten Dyspnoe beim Auftauchen sowie zur Zyanose und Hypotonie. Ein solcher Befund wäre durch eine Computertomographie und Sektion zu klären gewesen. Das Risiko für eine Überdehnung der Lunge ist bei einer funktionellen Asthmaerkrankung deutlich erhöht.

Bezüglich der geschilderten „Herzmuskelerkrankung“ liegen keinerlei Angaben vor, ob es sich hierbei um eine stattgehabte Herzmuskelentzündung oder eine Erkrankung im Sinne einer Kardiomyopathie handelte, beispielsweise um eine hypertrophe oder hypertroph obstruktive Kardiomyopathie. Im weiteren Sinne käme bei den beschriebenen Symptomen auch eine kardiale Erkrankung mit konsekutiv pulmonalerterieller Hypertonie und chronischer Rechtsherzbelastung in Frage. Hierfür sprechen die beschriebene Lippenzyanose, die im Rahmen der Leichenschau festgestellte Zyanose der Fingerspitzen sowie möglicherweise auch der auffällige Befund am Abdomen. Es wäre von Interesse gewesen, ob der Befund eines aufgetriebenen Abdomens erst postmortal erstmals auffiel, oder ob bereits vor dem Unfall vielleicht über längere Zeit ein entsprechender Befund vorlag. Ein aufgetriebenes Abdomen kann im Rahmen einer chronischen Rechtsherzinsuffizienz vorkommen bedingt durch Aszites, Hepatomegalie durch Stauungsleber und gastrointestinale Störungen [15 S. 487, 48 S. 413]. Auch eine Kardiomyopathie im Rahmen einer Systemerkrankung wie einer Sarkoidose ist im Rahmen des Möglichen, wenn man die Symptome als rechtsherzinsuffizienzbedingt beurteilt, zumal die Verunfallte offensichtlich bei einem Pneumologen in Behandlung war und kein Kardiologe erwähnt wird. Das aufgetriebene Abdomen könnte differentialdiagnostisch auch durch ein vermehrtes Schlucken von Luft in der Tiefe im Rahmen von Stress und Panik bedingt sein. Beim Auftauchen kann in einem solchen Fall eine relevante Expansion der geschluckten Luft nach dem Gesetz von Boyle Mariotte erfolgen und zu einem ballonierten luftgefüllten Magen führen. Auch an ein Pneumomediastinum ist zu denken.

Da über die Art der „Herzmuskelerkrankung“ allenfalls nur ein spekulativer Diskurs möglich ist, wäre eine genauere Differenzierung erforderlich gewesen. Die Verunfallte war dem betreuenden Pneumologen schon einige Jahre bekannt, somit hätte eine gezielte Rücksprache mit ihm sicherlich deutliche Erkenntnisse erbracht. Eine Sektion hätte die Frage nach der Art und Genese der Herzmuskelerkrankung sicher klären können.

Die Symptomatik einer Dyspnoe bei Belastung und Immersion, gefolgt von einer Lippenzyanose, Bewusstseinsverlust und plötzlichem Herztod bei bekannter Herzmuskelerkrankung bietet alternativ zur Hypothese eines Spannungspneumothorax durch Lungenriss die einer kardialen Genese der gesundheitlichen Schädigung sowie die einer möglichen primär kardialen Todesursache.

Nicht zuletzt ist bei diesem Fall als dritte mögliche Ursache oder auch als aggravierender Faktor an ein Taucherlungenödem (SDPE) zu denken. Anamnestisch bestehen mehrere mögliche Hinweise für ein SDPE: Das Auftreten beim Auftauchen in relativ geringer Tiefe [61,90], das rezidivierende Auftreten bei mehreren vorherigen

Tauchgängen vor dem fatalen Tauchgang [61 Kap. 30, 94, 101], Kälteempfinden als Vorzeichen [61,90], das Auftreten von Dyspnoe und Zyanose sowie - bei Bewertung des beschriebenen Schaumpilzes als kardiales Ödem - schaumigem Auswurf bei einem Lungenödem [65, 89, 94, 103]. Ein SDPE tritt häufig bei Komorbiditäten wie arteriellem Hypertonus oder Herzkrankheiten auf [68, 70, 89, 94]. Es bestehen Vermutungen, dass bei kardialen Vorerkrankungen eine verminderte Toleranz für die unterschiedlichen physiologischen Belastungen beim Tauchen vorliegt [68, 74]. Vor allem Erkrankungen mit diastolischer Dysfunktion, beispielsweise im Rahmen von vielen Kardiomyopathien, führen durch erhöhtem Druck in den Atrien und Lungenkapillaren zu vermehrter Permeabilität in die Alveolen [68, 74]. Insgesamt scheint für die Entwicklung eines SDPE der Druck in Lungenkapillaren von zentraler Bedeutung zu sein [91, 103]. Erkrankungen mit erhöhtem pulmonalerarteriellem Druck sind somit besonders prädisponierend für ein SDPE. Fatale Verläufe von SDPE sind selten, es wurden jedoch einige Fälle in der Literatur beschrieben. Meistens handelte es sich um Fälle erfahrener Taucher, die hunderte bis tausende von komplikationslosen Tauchgängen absolviert haben und dann plötzlich ein SDPE entwickelten, oft bei relativ leichten Tauchgängen. Häufig kommt es nach der Erstmanifestation zu einem wiederholten Auftreten. Zum Tod führen kann ein SDPE vor allem durch schwere Hypoxie mit resultierender Bewusstlosigkeit und nachfolgendem Ertrinken. [65, 101] In der Gesamtbetrachtung des klinischen Bildes und unter dem Aspekt der kardialen und pulmonalen Vorerkrankung ist ein fataler Verlauf eines SDPE für diesen Fall somit zu diskutieren. (Siehe auch Kap. 3.8.4.2: Taucherlungenödem/ SDPE)

Die Tatsache, dass die Verunfallte an der Oberfläche noch vor Erreichen des Ufers ihr Jacket ablegte, weist auf eine extreme Thoraxenge und/oder Dyspnoe hin. Vor dem Hintergrund, dass eine internistische Grunderkrankung aufgrund der geschilderten Symptome als Auslöser des Unfallhergangs auf der Hand zu liegen schien, allerdings bezüglich der genauen Erkrankung jedoch Unklarheit bestand, wäre eine Sektion der Verunfallten zur zufriedenstellenden Klärung des Falles unabdingbar gewesen.

Unklar bleibt insgesamt, weshalb sich die Patientin über die dringende Empfehlung des Pneumologen, den Tauchsport aufzugeben, hinwegsetzte. Offen bleibt zudem, wieso die wesentliche Diagnose einer „Herzmuskelerkrankung“ dem Hausarzt, der offensichtlich die „Tauchtauglichkeit“ ausstellte, unbekannt war. Die Form der Beurkundung der „Tauchtauglichkeit“ ist ein eklatantes Beispiel dafür, wie ein solches Zertifikat nicht zu erstellen ist, denn die Ausstellung dieser Tauchtauglichkeit wurde nur formlos und handschriftlich auf ein Rezeptblatt geschrieben. Welche Untersuchungen zum Ergebnis der Tauchtauglichkeit geführt haben, bleibt in Gänze unklar. Die Aussage, die „Tauchfähigkeit“ sei „insgesamt nicht eingeschränkt“ ist nicht nur begrifflich, sondern auch inhaltlich absolut inkorrekt. Wenn ein die Tauchtauglichkeit beurteilender Arzt zum Schluss kommt, dass bei relativer Kontraindikation bei einem kontrollierten Asthma und unter Beschwerdefreiheit Tauchen prinzipiell möglich ist, muss zumindest das Ergebnis der letzten Lungenfunktion erwähnt werden und es müssen konkrete Empfehlungen gegeben werden, wie rund um den Tauchgang zu verfahren ist (Peak Flow Messung, Bronchodilatativa). Fraglich ist, ob im Rahmen der „Tauchtauglichkeitsuntersuchung“ ein EKG und eine Ergometrie durchgeführt wurden. Es ist anzunehmen, dass bei einer Herzmuskelerkrankungen mit gravierendem Ausmaß EKG-Veränderungen vorlagen, die den Untersucher vor Ausstellung einer Tauchtauglichkeit zu

weiterführender Diagnostik veranlasst hätten sollten. Bezüglich der kumulierten präexistierenden Verdachtsdiagnosen hätte nach den Empfehlungen der GTÜM e. V. bei eingeschränkter Belastbarkeit eine absolute Kontraindikation für das Tauchen bestanden, begründet durch erhebliche Risiken durch Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz, Bewusstlosigkeit bis hin zum plötzlichen Herztod. Im Falle einer pulmonalarteriellen Hypertonie/chronischen Rechtsherzbelastung würde grundsätzlich immer eine Tauchuntauglichkeit bestehen, da es bei Immersion zu drastischen Druckanstiegen kommen kann [43 S 270-272].

Offen bleibt ohne Sektion die direkte Todesursache. Entgegen der Vermutung eines rein kardialen Ereignisses wurde in der Leichenschau ein deutlicher Schaumpilz im Bereich der Nase beschrieben. Diesbezüglich gibt es zwei Erklärungsansätze. Entweder ist der Schaumpilz durch ein unter Wasser entstandenes Lungenödem bedingt, wobei der kardial bedingte Schaum beim Aufstieg aus der Tiefe den gleichen Ausdehnungsgesetzen folgt wie das Gemisch aus Luft, Wasser und Bronchialsekret, das im Rahmen eines Ertrinkens aspiriert wurde und den typischen Schaumpilz beim Ertrinkungstod bildet. Ein im Rahmen eines kardialen Ereignisses entstandener Schaumpilz ist dabei grobbläsig und wesentlich instabiler als der feinbläsige muzinreiche Schaumpilz bei einem Ertrinkungstod. [55 S. 205-206] Die zweite Erklärung des vorliegenden Schaumpilzes könnte sein, dass es an der Oberfläche auf dem Weg zum Ufer primär zu einer Bewusstlosigkeit kam und die Verunfallte auf den letzten Metern an der Wasseroberfläche ertrank. Ebenfalls möglich ist, dass es in einem unbeobachteten Moment in der Tiefe bereits zur Aspiration kleinerer Mengen von Wasser gekommen ist. Ohne Sektion muss dies allerdings Spekulation bleiben. Bei einer Sektion hätte die Morphologie des Schaumpilzes wegweisende Informationen ergeben. Eine Fotodokumentation vor Ort hätte zudem eine Differenzierung des Schaumpilzes zugelassen.

Auch die Analyse des als in der Handhabung problematisch beschriebenen Trockentauchanzuges wäre unbedingt erforderlich gewesen. Schließlich lagen Aussagen darüber vor, dass die Verunfallte in der Vergangenheit „immer wieder Probleme“ mit dem Anzug gehabt habe. Der fatal endende Tauchgang wurde sogar wegen dieser Probleme als „Check-Tauchgang“ geplant. Die Verunfallte habe das Gefühl gehabt, dass ihr der Trockentauchanzug die Luft nähme und sie einenge. Selbst wenn dies eher als Symptom der bei Immersion und Belastung aggravierten kardialen Erkrankung zu werten ist, wäre eine Untersuchung auf ein Korrelat der subjektiven Empfindung einer Einengung beispielsweise an der Halsmanschette notwendig gewesen. Ohne sachverständige Analyse sind technische Defekte nicht sicher auszuschließen. Dies gilt nicht nur für den Anzug, sondern auch für die Atemregler und Tariermittel sowie für das verwendete Atemgas.

Ebenfalls bleibt unklar, ob ein Fremdverschulden wirklich auszuschließen ist. Die Diskrepanz zwischen der Aussage des Lebensgefährten und dem Tauchprofil sowie der Aussage des hilfeleistenden Tauchers und Augenzeugen bezüglich des Ablaufes nach Eintritt erster Probleme unter Wasser hätten nach genauer Ermittlung verlangt. Verstärkt wird die Notwendigkeit genauerer Ermittlung durch die geäußerten Bedenken des Angehörigen und der durch ihn insinuierten Motivlage in Hinsicht auf pekuniäre Angelegenheiten. Die Aussage des Lebensgefährten, er sei sofort nach dem Verlust seiner Partnerin wieder abgetaucht und habe sie in Begleitung des Helfers auftauchen sehen, ist nicht deckungsgleich mit der Aussage des Helfers, er habe die Verunfallte auf der Plattform in 12 m Tiefe angetroffen, nachdem er den

Lebensgefährten hätte auftauchen sehen, und sie nach 10 min nach oben begleitet. Deckungsgleich mit der Aussage des Helfers ist hingegen das Tauchprofil, welches einen 10-minütigen Aufenthalt auf 12 m Tiefe anzeigt, bevor es zum Auftauchen kommt. Das Tauchprofil der Verunfallten zeigt nicht nur einen schnellen Aufstieg, sondern auch ein Anlangen an der Wasseroberfläche vor erneutem Abtauchen auf 12 m Tiefe, was so vom Lebensgefährten nicht beschrieben wurde. Es bestanden somit mehrfache Widersprüche.

Der Fall zeigt eklatante Defizite in der ursächlichen Aufarbeitung und zeigt exemplarisch, wie augenscheinliche Erkenntnisse, die vor Ort todesursächliche Erklärungen anbieten, entscheidende tauchmedizinische Aspekte völlig überdecken.

Auslöser
Air Trapping bei asthmatischer Vorerkrankung
Schädigungsmechanismus
Überdehnung der Lunge
Gesundheitliche Schädigung
Spannungspneumothorax
Todesursache
Kardiogener Schock

Tab. 17: vermuteter Unfallhergang Fall 12 (Hypothese 1)

Auslöser
Kardiale Vorerkrankung
Schädigungsmechanismus
Verstärkung durch Immersionseffekt
Gesundheitliche Schädigung
Kardiale Belastung (möglicherweise aggraviert durch SDPE)
Todesursache
Kardiales Akutereignis

Tab. 18: vermuteter Unfallhergang Fall 12 (Hypothese 2)

Auslöser
Kardiale Vorerkrankung
Schädigungsmechanismus
Immersionseffekte
Gesundheitliche Schädigung
SDPE
Todesursache
Kardiogener Schock

Tab. 19: vermuteter Unfallhergang Fall 12 (Hypothese 3)

Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann bei aller Unklarheit über innere Erkrankungen als Auslöser eine internistische Vorerkrankung und als Todesursache ein kardiales Akutereignis angenommen werden.

4.2.13 Fall 13 und 14

Beschrieben werden Tauchunfälle einer Sporttauchgruppe von 6 Personen, bei denen zwei Taucher verstarben und zwei weitere verletzt oder gefährdet wurden.

Allgemeine Anamnese

Die ausschließlich männliche Tauchgruppe war aus dem europäischen Ausland angereist. Zur besseren Übersicht werden die beiden Verunfallten als Taucher 1 (59 Jahre, Fall 14) und Taucher 2 (54 Jahre, Fall 13) bezeichnet, die beiden Verletzten/ Gefährdeten als Taucher 3 (43 Jahre) und 4 (61 Jahre) sowie die unverletzten Tauchgruppenmitglieder als Taucher 5 (49 Jahre) und 6 (42 Jahre).

Die allgemeinen Daten der sechs Tauchgruppenmitglieder wurden vollständig aufgenommen. Zur medizinischen Vorgeschichte und zur Substanzanamnese lagen keine detaillierten Angaben vor. Umfangreiche Informationen konnten hingegen zur Brevetierung und Tauchtauglichkeit gewonnen werden, teils aus Zeugenaussagen, teils mittels der Logbücher der verunfallten Taucher 1 und 2.

Beide Taucher verfügten über gut geführte Logbücher, in denen auch Angaben zur jeweiligen Tauchtauglichkeit und Ausbildung zu finden waren. Taucher 2 besaß ein nur wenige Monate altes ärztliches Attest, welches besagte, dass keine Kontraindikationen gegen das Tauchen vorlagen und dass über tauchbedingte Gesundheitsrisiken aufgeklärt wurde. Zudem lag ein zusätzliches taucherärztliches Zertifikat vor, welches Taucher 2 tauchtauglich erklärte. Neben seinen Brevetkarten zum Divemaster und Instructor Assistant fanden sich zahlreiche Nachweise sogenannter Specialties (Nitrox und Advanced Nitrox Diving, Eistauchen, BLS Provider, Oxygen Provider). Seine Ausbildung war in den meisten Fällen von Taucher 1 durchgeführt worden. Auch für Taucher 1 lag eine gültige Tauchtauglichkeitsbescheinigung durch einen Taucherarzt vor. Da diese genau wie

die von Taucher 2 im europäischen Ausland ausgestellt wurde, darf angenommen werden, dass sie nach ähnlichen Kriterien wie die der GTÜM bewertet wurde. Angaben zu Vorerkrankungen lagen nicht vor. Taucher 1 war seinen Ausweisen zufolge Instructor Trainer und somit befugt, Taucher zu Tauchlehrern auszubilden. Er war zudem als Ausbilder der Handicapped Scuba Association (HSA) zertifiziert. Auch er besaß zahlreiche Specialties, war AED und BLS Provider und hatte zudem eine „Gas-Blender“-Genehmigung zur Herstellung von Mischgasen und den Nachweis einer Ausbildung zum technischen Taucher. Er verfügte über 2000 Tauchgänge und habe mehrfach die Woche getaucht. Beide verunfallten Taucher galten innerhalb der Gruppe als sehr erfahren.

Der Ausbildungsstand und die Taucherfahrung aller Gruppenmitglieder konnte ermittelt werden (siehe Tabelle 20).

Taucher 1	59 J.	Instructor Trainer	> 2000
Taucher 2	54 J.	Assistant Instructor/Dive Master	900
Taucher 3	43 J.	Rescue Diver	120
Taucher 4	61 J.	Rescue Diver	203
Taucher 5	49 J.	Rescue Diver	325
Taucher 6	42 J.	Instructor	500

Tab. 20: Übersicht über die Mitglieder der Tauchgruppe, deren Brevetierung und Gesamtauchgänge

Tauchgangspezifische Befragung

Die Tauchgruppe habe bereits am Vortag zwei Tauchgänge am Rüttler (Einstieg 3) und an der Straße (Einstieg 0) mit Maximaltiefen von 40 bis 45 m und 10 bis 15 m durchgeführt. An letzterem hätten nur fünf der Taucher teilgenommen, da der Taucher 1 wegen Rückenschmerzen eine Auszeit genommen habe. Für die Taucher 1, 2 und 4 sei es die erste Tauchreise zum Hemmoorsee gewesen. Die anderen Taucher hätten bereits in der Vergangenheit einige Tauchgänge im See durchgeführt. Die Sechsergruppe habe erstmals eine gemeinsame Tauchreise unternommen; die Taucher 3, 4, 5 und 6 würden regelmäßig gemeinsam tauchen. Taucher 1 und 2 seien gute Freunde und als Tauchpartner geübt. Alle Taucher bis auf Taucher 2 gehörten demselben Tauchverein an. Am Vorabend des Unfalls habe ein moderater Alkoholkonsum stattgefunden. Am Unfalltag seien eigene Ausrüstungen verwendet worden, die nicht im Detail beschrieben wurden. Die Tauchflaschen seien an der örtlichen Füllstation gefüllt worden. Offensichtlich wurde von den Tauchern 1, 3 und 4 laut technischer Analyse Pressluft verwendet. Eindeutige Angaben zum Atemgas der Taucher 2, 5 und 6 lagen nicht vor.

Am Unfalltag seien die Taucher an Einstieg 5 ins Wasser gegangen. Dieser Einstieg sei ausgewählt worden, da er den meisten Mitgliedern der Gruppe noch unbekannt gewesen sei. Der Tag Anfang Oktober wurde als windstill und wolkenlos bei 25°C Lufttemperatur beschrieben. Die Wassertemperatur habe 5°C betragen. Da der Weg vom Auto zum Wasser sehr weit gewesen sei, habe man sich vor dem Abtauchen im Wasser kurz abgekühlt. Es war nach vielfacher Aussage geplant gewesen, auf eine Tiefe von 50 m abzutauchen, sich dort nur kurz aufzuhalten und dann direkt unter Einhaltung von Dekompressionsstopps wiederaufzutauchen. Dieser Ablauf sei von Taucher 1 vorgeschlagen worden. Die sechs Taucher hätten sich nach Kontrolle der Ausrüstungen in drei Zweiertteams aufgeteilt. Sie seien teamweise kurz

hintereinander abgetaucht, beginnend mit den Tauchern 5 und 6, gefolgt von den Tauchern 3 und 4 aufgrund deren geringerer Taucherfahrung und anschließend gefolgt von den Tauchern 1 und 2 als geübtes Buddyteam. Geplant sei gewesen, dass jedes Buddyteam für sich tauchen solle. Auf etwa 50 m Tiefe habe sich die Gruppe kurz gesehen, keiner habe Probleme signalisiert. Das Auftauchen habe paarweise stattgefunden.

Das mittlere Team sei aus einer Tiefe von 48 m aufgetaucht. Für den Taucher 4 sei der Tauchgang anspruchsvoll gewesen, er habe viel Luft verbraucht. Bereits auf 50 m habe er auf die Reserveflasche gewechselt. Auf etwa 22 m Tiefe sei Taucher 4 etwas zu schnell aufgetaucht. Sein Tauchpartner, Taucher 3, habe ihm signalisiert, langsamer aufzutauchen. Kurz darauf habe Taucher 4 auf etwa 16 m beobachtet, wie sein Partner unter ihm einem anderen Taucher Luft über seinen Zweitautomaten gab und während dieser Hilfsaktion mit dem anderen absank. Taucher 4 habe nicht folgen können, da er mit 50 bar nur noch wenig Luft gehabt und bereits auf seine Reserveflasche umgeschaltet habe. Er sei unter Einhaltung eines kurzen Dekompressionsstopps von 4 min auf 6 m Tiefe aufgetaucht. Sein Partner sei kurz danach aufgetaucht und habe erklärt, vier Taucher seien noch unter Wasser, zwei davon ohne Luft. Durch Winken sei das Signal zur Auslösung der Rettungskette gegeben worden.

Während bereits Rettungsboote zur Unfallstelle kamen, seien Taucher 5 und 6, die den Tauchgang nach eigener Angabe wie zuvor geplant komplikationslos durchgeführt hatten nach 50 min (10 min. Abtauchen, 40 min Auftauchen und Dekompression auf 10 m und 6 m) unverletzt aufgetaucht. Von dem Geschehen unter Wasser hätten sie nichts mitbekommen; in der Höhe ihres letzten Dekompressionsstopps auf 6 m Tiefe hätten sie lediglich die Bergung von Taucher 3 ins Rettungsboot beobachtet.

Taucher 3 berichtete während seiner Befragung, er habe nach einem Stopp auf 20 m Taucher 1 einige Meter unter sich gesehen, der ihm erst signalisiert habe, dass er auf der Tiefe bleiben solle, dann, dass er zu ihm kommen solle. Er sei auf 22 m abgetaucht. Taucher 1 habe ihm daraufhin signalisiert, dass er keine Luft mehr habe. Taucher 3 habe Taucher 1 daraufhin seine Reserveflasche gegeben. Beide Taucher seien während der ganzen Zeit ruhig geblieben, jedoch „weiter in die Tiefe geglitten“. Auf 30 m habe der Taucher 3 sehr viel Luft in den Trockentauchanzug gelassen, Taucher 1 habe keine Luft in sein Jacket gelassen oder nicht lassen können. Man sei daraufhin weiter gesunken bis zum Grund auf 50 m. Dort hätten sie Taucher 2 leblos auf dem Grund liegend gefunden. Taucher 3 beschreibt, dass beide daraufhin in Panik geraten seien. Er habe das mögliche Maximum an Luft in seinen Anzug gelassen, gleichwohl habe man keinen Auftrieb bekommen und etwa 2 bis 5 min am Grund verbracht. Er habe vergeblich versucht, das Blei bei Taucher 1 zu entfernen. Es sei viel Sediment aufgewirbelt worden; die Sicht habe sich verschlechtert. Taucher 3 habe aufgrund des hohen Luftverbrauchs in der Tiefe Angst bekommen. Ihm sei klar gewesen, dass nicht viel Zeit blieb. Taucher 1 habe ihn dann losgelassen oder sei in dem Moment ohnmächtig geworden. Auf jeden Fall sei Taucher 3 daraufhin durch den plötzlichen Auftrieb „extrem rasch an die Oberfläche gelangt“ (75 m/min).

Taucher 4 wurde unter Atmung von normobarem Sauerstoff aufgrund des laut Tauchcomputers nicht eingehaltenen Dekompressionsstopps in ein Krankenhaus zur

intensivmedizinischen Überwachung gebracht. Subjektive Symptome bestanden nicht; der Verlauf war komplikationslos. Taucher 3 wurde aufgrund des Notaufstiegs mit anschließendem Taubheitsgefühl der Beine mit dem Rettungshubschrauber zu einer Dekompressionskammer geflogen und anschließend auf einer Intensivstation weiterbehandelt.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Zur Suche nach den Vermissten wurden zwei Taucher der Tauchbasis Kreidesee mit Spezialausrüstung versehen. Eine halbstündige Suche auf bis zu 60 m Tiefe an der mit einer Boje markierten Unfallstelle blieb zunächst erfolglos. Da die Lichtverhältnisse am späten Nachmittag als riskant eingestuft wurden, wurde die Suche am Folgetag fortgesetzt. Nach systematischer Suche durch technische Taucher konnten die vermissten Taucher 1 und 2 tot in einer Tiefe von 49 m gefunden werden. Beide lagen nach Aussage der Bergenden im Abstand von 2 bis 4 m nebeneinander. Die Körperhaltung wurde „als eine Art Fechterstellung“ beschrieben.

Laut Ermittlungsbericht war der Taucher 1 abgesehen von „zwei Hauptflaschen“ mit einer Reserveflasche ausgerüstet, die noch über 150 bar verfügte. In „der verwendeten Hauptflasche“ sei ein Restdruck von 65 bar gewesen. Auffällig sei gewesen, dass das Flaschenventil des Hauptatemreglers geschlossen gewesen war. Auf spezielle Nachfrage verneinte Taucher 3, der Taucher 1 zur Hilfe kam, das Ventil zuge dreht zu haben. Der Atemregler des Verunfallten habe sich nicht im Mund befunden. Die Tiefenanzeige habe auf 31,6 m gestanden. Taucher 2 habe ebenfalls keinen Lungenautomaten mehr im Mund gehabt. Seine Hauptflasche sei entleert gewesen (0 bar). Die Ventile seien geöffnet gewesen. Der Tiefenmesser habe 31,8 m angezeigt. In der Maske habe sich „relativ viel Blut“ befunden.

Die Leichen konnten mit Hebesäcken an die Oberfläche verbracht werden und wurden bald darauf zum Bestatter transportiert. Der den Tod feststellende Arzt gab als zum Tode führende Krankheit in beiden Fällen in der Todesbescheinigung „Ertrinken beim Tauchen“ an.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Bei der polizeilichen Leichenschau war ein Arzt anwesend. Die Leichname wurden vollständig entkleidet.

Der Verunfallte 1 wird im Bericht als 176 cm groß, etwa 100 kg schwer und von kräftiger Statur beschrieben. Das Gesicht sei aufgedunsen und blausüchtig; aus der Nase komme schaumig blutiger Ausfluss. In den Augen sehe man beidseits Stauungsblutungen. Hals- und Brustbereich hätten eine Rotfärbung. Weitere Besonderheiten wurden nicht beschrieben. Die Leichenstarre habe eingesetzt und habe teilweise durchbrochen werden müssen.

Taucher 2 wurde als 190 cm groß, 90 kg schwer und von schlanker Statur beschrieben. In der Taucherbrille sei wässrig-blutige Flüssigkeit, zwischen Nase und Mund ein weißer Schaumpilz. Das Gesicht sei aufgedunsen und unterhalb der Taucherbrille blausüchtig. Auch hier wurden Einblutungen der Augen beschrieben, ebenso eine Rotfärbung von Hals- und Brustbereich.

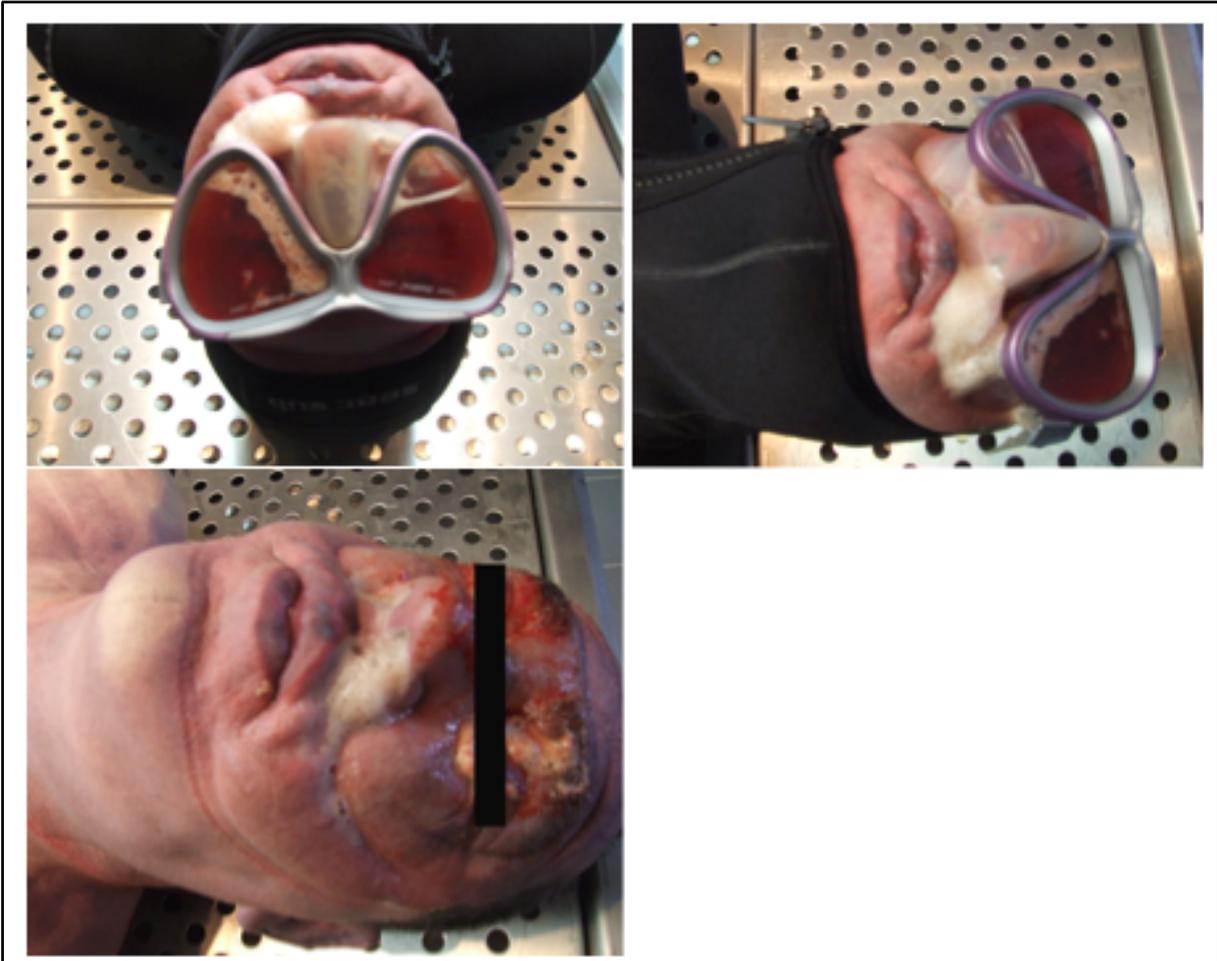


Abb. 31: Taucher 2 vor und nach Abnahme der Maske

Weiteres Vorgehen

Die Tauchausrüstungen und Tauchcomputer der Taucher 1 bis 4, sowie die Logbücher der Taucher 1 und 2 wurden sichergestellt.

Untersuchung der Tauchausrüstung und der Atemgase

Eine Untersuchung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen wurde nicht durchgeführt. Die Ausrüstung wurde dem Inhaber einer örtlichen Tauchstation zur Analyse übergeben, welcher auch in der Vergangenheit schon Untersuchungen für die Ermittler durchgeführt hatte.

In der Untersuchung der Ausrüstung des Tauchers 1 habe sich in der Flasche (12 L) ein Restdruck von 64,4 bar gezeigt, in der Reserveflasche (4 L) von 46,5 bar. Die Atemgasanalyse habe einen Sauerstoffanteil des Gases in der Hauptflasche von 21,1 %, in der Reserveflasche von 22,8 % ergeben. Die Ausrüstung an sich sei kaltwassertauglich und voll funktionsfähig gewesen, würde aber dem Standard einer Sporttaucherausrüstung entsprechen, nicht der eines technischen Tauchers. Das erste Atemregler-Set sei korrekt montiert gewesen, das zweite Set sei jedoch über die linke Schulter verlaufen. Um aus der zweiten Stufe atmen zu können, hätte man den Schlauch des Automaten in eine Schlaufe legen müssen. Bezüglich der Reserveflasche wurde angemerkt, dass das verwendete Atemreglerset in Tiefen ab 40 m eine hohe Atemarbeit fordere und zur „Schwergängigkeit“ neige.

Auch die Ausrüstung des Tauchers 2 habe sich voll funktionsfähig gezeigt, würde aber ebenso wenig den Anforderungen an große Tiefen entsprechen wie die des Tauchers 1. Mit dem Vorliegen zweier Sets Atemregler seien die Vorgaben der Tauchbasis eingehalten worden. In der 15 L fassenden Tauchflasche habe ein Restdruck von 0 bar vorgelegen, so dass eine Atemgasanalyse nicht möglich gewesen sei. Die Lungenautomaten hätten keine Auffälligkeiten in der Inspektion und Messung des Mitteldrucks gezeigt.

Das Tauchgerät von Taucher 3 habe eine Tauchflasche mit 15 L Volumen enthalten. Es habe ein Restdruck von 7,1 bar bei einem Sauerstoffanteil von 21,0 % bestanden. Die Reserveflasche mit einem Volumen von 5 L habe einen Restdruck von 76,5 bar bei einem Sauerstoffanteil von 21 % enthalten. Beide Atemregler-Sets hätten in Inspektion und Messung des Mitteldrucks keine Auffälligkeit gezeigt. Die Ausrüstung sei ebenfalls voll funktionsfähig, entspräche aber so wie die von Taucher 1 und 2 nicht der Ausrüstung eines technischen Tauchers.

Taucher 4 führte eine Flasche mit 15 L Volumen mit. Bei der Untersuchung habe ein Restdruck von 39,2 bar vorgelegen. Der Sauerstoffanteil des Atemgases habe bei 21 % gelegen. Die Reserveflasche von 5 L habe einen Restdruck von 63 bar bei ebenfalls 21 % Sauerstoffanteil des Atemgases enthalten. Auch diese Ausrüstung sei voll funktionsfähig, jedoch eine typische Sporttaucherausrüstung, nicht die eines technischen Tauchers.

Zusammenfassend ergab die Untersuchung, dass die Tauchgruppe für den Tauchgang weder hinreichend ausgebildet noch ausgerüstet war. Es sei wie geplant in eine Tiefe getaucht worden, die eine Ausbildung und ein Equipment aus dem Bereich des technischen Tauchens voraussetze. Auch ohne gesetzliche Regelung würden allgemein Empfehlungen gelten, dass Sporttaucher Tiefen von 30 m nicht unterschreiten sollten. Tiefen von unter 40 m würden eine höhere Ausbildung im Bereich des technischen Tauchens und weitreichende Erfahrung voraussetzen. In diesem Fall wären die zu erwartende Dekompressionszeit sowie der Atemgasverbrauch einschließlich der erforderlichen Atemgasreserven nicht berechnet worden. Die einschlägigen Berechnungen seien der Gruppe offensichtlich nicht bekannt gewesen. Zudem sei von allen vier betroffenen Tauchern Pressluft benutzt worden, was bereits ab einer Tiefe von 30 m kein ideales Atemgas mehr sei, weil es eine zu hohe Dichte und ein zu hohes narkotisches Potential entwickle. Auch die Ausrüstung wies laut Untersucher gravierende Unzulänglichkeiten auf. Die Flaschen seien zu klein dimensioniert, der Taucher 1 habe als Nasstaucher über keine Redundanz bei den Auftriebskörpern verfügt. Zudem habe sich das Blei von Taucher 1 bei umständlicher Gurtkonstruktion nicht notfallmäßig abwerfen lassen.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Die Auswertung des Tauchprofils wurde ebenfalls durch den Untersucher der Tauchausrüstungen durchgeführt. Analysiert wurden die Tauchcomputer der Taucher 1, 2 und 3. Der Computer des Tauchers 4 verfügte nicht über eine Profilaufzeichnung. Zur besseren Übersicht wurde ein Teamprofil erstellt, bei dem die drei Profile übereinandergelegt wurden. Das Abtauchen sei den Profilen zufolge ruhig und in geschlossener Formation geschehen. 11,5 min nach Abtauchen habe man die geplanten 50 m Tiefe erreicht. 2 min später sei der Aufstieg auf 20 bis 22 m eingeleitet worden. Hier würden sich erste Auflösungserscheinungen zeigen. Innerhalb der Gruppe würden sich Schwankungen bis zu 8 Tiefenmetern zeigen.

In Minute 16.50 zeige das Profil von Taucher 2 einen sehr schnellen Aufstieg von 41 auf 22,5 m innerhalb einer Minute „hinter seinen Tauchpartnern her“. Er habe ihre Tiefe auf 22,5 m nach einer Minute erreicht und somit 18,5 m in einer Minute zurückgelegt. Unmittelbar darauf sei er schnell auf 51 m abgesunken. Der Gutachter vermutet, dass dem Taucher 2 eventuell bereits in Minute 16.30 die Atemluft ausging und er sich zu seinen Tauchpartnern retten wollte, diese jedoch nicht mehr rechtzeitig auf sich aufmerksam machen konnte. Es wurden Berechnungen durchgeführt, dass die Gasreserve hätte verbraucht sein können, wenn der Taucher 2 bis zum Zeitpunkt des schnellen Auftauchens einen Verbrauch von 39 bar/L gehabt hätte. Dieser Wert sei „hoch, aber nicht unrealistisch“.

Warum Taucher 1 in Minute 18 des Tauchgangs das Zeichen „out of gas“ signalisierte, bleibt unklar, da er noch über 60 bar in der Flasche hatte. Es sei unklar, ob Taucher 1 bis dahin nur aus seiner Hauptflasche oder schon aus seiner Reserveflasche geatmet habe - oder vielleicht sogar aus dem Vorrat von Taucher 2. Für den Untersucher blieb zudem unklar, wann und warum das Ventil des ersten Atemreglersets geschlossen wurde. Folge des Verschlusses sei gewesen, dass der Hauptatemregler ohne Funktion blieb und das Jacket nicht mehr mit Luft versorgt werden konnte. Die Konfiguration der Ausrüstung hätte jedoch für beide Probleme eine „Backup-Lösung“ gehabt. Es gab eine Reserveflasche sowie ein zweites Atemreglerset, welches in diesem Fall schwierig, aber nicht unmöglich zu nutzen gewesen wäre. Zudem hätte das Tarierjacket zum Auftrieb über die Inflatoreinheit mit dem Mund gefüllt werden können.

Der Untersucher ging bezüglich des weiteren Verlaufs des Tauchgangs von einem sogenannten „incident pit“ aus, einer sich ständig vertiefenden und beschleunigenden Abwärtsspirale der Ereignisse. Taucher 2 habe bereits auf dem Grund gelegen, Taucher 4 habe mangels ausreichender Gasvorräte nicht ins Geschehen eingreifen können. Da Taucher 1 keinen Auftrieb mehr herstellen können, hätten beide Taucher stetig tiefer bei hohem Stressniveau und hohem Atemminutenvolumen geatmet, was die Gasvorräte schnell geleert habe. Beide dürften sich nach Annahme des Untersuchers darüber im Klaren gewesen sein, was das Stressniveau noch verstärkte. Spätestens beim Entdecken des ohnmächtigen Tauchpartners am Grund und dem misslungenen Abwurf des Bleis dürfte laut Gutachter der Zustand der vollen Panik erreicht worden sein. In einer Tiefe von 50 m sei Pressluft als Atemluft 6-mal dichter als an der Oberfläche, was die Atemarbeit deutlich erschweren würde. Der Gutachter wies darauf hin, dass in einer derartigen Situation in einer Tiefe von 50 m das gebildete CO₂ im Körper kaum noch abgeatmet werden könne und es zu einem ansteigenden pCO₂ mit entsprechenden Folgen einer CO₂-Narkose kommen könne. Dies würde erklären, weshalb Taucher 1 in der Tiefe verstarb.

Es wurde in dem Gutachten zudem berechnet, dass nach den beiden Tauchgängen am Vortag auf 40 m für 30 min. und auf 14 m für 25 min keine signifikante Stickstoffvorbelastung vorlag.

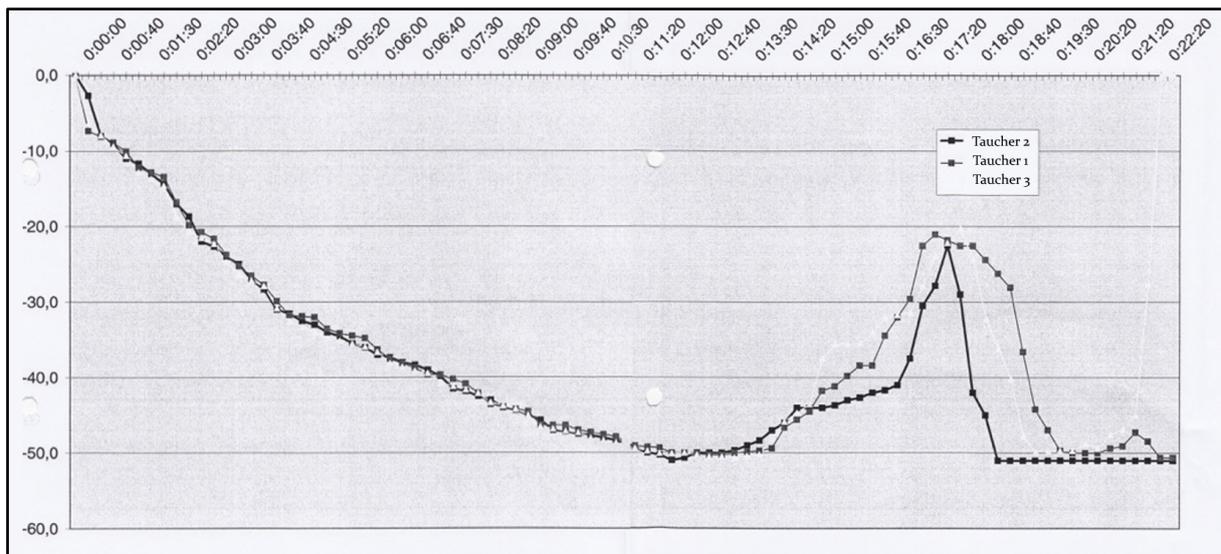


Abb. 32: Gruppenprofil von Taucher 1, 2 und 3

Anmerkung

In einer Nachvernehmung des Tauchers 3 äußerte dieser (nun in Kenntnis über die Abläufe und Tauchprofile) die Vermutung, dass Taucher 1 sich der Luftprobleme von Taucher 2 in der Tiefe bewusst gewesen sei. Er nahm an, dass der Taucher 1 ihn mit in die Tiefe nehmen wollte, da er die größten Luftreserven hatte. Zudem vermutete er, dass der Taucher deshalb von seiner Luft atmen wollte, damit „alle zusammen wieder hoch gekonnt“ hätten. Die Vermutungen basieren auf der Tatsache, dass Taucher 1 ein erfahrener Tauchlehrer war.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Im abschließenden Bericht wurde die Ansicht des Gutachters weitgehend übernommen. Als ursächlich für die Ablaufkette wurde angenommen, dass Taucher 2 die Luft ausging und dass er beim Versuch, die Tauchpartner zu erreichen, bewusstlos wurde und absank.

Bezüglich Taucher 1 wurde die unvorteilhafte Blei-Tragevorrichtung sowie die Konfiguration des Zweitautomaten diskutiert, der zwar funktionstüchtig, jedoch verdreht und damit nicht regelrecht montiert war. Diese Konfiguration hätte nach Ansicht der Ermittler in geringerer Tiefe keine Probleme in der Handhabung gemacht. In Panik, verstärkt durch eine Stickstoffnarkose, sei sie jedoch vermutlich problematisch in der Handhabung gewesen. Bezüglich Taucher 1 wird im Bericht neben der Theorie einer Panikreaktion auch die Möglichkeit einer Kohlenstoffdioxidvergiftung mit folglich Bewusstlosigkeit und Ertrinken angesprochen.

Ein Anhalt für Fremdverschulden wurde nicht gesehen. Man ging von einem Unfall oder Unglücksfall aus. Der damit einhergehende Tod der Taucher sei selbstverschuldet. Begründet wurde dies anhand der erreichten Tiefe von 50 m, wofür die Taucher nicht ausgerüstet gewesen wären und womit sie gegen die im Hemmoorsee geltende Regelung verstoßen hätten.

Ungeklärt bleibt laut Bericht, warum die Ventile der Atemgasflaschen von Taucher 1 geschlossen waren. Diesbezüglich wurde vermerkt, dass sich der genaue Ablauf auch durch eine Obduktion nicht klären lasse. Die Leichen wurden daraufhin freigegeben, die Untersuchungen eingestellt und keine Leichenöffnung durchgeführt.

Beurteilung

Die geschilderten Abläufe bergen nicht nur zwei Fälle tödlicher Tauchunfälle, sondern auch noch zwei weitere Tauchunfälle unterschiedlichen Schweregrades. Dabei sind alle Tauchunfälle mehr oder weniger miteinander verkettet, wobei der ursprüngliche Beginn des Unfallhergangs trotz detaillierter deckungsgleicher Zeugenaussagen und Untersuchungen unklar bleibt.

Der formell bestehende Unfall von Taucher 4 kann gesondert betrachtet werden. Seine Probleme unter Wasser waren unabhängig vom Geschehen um Taucher 1, 2 und 3. Er scheint bereits sehr früh an die Grenzen seiner Atemgasreserven gekommen zu sein und deshalb einen zu schnellen Aufstieg unter Auslassen des Dekompressionsstopps durchgeführt zu haben. Eine Verkettung mit den Ereignissen um Taucher 1, 2 und 3 ist nur insofern zu sehen, als er den drei anderen nicht zur Hilfe kommen konnte, da er bereits auf seine Reserveflasche umgeschaltet hatte. Sein hoher Atemgasverbrauch kann dadurch erklärt werden, dass der Tauchgang für ihn als am wenigsten erfahrenen Taucher der Gruppe sehr anspruchsvoll gewesen ist. Geatmet wurde Pressluft, deren Dichte proportional zur Tiefe ansteigt. Spätestens ab 4 bar Stickstoffpartialdruck besteht ein zunehmendes narkotisches Potential. Beides kann gerade bei Tieftauchgängen den Atemgasverbrauch enorm steigern. Für einen geplanten Tauchgang auf 50 m (hier beträgt der pN_2 4,69 bar) ist eine sorgfältige Planung mit einer genauen Berechnung des zu erwartenden Atemgasverbrauch einschließlich Sicherheitszuschlag nötig. Ob dies im Vorfeld geschah, ist unklar.

Bei Taucher 3 kam es zu einer Dekompressionskrankheit Typ II mit neurologischer Symptomatik. Diese ist zurückzuführen auf den rasanten Aufstieg aus 50 m Tiefe bei ausgeprägter positiver Trierung. Beim Versuch, dem offensichtlich deutlich negativ tarierten Taucher 1 Auftrieb zu geben, habe Taucher 3 das mögliche Maximum an Luft in seinen Anzug gelassen. Nach Verlust von Taucher 1 sei ein unfreiwilliger Aufstieg mit 75 m/min erfolgt, wie anhand des Tauchprofils zu erkennen ist. Die neurologische Symptomatik erforderte mehrere Druckkammerbehandlungen sowie eine intensivmedizinische Behandlung. Über das Behandlungsergebnis liegen keine detaillierten Informationen vor. Abseits des schnellen Aufstiegs aus 50 m Tiefe hätte die Situation für Taucher 3 ebenfalls fatal ausgehen können, da auch er durch den Versuch, Taucher 2 zu helfen und das Absinken auf erneut 50 m an die Grenzen seiner Atemgasreserve kam.

Der Unfallhergang von Taucher 2 (Fall 13) ist kaum zu rekonstruieren, da durch den Tod seines Tauchpartners (Taucher 1) eine belastbare Zeugenaussage fehlt. Das Tauchprofil lässt sich so interpretieren, dass auf 22,5 m ein plötzlicher Blackout oder bereits der Tod eintrat, da es hiernach zu einem schnellen Absinken auf 51 m kam, gefolgt von einer „Nulllinie“ auf dem Grund liegend. Das Tauchprofil zeigt eindeutig einen schnellen Aufstieg von 41 auf 22,5 m innerhalb einer Minute vor dem Ereignis. Es könnte Taucher 2 tatsächlich bereits in Minute 16.30 die Atemluft ausgegangen sein, sodass er sich zu seinen Tauchpartnern retten wollte, diese jedoch nicht mehr rechtzeitig auf sich aufmerksam machen konnte. Um nach so kurzer Tauchzeit keine

Atemluft mehr zu haben, hätte der Verbrauch massiv erhöht sein müssen oder aber ein technisches Problem bestanden haben.

Die möglichen Gründe dafür sind ähnlich zu bewerten wie bei Taucher 4. Der Taucher 2 war zwar offensichtlich erfahrener, aber das Tauchgebiet war für ihn unbekannt. Auch er tauchte mit Pressluft mit den gleichen grundsätzlichen Risiken hoher Atemgasdichte und steigendem narkotischen Potenzial von Stickstoff. Bei einer Tauchtiefe von 50 m kann durch den Anstieg des Atemwiderstandes bei zudem erhöhten Atemminutenvolumen ein Essoufflement vorgelegen haben. Eine Hyperkapnie führt durch eine Vasodilatation in den Hirngefäßen zu einem rascheren Eintritt der toxischen Wirkungen eines erhöhten Stickstoffpartialdruckes, so dass es zu einem Additionseffekt kommen kann. Möglicherweise hat also ein Zusammenspiel aus Stickstoffnarkose und Hyperkapnie bei Essoufflement zu einem erhöhten Atemgasverbrauch sowie gegebenenfalls auch einer eingeschränkten Handlungsfähigkeit geführt. Weitere verstärkende Faktoren technischer und gesundheitlicher Art sind ebenfalls möglich.

Ein erhöhter Atemgasverbrauch als alleinige Erklärung erscheint nach den Berechnungen von Dr. Dietmar Berndt jedoch unwahrscheinlich. Es hätte eines Atemminutenvolumens von 45,8 bar bedurft, um die Flasche im entsprechenden Zeitraum zu leeren. Dies ist physiologisch selbst für einen kräftigen Mann unter starker Arbeit schwer darstellbar.

Eine wahrscheinliche Erklärung für die entleerte Flasche und das akute Absinken von Taucher 2 ist eine Vereisung des Atemreglers mit Abblasen der gesamten Atemluftreserve. Zwar führte der Taucher 2 eine Tauchflasche mit zwei separaten Sets von Atemreglern mit, so dass in einer solchen Situation ein Abblasen prinzipiell durch Schließen des Hauptventils und Wechsel auf den Reserveautomaten möglich gewesen wäre. Allerdings kann dies durch verminderte Handlungsfähigkeit aus mehreren Gründen (Panik, gesundheitliche Einschränkungen, Tiefenrausch, Essoufflement) verhindert worden sein. Um die Empfindlichkeit des Lungenautomaten auf Vereisung festzustellen hätte es weiterer technischer Untersuchungen bedurft. Dieser Fall ist ein weiteres Beispiel dafür, dass bei tödlichen Tauchunfällen grundsätzlich immer eine technische Analyse durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen erfolgen sollte. Es ist anzuerkennen, dass durch den Untersucher in diesem Fall einige Informationen geliefert wurden, die sich einem technischen Laien (Ermittler und Mediziner) sonst nicht erschlossen hätten. Allerdings konnten einige Untersuchungen nicht durchgeführt werden, wie die auf erhöhte Atemwiderstände oder eine Vereisung unter Nachstellung der realen Bedingungen. Der hierfür nötige komplexe Untersuchungsaufbau steht nur wenigen zur Verfügung, wird jedoch durch öffentlich bestellten und vereidigten Gutachter regelhaft durchgeführt. Auch eine Untersuchung auf innere Defekte, Fremdkörper und Korrosion wäre erforderlich gewesen.

Im Rahmen der Überlegungen zum auslösenden Ereignis in diesem Fall ist von Relevanz, dass ab in etwa der 15. Minute des Tauchgangs größere Tiefenunterschiede zwischen Taucher 1 und 2 mit Schwankungen bis zu 8 Tiefenmetern bestanden. Diese Auflösung des Buddyteams von Taucher 1 und 2 ist ungewöhnlich auffällig, zumal sie als eingespieltes Team galten. Möglich ist, dass sich die beiden Taucher aus ungeklärten Gründen aus den Augen verloren oder Taucher 2 wegen bereits beginnender Probleme unbekannter Art zunächst

zurückblieb, um dann schnell seinem Partner hinterher zu tauchen. Mangels robuster Erkenntnisse bleibt diese Situation weiterhin unklar. Die Hypothese, dass der Taucher 1 eine Zeit lang von Taucher 2 Atemluft erhielt und sich deshalb seine Reserve schneller aufbrauchte, wird aufgrund der gemäß der Tauchprofile längeren räumlichen Trennung über etwa 1,5 min als unwahrscheinlich bewertet.

Ohne Sektion lassen sich ursächliche oder verstärkende gesundheitliche Probleme nicht ausschließen. Im Speziellen wären kardiovaskuläre Ereignisse sowie andere innere Erkrankungen und Intoxikationen auszuschließen. Wie in allen anderen Fällen wären eine Sektion und ein chemisch-toxikologisches Gutachten einschließlich der Blutalkoholbestimmung bei tödlichen Tauchunfällen unabdingbar gewesen, was bei diesen beiden Fällen mit vielen Unklarheiten und Ungereimtheiten besonders deutlich veranschaulicht wird.

Als Todesursache kann ein Ertrinken angenommen werden, basierend auf dem Bericht der Leichenschau mit Schilderung eines ausgeprägten Schaumpilzes. Die „Blausüchtigkeit“ unter der Taucherbrille kann als klassisches äußeres Blaukommen beim Absinken auf Grund bei Bewusstlosigkeit gewertet werden. Die Todesursache bleibt ohne Sektion jedoch mutmaßlich.

Auslöser	Mögliche Auslöser:
unklar	Vereisung, ggf. getriggert durch gesteigertes AMV bei gesundheitlichem Problem
Schädigungsmechanismus	
„out of air“-Situation	
Gesundheitliche Schädigung	
Hypoxie	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab. 21: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 13

Weitestgehend unklar bleiben auch die Ereignisse zum Unfallhergang im Fall 14 (Taucher 1). Obwohl eine Zeugenaussage über die letzten Minuten bis zum fatalen Ausgang vorliegt, kann das Geschehen nur mutmaßlich rekonstruiert werden.

Warum der erfahrene Taucher 1 signalisierte, keine Luft mehr zu haben, obwohl er bei Bergung noch über 60 bar Atemgas in seiner Flasche hatte, ist nicht nachvollziehbar. Dabei ist nicht bekannt, ob er bis dahin nur aus seiner Hauptflasche oder schon aus seiner Reserveflasche geatmet hatte. Unklar ist auch, wann und warum das Ventil des 1. Reglersets geschlossen wurde. Zur Folge hatte dieser Verschluss, dass der Hauptatemregler ohne Funktion blieb und das Jacket nicht mehr mit Luft versorgt werden konnte.

Auf Basis der Aussage von Taucher 3 ergeben sich folgende Hypothesen:

1) Taucher 1 wollte primär darauf aufmerksam machen, dass er ein Problem mit seiner Atemluftzufuhr hatte, unabhängig vom Verbleib von Taucher 2, der außer Sicht geraten war. Da nicht beschrieben wurde, ob Taucher 1 aus seinem Hauptautomaten, dem Reserveautomaten oder der Reserveflasche atmete, besteht die Möglichkeit, dass er das später als geschlossen dokumentierte Ventil seiner Flasche selbst geschlossen hat, denkbar bei einer Vereisung. Durch eine Vereisung der 2. Stufe mit Abbruch der Luftversorgung erklärt sich, wieso das „out of gas“-Zeichen gegeben wurde. Eine Vereisung mit Abblasen von Atemgas ist hingegen unwahrscheinlich, da die Berechnung des AMV für Taucher 1 keinen deutlich erhöhten Verbrauch zeigt (s.u.). Durch den Verschluss des Hauptventils bestand jedenfalls keine Luftzufuhr mehr zum Jacket, so dass Taucher 1 keinen Auftrieb mehr herstellen konnte, wodurch es zum akzidentellen Absinken kam.

2) Taucher 1 war sich der Situation des Tauchers 2 bewusst, da er zuvor ein Ereignis beobachtet hatte oder an einem Ereignis mittel- oder unmittelbar beteiligt war, das ihm klar machte, dass sich Taucher 2 ohne Atemgas und möglicherweise bewusstlos in der Tiefe befand. Eine alleinige Rettung ohne Unterstützung war ihm aufgrund eines Problems mit der Atemluftzufuhr nicht möglich. Diese Vermutung wurde auch durch Taucher 3 geäußert, der annahm, dass ihn Taucher 1 mit in die Tiefe nehmen wollte, da er die größten Luftreserven hatte. Seine Vermutung war, dass Taucher 1 deshalb von seiner Luft atmen wollte, damit „alle zusammen wieder hoch“ gekommen wären. Die Vermutungen basierten auf der Tatsache, dass Taucher 1 ein erfahrener Tauchlehrer war und ist zumindest nicht ganz von der Hand zu weisen, zumal das Verhalten von Tauchers 1 zunächst als „ruhig“ beschrieben wurde und durchaus als kalkuliert interpretiert werden kann.

3) Das Verhalten von Taucher 1 am Grund nach Auffinden von Taucher 2 kann als Folge einer eingeschränkten Handlungsfähigkeit gesehen werden. Auch in diesem Fall kann die beginnende Stickstoffnarkose unter Verwendung von Pressluft in 50 m Tiefe eine Rolle spielen. Für einen Tiefenrausch sprechen könnten die eskalierende Panik am Grund und die Tatsache, dass Taucher 1 offensichtlich nicht versuchte, sein Blei selbstständig zu lösen oder anderweitig Auftrieb zu erzeugen. Die Konfiguration der Ausrüstung hatte „Backup-Lösungen“ sowohl für ein Problem mit der Atemgaszufuhr aus der Hauptflasche als auch für die Tarierung. Es gab eine Reserveflasche, sowie ein 2. Atemregler set, welches in diesem Fall schwierig, aber nicht unmöglich zu nutzen war. Zudem hätte das Tarierjacket zum Auftrieb über die Inflatoreinheit mit dem Mund gefüllt werden können. Auf Basis der Ausbildung von Taucher 1 kann angenommen werden, dass er in Bezug auf Selbstrettungsmaßnahmen gute Erfahrung mitbrachte. Ein Tiefenrausch kann eine Erklärung sein, warum er auf diese Erfahrung nicht mehr adäquat zugreifen konnte. Taucher 1 wurde auf Grund offensichtlich bewusstlos, was zum Loslassen von Taucher 3 führte und somit zu dessen zu schnellem Aufstieg. Die Bewusstlosigkeit kann ebenfalls im Rahmen eines Tiefenrausches gesehen werden.

Alternativ zur Hypothese einer Stickstoffnarkose kann bei großer Tauchtiefe und verstärkter mentaler Belastung auch hier ein Essoufflement vorgelegen haben. In 50 m Tiefe kann eine Paniksituation dazu führen, dass das gebildete Kohlenstoffdioxid im Körper bei Pendelatmung kaum noch abgeatmet werden kann. Die resultierende Hyperkapnie kann zur Bewusstlosigkeit führen. Da ein Essoufflement die toxischen Effekte erhöhter Stickstoffpartialdrücke verstärkt, kann eine Kombination aus Essoufflement und Tiefenrausch zur eingeschränkten Handlungsfähigkeit geführt

haben. Auslösender oder zumindest verstärkender Faktor kann hier die Sorge um Taucher 2 gewesen sein. Ein Verlust des Tauchpartners oder ein zuvor stattgehabtes Ereignis, das zum Bewusstsein führte, dass sich Taucher 2 ohne Atemgas und möglicherweise bewusstlos in der Tiefe befand, kann auch routinierte Taucher in Stress und Angst versetzen und sowohl ein Essoufflement als auch eine Stickstoffnarkose triggern. Letztlich darf jedoch auch ein akutes gesundheitliches Ereignis, das zur Handlungsunfähigkeit führte, nicht außer Acht gelassen werden. dafür spricht, dass Taucher 3 das Verhalten von Taucher 1 längere Zeit bis zum Auffinden von Taucher 2 als ruhig empfunden hat, es bei Taucher 1 dann jedoch akut zu Panik und Bewusstseinsverlust kam.

Für die Untersuchung der Ausrüstung von Taucher 1 gilt die gleiche Bewertung wie bei Taucher 2. Es wäre die Durchführung erweiterter Untersuchungen notwendig gewesen, wie eine Untersuchung auf innere Defekte, Fremdkörper und Korrosion sowie auf erhöhte Atemwiderstände oder eine Vereisung unter Nachstellung der realen Bedingungen, also eine Untersuchung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Gutachter. Ohne diese Untersuchung kann keine Feststellung zur Funktionsfähigkeit getroffen werden. Auch eine erweiterte Atemgasanalyse wäre von Interesse gewesen, bei der zusätzlich zur Prüfung der Feuchte auch Verunreinigungen ausgeschlossen werden könnten. Immerhin bestanden bei drei Tauchern einer Tauchgruppe Hinweise auf Probleme mit der Atemluft (vorzeitiger Verbrauch/Taucher 4, entleerte Flasche/Taucher 2, angedeutet Probleme mit der Luft bei Restvolumen/Taucher 1). Eine weitere in der Ermittlung nicht näher erläuterte Unklarheit, die durch einen Sachverständigen zu klären gewesen wäre, ist die Diskrepanz zwischen der Tiefe von 49 m, in denen die Taucher 1 und 2 gefunden wurden, und den Anzeigen der „Tiefenmesser“ nach Bergung, welche angeblich 31,6 und 31,8 m anzeigten. Diskrepanz sind auch die Aussagen in der Ermittlungsakte bezüglich des Restvolumens in der Reserveflasche. Einmal wird von 46,5 bar gesprochen (Untersuchung der Tauchausrüstung), einmal von 150 bar (Bergungsbericht). Zudem ist im Ermittlungsbericht in Bezug auf die Ausrüstung von Taucher 1 einmal von „zwei Hauptflaschen“ die Rede, danach nur noch von einer Flasche. Diesbezüglich wäre Klärung nötig gewesen. Der Stellenwert einer genauen Dokumentation der Ausrüstung und sachverständige Analyse kann nicht genug betont werden. Die technische Analyse beschreibt, dass „beide Taucher stetig tiefer bei hohem Stressniveau und hohem Atemminutenvolumen atmeten, was die Gasvorräte schnell leerte“. Eine Berechnung des Atemgasverbrauchs für Taucher 1 ergibt allerdings ein AMV von 17,3 l/min, was für einen geübten Taucher plausibel ist und gegen einen deutlich erhöhten Verbrauch spricht (siehe Abb. 33).

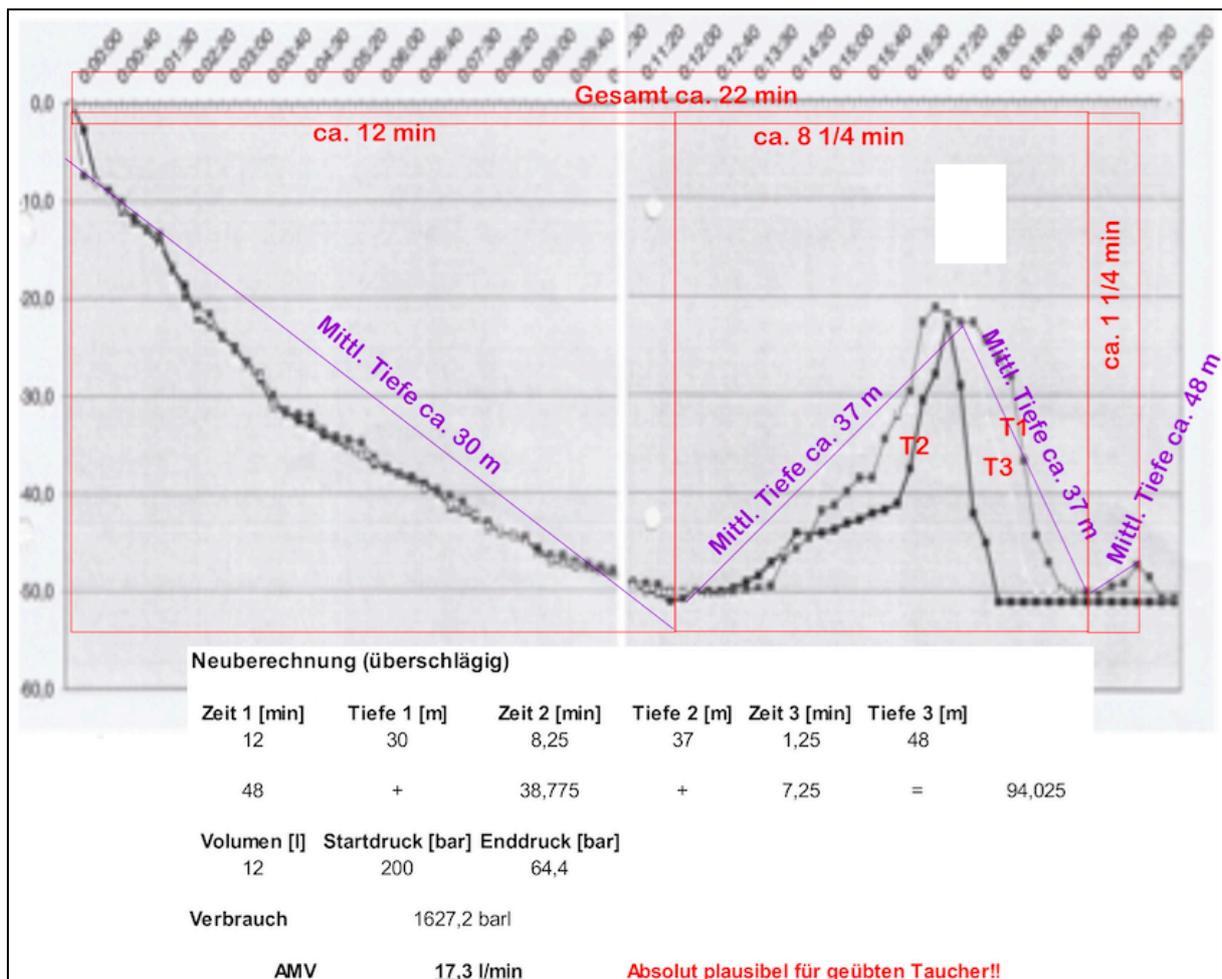


Abb. 33: Neuberechnung des Atemminutenvolumens (AMV) von Taucher 1 auf Basis der vorliegenden Daten. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Dietmar Berndt, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger durch die IHK Karlsruhe

In diesem Fall bietet das Ergebnis der Leichenschau möglicherweise äußere Hinweise eines Ertrinkungstodes. Der erwähnte „schaumig blutige Ausfluss“ kann als Schaumpilz gedeutet werden. Jedoch entsprach die Konsistenz gemäß Beschreibung nicht der eines klassischen Ertrinkungsschaumpilzes. Die Fotodokumentation lässt aufgrund Unschärfe und ungünstigem Winkel keine wirklichen Rückschlüsse zu, ein typischer Schaumpilz ist jedoch nicht zu sehen. Denkbar ist, dass der Schaumpilz gering ausgeprägt war, da durch die primäre Bewusstlosigkeit kein typisches Ertrinken mit agonalem Kampf vorlag. Der „schaumig blutige Ausfluss“ kann auch als Folge eines Barotraumas im HNO-Bereich oder als Ödem kardialer Genese gedeutet werden. Ein kardiales Ereignis bei körperlicher Belastung und Stress durch den Unfall des Tauchpartners ist als Todesursache vorstellbar. Über Vorerkrankungen war nichts bekannt. Die in diesem fall vorliegende ausgeprägte abdominale Adipositas bietet jedoch schon allein einen Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen. Umso mehr wäre eine Sektion zur Klärung der Todesursache unabdinglich gewesen.

Unklar bleibt die Frage, wieso ein Fremdverschulden bei einem so wesentlichen ungeklärten Punkt wie dem, weshalb das Ventil zum Hauptatemregler bei Taucher 1 verschlossen war, ausgeschlossen wurde.

Die Aussage, die Tauchgruppe sei für den geplanten Tieftauchgang nicht ausreichend ausgebildet und ausgerüstet gewesen, ist kritisch zu hinterfragen. Richtig ist, dass gegen die bestehenden Vorschriften der Tauchbasis Kreidesee in Bezug auf eine Tiefenlimitierung verstoßen wurde. Rescue Diver (Taucher 3 und 4) und Silber (**)-Taucher sind auf 40 m begrenzt. Taucher mit höheren Brevetierungen (Taucher 1 und 2) dürfen Tauchgänge bis 45 m durchführen. Tiefere Tauchgänge sind mit Trimix und nach vorheriger Anmeldung erlaubt. [11] Kritisch zu beurteilen ist die Aussage des Untersuchers der Tauchausrüstungen, die Taucher seien für Tieftauchgänge nicht ausreichend ausgebildet. Mindestens die tödlich verunfallten Taucher 1 und 2 dürften als Instructor Trainer und Assistant Instructor allein durch ihre Ausbildung über eine entsprechende Qualifizierung verfügen. Über die Zusatzbrevetierung von Taucher 3 und 4 lagen keine Angaben vor. Erwähnt werden muss, dass ein Tauchgang auf 50 m durchaus mit Pressluft durchgeführt werden kann. Eine besondere Ausrüstung im Sinne des technischen Tauchens ist - abseits der Vorschriften für den Hemmorsee - nicht verboten, wenngleich unüblich. Die häufig erwähnte Tiefenlimitierung des Sporttauchens auf 40 m basiert auf Empfehlungen von Tauchorganisationen zur Limitierung von Tauchunfällen und hat auch versicherungsrechtliche Bedeutung. Beispielsweise besteht für Mitglieder der Organisation DAN Europe ein Versicherungsschutz bis zu Grenzwerten für pO_2 (1,6 bar) und pN_2 (3,95 bar). Wird ein Tieftauchgang mit Pressluft durchgeführt, kann nicht automatisch von falscher Ausrüstung gesprochen werden. Viele langjährig erfahrene Taucher führen Tieftauchgänge mit Pressluft durch, ohne dabei durch Inertgasnarkosen beeinträchtigt zu sein. Dies betrifft vor allem Taucher der Generation, die bereits vor Einführung von Zusatzbrevetierungen und Entwicklung der heutigen komplexen Möglichkeiten des technischen Tauchens ausgebildet wurde. Neue Gerätschaften und Ausbildungsbrevets führen nicht automatisch zu einem gesteigerten Sicherheitsdenken und entsprechendem Verhalten bei Tauchern. Vielmehr kann die Vielzahl der auch mit geringer tatsächlicher Taucherfahrung erreichbaren Zertifizierungen einen Taucher in falscher Sicherheit wiegen. Ein langjährig erfahrener Taucher, der schon viele Tieftauchgänge mit Pressluft durchgeführt hat, seine individuelle Reaktion auf erhöhte Inertgaspartialdrücke kennt und damit umzugehen weiß, ist mit Sicherheit weniger gefährdet als ein Taucher, der sich innerhalb kurzer Zeit diverse Zusatzbrevets angeeignet hat, jedoch über wenig tatsächliche Taucherfahrung verfügt. Die Ausprägung einer Inertgasnarkose ist ausgesprochen individuell. Ab einem pN_2 von 3,2bar können Symptome bei jedem nachgewiesen werden. [105, 108] Ein Tieftauchgang auf 50 m mit Pressluft muss nicht zwingend zu beeinträchtigenden neurologischen Symptomen führen. Jedoch muss sich ein Taucher des Risikos bewusst sein, seine individuelle Reaktion auf erhöhte Stickstoffpartialdrücke kennen und damit umgehen lernen. Studien zeigten, dass zwar keine Adaptation an eine Stickstoffnarkose möglich ist, aber der von Tauchern viel berichtete Gewöhnungseffekt im Sinne eines besseren Umgangs mit den Beeinträchtigungen durch die Stickstoffnarkose stattfindet. Eingeübte Fähigkeiten können dann unter den Wirkungen der Stickstoffnarkose abgerufen werden. In nicht vorhersehbaren Akutsituationen ist die Reaktionsfähigkeit jedoch weiterhin deutlich reduziert. [108] Dies gilt beispielsweise für das akute Auftreten gesundheitlicher Probleme. Zudem kann eine Kombination von triggernden Faktoren bei langjährig erfahrenen Tauchern zu plötzlichen, nicht beherrschbaren Auswirkungen führen. Stress, Angst, Erschöpfung, Drogen und Alkohol, Medikamente mit sedierender Wirkung, Schlafmangel, Kälte, sowie ein schnelles Abtauchen in die Tiefe begünstigen eine Stickstoffnarkose [1 Kap. 18, 108]. Verunreinigtes Atemgas kann ebenso eine Rolle spielen.

Zusammenfassend sollten vor allem in Fällen wie diesem, bei dem ein gut ausgebildeter und langjährig erfahrener Taucher plötzlich in der Tiefe Probleme mit fatalen Folgen bekommt, gesundheitliche Akutereignisse und bewusstseinsverändernde Substanzen durch die Rechtsmedizin ausgeschlossen werden und eine erweiterte technische Analyse und Analyse des Atemgases durch einen Sachverständigen erfolgen. Eine Reduzierung der Überlegungen auf unzureichende Ausrüstung und ein Festlegen auf ein Selbstverschulden ohne weitere Abklärung ist unzureichend.

Auslöser
unklar
Schädigungsmechanismus
unklar
Gesundheitliche Schädigung
unklar
Todesursache
unklar

Tab. 22: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 14

4.2.14 Fall 15

Es handelt sich um den Fall eines 56-jährigen Sporttauchers, der während eines Tauchgangs an Einstieg 5 in 35 m Tiefe tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Nach Angabe der Angehörigen bestanden keine Vorerkrankungen, der Verunfallte sei „recht fit“ und Nichtraucher gewesen. Es lag eine gültige Tauchtauglichkeitsbescheinigung ohne Einschränkungen nach den Richtlinien der GTÜM e. V. vor. Zudem gab das sichergestellte Logbuch eine Übersicht über Brevetierungen des Verunfallten, wozu die Brevetierung zum Master Diver sowie zahlreiche PADI Spezialbrevets wie Nachtauchen, Rescue Diver, Nitrox 40 %, Erste Hilfe und Unterwassernavigation gehörten. Der Verunfallte hatte zuvor 408 Tauchgänge absolviert. Angaben zu allgemeinen Substanzanamnese lagen nicht vor.

Tauchgangsspezifische Befragung

Es wurden Informationen über die Verhältnisse vor Ort erhoben. Die Lufttemperatur lag bei 18°C, die Wassertemperatur an der Oberfläche betrug 18°C, in 30 m Tiefe 5°C. Die Sicht unter Wasser lag bei weniger als 5 m. Informationen über den letzten Tauchgang ergaben sich aus dem Logbuch. Der letzte Tauchgang war einen Tag zuvor ebenfalls im Hemmoorsee an identischem Einstieg durchgeführt worden.

Hierbei hatten sich keine Probleme ergeben. Der Tauchgang hatte 40 min gedauert bei einer maximalen Tiefe von 33 m. Auf 5 m war ein Dekompressionsstopp von 5 min durchgeführt worden. Wie am Tag des Unfalls trug der Verunfallte seinen Halbtrockenanzug von 7 mm, zudem wie auch am Unfalltag eine Stahlflasche von 12L mit Pressluftfüllung. Ob die Flasche Eigentum des Verunfallten war und wo die letzte Füllung stattfand, wurde nicht dokumentiert.

Die weitere tauchgangsspezifische Befragung betraf die beiden Tauchpartner, welche mit dem Verunfallten zu einer größeren Freizeit-Tauchgruppe gehörten. Tauchpartner 1 war Divemaster (ca. 480 Tauchgänge) mit Spezialbrevets im Tieftauchen und als Rescue Diver. Tauchpartner 2 war Advanced Open Water Diver mit rund 160 Tauchgängen. Beide Taucher hatten bereits einige gemeinsame Tauchgänge absolviert. Bezüglich der Substanzanamnese der Tauchgruppe ergab sich ein moderater Konsum von Alkohol am Vorabend. Man habe am Unfalltag einen Freizeittauchgang an Einstieg 5 geplant, weil dort die Sicht besser als an anderen Stellen gewesen sei, und sich mit dem Auto dorthin begeben. Geplant sei ein Tauchgang auf 35 m Tiefe und ein langsames Auftauchen entlang der Steilwand gewesen. Der Verunfallte habe am Einstieg festgestellt, dass er seine Handschuhe vergessen hatte. Daher sei er noch einmal zum Ferienhaus zurückgefahren. Die Tauchpartner hätten sich zur Vermeidung einer Überhitzung im Neoprenanzug derweil schon ins Wasser begeben. Als der Verunfallte wieder auf die Gruppe im Wasser gestoßen sei, habe er seine Ausrüstung schon komplett angelegt gehabt. Die gegenseitige Ausrüstungsüberprüfung, der klassische Buddy Check, habe nicht mehr stattgefunden. Man sei dann „normal langsam“ bis auf 35-40 m abgetaucht und dann an der Steilwand hinter- und nah beieinander langsam aufgestiegen. Die Sicht habe maximal 5 m betragen. Auf 30 m Tiefe habe der Verunfallte an der Flosse von Tauchpartner 1 gezogen, in der rechten Hand habe er seinen Lungenautomaten gehabt, der abgeblasen habe. Im Mund habe er einen weiteren abblasenden Automaten gehabt. In der linken Hand habe er den Inflator gehabt. Der Tauchpartner 1 habe dem Verunfallten daraufhin die Flasche „am abblasenden Ventil“ geschlossen. Der Verunfallte habe dabei nach einem weiteren Automaten gegriffen, jedoch nicht erreicht und daraufhin Tauchpartner 1 seinen Automaten aus dem Mund gezogen. Dieser sei jedoch mit einem Band am Hals fixiert gewesen, wodurch Tauchpartner 1 die Maske geflutet und seine Sicht eingeschränkt worden sei. Er habe seinen Zweitautomaten genommen. Man sei während der Aktion erst deutlich aufgestiegen, dann wieder abgesackt. Auf etwa 20 m habe der Verunfallte plötzlich den Hauptautomaten des Tauchpartners 1 aus dem Mund verloren und sei mit starrem Blick und ausgebreiteten Armen nach hinten weggesackt. Der Tauchpartner habe für sich einen Notaufstieg eingeleitet. An der Oberfläche habe er erst nach einiger Zeit jemanden auf sich aufmerksam machen können. Aufgrund von geringem Restdruck von 60 bar und Problemen mit den Ohren habe der Tauchpartner 1 keinen weiteren Rettungsversuch machen können. Er sei im weiteren Verlauf intensiv- und tauchmedizinisch versorgt worden und habe aufgrund einer Dekompressionskrankheit mehrere Druckkammerbehandlungen erhalten.

Tauchpartner 2 berichtet über das Ereignis, er sei vor dem Verunfallten getaucht und habe zum Ereigniszeitpunkt gesehen, wie seine beiden Tauchpartner an ihm vorbei nach oben geschossen seien. Er habe dabei sehr viele Luftblasen gesehen. Er habe versucht zu folgen, dann aber seinen schnellen Aufstieg zugunsten eines Dekompressionsstopps verlangsamt, zumal er beide aus den Augen verloren habe. Beide Tauchpartner seien nach einiger Zeit von einem Boot geholt worden, es habe

jedoch etwas gedauert, bis jemand auf sie aufmerksam wurde. Der Tauchpartner 2 habe derweil noch versucht, mit seiner restlichen Luft nach Luftblasen zu suchen, habe aber nach 5 min abgebrochen.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Der Verunfallte wurde nach Angabe seines Tauchcomputers 40 min später durch eine Tauchgruppe geborgen. Nach kurzer Suche fand man den Verunfallten in einer Tiefe von 43,7 m. Das Bergungsteam gab an, den Verunfallten auf dem Grund liegend vorgefunden zu haben. Die Maske habe „lagegerecht“ gesessen, das Mundstück des Atemreglers habe sich nicht im Mund befunden. Beim Überstrecken des Kopfes im Rahmen der Bergung sei rötliche Flüssigkeit aus dem Mund ausgetreten. Das Jacket des Verunfallten habe nicht mit Luft gefüllt werden können, da die Atemgasflasche leer gewesen sei. Dennoch sei die Bergung an die Oberfläche gelungen. Reanimationsmaßnahmen an Land durch einen Notarzt blieben ohne Erfolg.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Es erfolgte eine umfangreiche Fotodokumentation von Leichnam und Ausrüstung vor Entfernung des Tauchanzugs. An tauchmedizinisch relevanten Befunden wurden eine livide Verfärbung des Kopfes sowie ein hellweißer, feiner, aus Mund und Nasenostien austretender Schaumpilz beschrieben. Nach dem Wegwischen des Schaumpilzes wurde eine aus den Nasenostien austretende rötliche Flüssigkeit festgestellt, welche in Form von Abrinnsuren zum Hals lief. Der Schaumpilz wurde als Hinweis auf einen Ertrinkungstod interpretiert. Zudem wurden ein leichter Zungenbiss und eine leichte Rötung der Bindehäute beschrieben. Eine halbkreisförmige rötliche Verfärbung am Oberkörper wurde als mögliche Zyanose interpretiert und der Verdacht auf einen Herzinfarkt geäußert. Leichenflecken waren wegdrückbar und vornehmlich auf der Rückseite des Körpers.

Weiteres Vorgehen

Die Leiche, die Tauchausrüstung und der Tauchcomputer wurden beschlagnahmt. Die Tauchausrüstung wurde einem der Bergungstaucher und Inhaber einer Tauchbasis zur Analyse übergeben, der bereits in der Vergangenheit technische Auswertungen für die Polizei durchgeführt hatte.

Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchcomputerprofils

Die Untersuchung der Ausrüstung durch den Bergungstaucher ergab, dass das Ventil des Hauptautomaten geschlossen war. An den Hauptautomat seien der Hauptregler, ein Zweitregler, ein Finimeter und der Inflator angeschlossen gewesen. Entsprechend der Vorschrift der Tauchbasis Hemmoorsee sei an die Flasche ein zweites Set Atemregler angebracht worden. Der Hauptregler und der Zweitregler seien jedoch so angeschlossen gewesen, dass man sie vor Gebrauch um 180 ° hätte drehen müssen, um sie in den Mund zu setzen. Andernfalls hätte man Wasser statt Atemgas gezogen. Dabei sei nur einer der Anschlusschläuche lang genug gewesen, damit man den Regler nach Drehung hätte verwenden können. Der Untersucher gab an, dass für Problemlösungen einer derartigen Konfiguration unter Wasser erhebliche Routine und Gelassenheit notwendig seien. In einer Paniksituation habe die Anordnung fatale Auswirkungen. Weitere Untersuchungen der Ausrüstungen waren angedacht, wurden jedoch vor Abschluss des Falls nicht mehr durchgeführt. Das Tauchprofil lag vor, wurde gedruckt, jedoch danach nicht weiter erwähnt.



Abb. 34 re und li: ungünstige Montagekonfiguration des Zweitatemreglers. Beide 2. Stufen des Zweitatemreglers waren ohne korrigierende Drehung um 180° nicht einsatzbereit

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Eine rechtsmedizinische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Da Aussagen und Tauchprofile der Tauchpartner sich mit den Ermittlungen deckungsgleich zeigten, wurde eine Fremdeinwirkung „mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen“. Als für den Unfall ursächlich vermutet wurde eine Vereisung der ersten Stufe mit Abblasen der Lungenautomaten. Aufgrund von ungünstigem Anschluss des zweiten, in diesem Fall um 180 Grad verdrehten Reservesystems seien beide 2. Stufen nicht ohne korrigierende Drehung einsatzbereit gewesen, was in der Paniksituation fatal geendet habe, zumal durch die Vereisung der ersten Stufe der daran angeschlossene Inflator nicht einsatzbereit gewesen und ein Notaufstieg nicht möglich war. Im Abschlussbericht wurde der Tod durch fahrlässiges Selbstverschulden festgelegt. Die Todesart wurde als nichtnatürlich festgelegt. Die Ermittlungen wurden eingestellt.

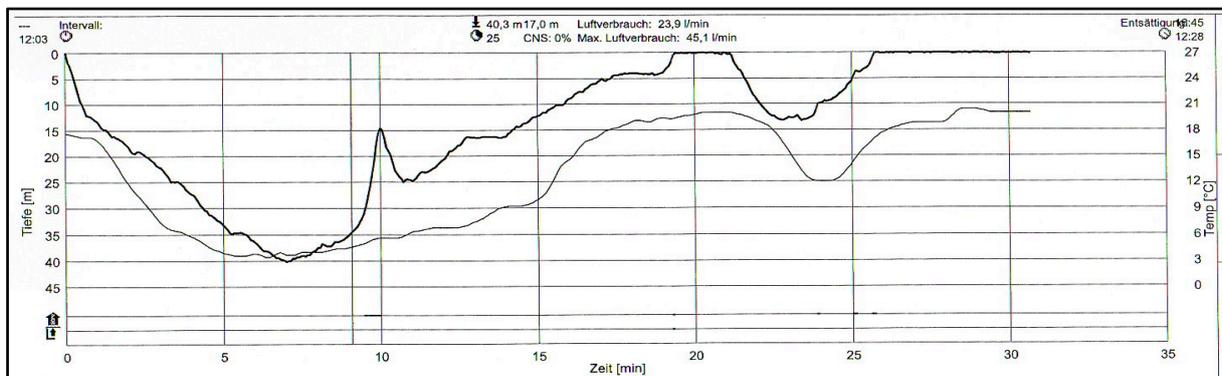


Abb. 35: Tauchprofil des Tauchpartners 2 (Fall 15)

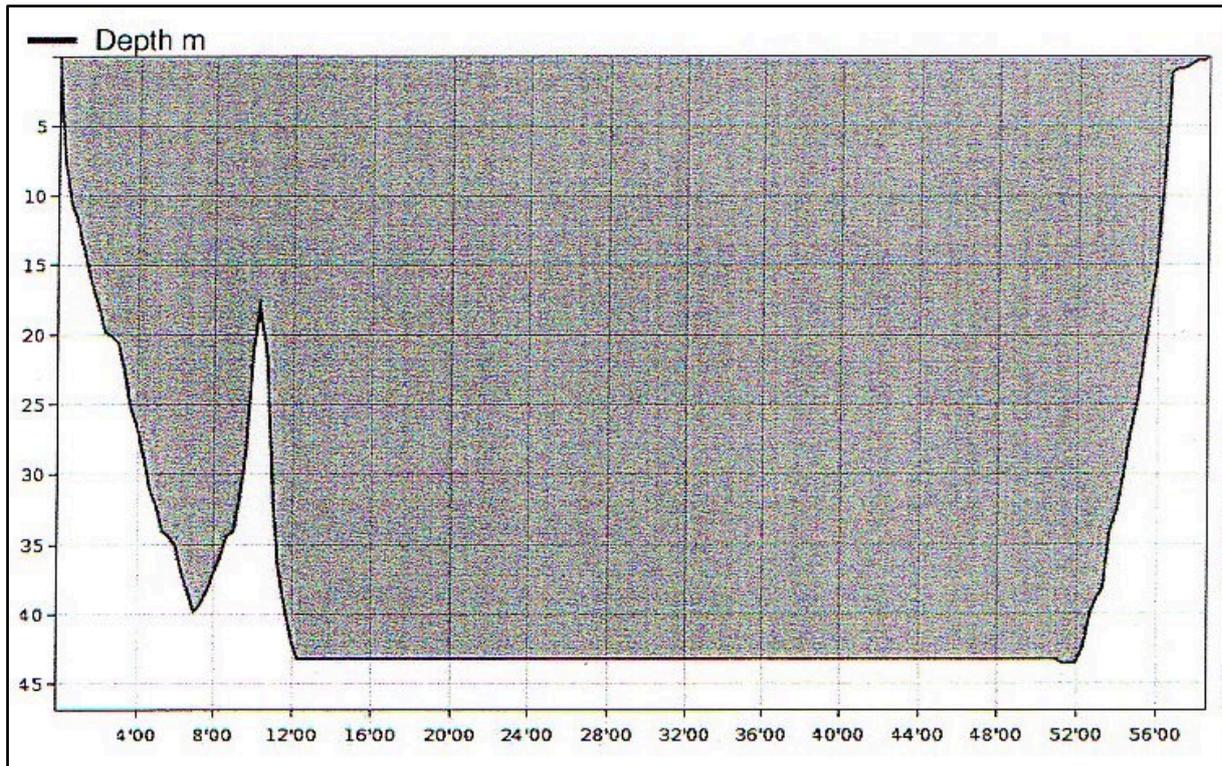


Abb. 36: Tauchprofil des Verunfallten. (Fall 15)

Beurteilung

Das vermutete Szenario einer Vereisung der ersten Stufe ist plausibel, zumal sowohl der Lungenautomat als auch der Oktopus abbliesen. Beide Lungenautomaten sind in der Regel an derselben ersten Stufe montiert. Bei Vereisung der ersten Stufe kommt es zum Abblasen beider Lungenautomaten. An der ersten Stufe des Hauptautomaten ist in der Regel auch der Inflator des Jackets angeschlossen, was erklärt, dass das Jacket bei der Bergung nicht mehr mittels Inflator zu füllen war, da die entsprechende erste Stufe verschlossen war. Nach dem Problem der Vereisung (Unfallauslöser), welches durch Ventilschließen zunächst behoben war, ist die Fehlkonfiguration des zweiten Atemreglersets mit Sicherheit als für den Unfallverlauf bestimmend anzusehen. Die Zeugenaussage des Tauchpartners birgt Hinweise, dass der Verunfallte versuchte, das zweite an einer separaten ersten Stufe angeschlossene Atemreglerset zu erreichen, was für ihn aufgrund der ungünstigen Montagekonfiguration und seiner bereits beginnenden Panikreaktion erschwert war und schließlich misslang. Dieser Aspekt ist besonders tragisch, da ein Erreichen des Zweitatemreglers bei richtiger Konfiguration den fatalen Ausgang hätte verhindern können. Dass der Verunfallte seinem Tauchpartner dessen Mundstück aus dem Mund riss, zeigt eindeutig die Panikreaktion.

Weshalb es zur Vereisung der ersten Stufe kam, muss offenbleiben, da keine Analyse durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen mitsamt dessen technischen Möglichkeiten stattfand. Die niedrige Umgebungstemperatur von 5°C kann dabei ursächlich sein. Weil der Verunfallte einen 7 mm Halbtrockentauchanzug benutzte, ist eine direkte Einwirkung der Kälte auf 30 bis 40 m über die Expositionszeit von 10 min bis zum Unterwassernotfall unwahrscheinlich. Deswegen müssen alternativ auch innere Faktoren diskutiert werden. Ein möglicher technischer Defekt oder eine ungünstige Einstellung der Atemregler wären

auszuschließen gewesen. Aus der völlig entleerten Tauchflasche hätte mutmaßlich keine verwertbare Atemgasprobe entnommen werden können, allerdings beherrschen Sachverständige diverse indirekte Verfahren, aus einem geringen Restdruck von 2 bis 4 bar doch noch eine Gasanalyse durchzuführen. Diese wäre neben dem Ausschluss von toxischen Gasbeimengungen von besonderem Interesse in Bezug auf Wasser und Wasserdampf gewesen, weil zu feuchte Pressluft das Vereisen als Hauptfaktor triggert. Im Zuge von Ermittlungen hätte die Möglichkeit bestanden, eine Probe aus der Füllstation zu gewinnen, an der das Atemgas abgefüllt worden ist. Der ersten Stufe ist flaschenseitig ein Sinterfilter vorgeschaltet, der Rostpartikel zurückhält, gleichwohl eine Tauchflasche im Inneren nicht rosten soll. Der Sinterfilter hätte auf seine Funktion untersucht, die Tauchflasche endoskopisch auf Rost und Feuchtigkeit untersucht werden müssen. Eine Untersuchung der Tauchausrüstung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen wäre zwingend erforderlich gewesen.

Eine gewisse Unklarheit besteht in Bezug auf die entleerte Tauchflasche. Nach Verschluss der ersten Stufe hätte das Abblasen enden müssen. Wenn nicht während des Abblasens der gesamte Atemgasvorrat verloren ging, hätte sich in der Flasche noch Restgas befinden müssen. Zu bedenken ist vor diesem Hintergrund die Zeugenaussage des zweiten Tauchpartners, er habe zum Ereigniszeitpunkt gesehen, wie seine beiden Tauchpartner an ihm vorbei nach oben geschossen seien, wobei er sehr viele Luftblasen gesehen habe. Zu diesem Zeitpunkt war das Ventil des abblasenden Atemreglers des Verunfallten angeblich schon geschlossen. Dieser Aspekt hätte zu einer zweiten Befragung des Tauchpartners 1 und einer genaueren Befragung in Bezug auf das Verhältnis des Verunfallten zum Tauchpartner 1 und etwaiger Begleitumstände führen können, wäre er bei der Ermittlung bewusst gewesen.

Die entscheidende Frage ist, weshalb der Verunfallte unter Atmung aus dem Hauptautomaten des Tauchpartners bewusstlos wurde. Möglicherweise bestand zu diesem Zeitpunkt schon eine erhebliche Hypoxie. Sehr wahrscheinlich kam es zu einem Essoufflement (Trigger: Tiefe, Stress/Panik, körperliche Anstrengung beim Versuch, den Zweitautomaten zu erreichen) mit einem CO₂-Blackout. Möglich ist, dass unter Stress, Panik und starker körperlicher Belastung ein akutes kardiales Ereignis stattfand. Da keine Sektion und keine chemisch-toxikologische Untersuchung durchgeführt wurden bleiben viele Fragen ungeklärt. Die im Rahmen der polizeilichen Leichenschau erwähnten thorakalen Verfärbungen sprechen aus kardiologischer Sicht zwar nicht, wie vor Ort vermutet, für einen Herzinfarkt, jedoch bleibt unklar, weshalb nach diesem geäußerten Verdacht keine Sektion forciert wurde. Auch die eigentliche Todesursache kann ohne Sektion nur vermutet werden. Möglich ist ein Ertrinkungstod, da nicht auszuschließen ist, dass der Verunfallte während seiner Bemühungen, an den funktionierenden Atemregler zu kommen, Wasser aspiriert hat. Möglich wäre zudem ein sekundäres Ertrinken nach unklarer Bewusstlosigkeit oder kardiovaskulärem Ereignis, welches allerdings auch die primäre Todesursache gewesen sein kann. Für einen Ertrinkungsvorgang spricht das Vorliegen des Schaumpilzes.

Interessant ist die Frage, ob und inwieweit der vor dem Tauchgang aufgetretene Stress durch die vergessenen Handschuhe eine Rolle in der Kausalkette gespielt hat. Der Verunfallte war aufgrund dieses Vorfalles in Eile, dies bei offensichtlich warmen Umgebungstemperaturen. Die Kombination aus Stress und Anstrengung/

Überhitzung kann prädisponierend gewesen sein sowohl für eine verminderte Stresstoleranz bei weiteren Zwischenfällen als auch in Bezug auf ein von vornherein gesteigertes Atemminutenvolumen, was eine Vereisung triggern kann. Aufgrund der Eile hatte insbesondere kein Buddy Check mehr stattgefunden, durch den die Fehlkonfiguration des zweiten Atemreglers hätte auffallen müssen. Dieser Ablauf vor dem eigentlichen Tauchgang ist beispielhaft dafür, dass die Phase vor Beginn eines Tauchgangs ruhig und stressfrei sein sollte. Das Abtauchen hätte zugunsten eines exakten Buddy Checks später stattfinden sollen, gemäß dem in Taucherkreisen bekannten Motto: „Plan your dive and dive your plan“.

Auslöser	Alternativ:
Technisches Problem: Vereisung der ersten Stufe mit Abblasen des Hauptatemreglers (1./2. Lungenautomat)	kardiovaskuläres Ereignis nach initialem Stress durch das Abblasen des Hauptatemreglers
Schädigungsmechanismus	
Essoufflement	
Gesundheitliche Schädigung	
Bewusstlosigkeit	
Todesursache	
Ertrinken	

Tab.23: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 15

4.2.15 Fall 16

Es handelt sich um den Fall eines 55-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines geplanten Tieftauchgangs in 42 m Tiefe tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Laut Angehörigen waren keine Vorerkrankungen bekannt. Eine Substanzanamnese wurde nicht erhoben. Angaben zur Tauchtauglichkeit lagen nicht vor. Der Verunfallte wurde vom Tauchpartner und seiner Tauchgruppe als sehr erfahrener und qualifizierter Taucher beschrieben. Er verfügte über ein Brevet als Master Diver (SSI) mit den Zusatzbrevets „DEEP Diving“, „Dry Suit Diving“, „Enriched Air Nitrox Level 2 40 %“, „Night & Limited Visibility“, „Navigation“, „Diver Stress & Rescue“, „Wreck Diving“ (jeweils SSI). Psychischer Stress oder Suizidalität wurden von den Angehörigen verneint; der Verunfallte sei zuletzt sogar in sehr positiver Stimmung gewesen.

Tauchgangsspezifische Befragung sowie Befragung zu Bergung und Rettung

Am Unfalltag im Januar betrug die Außentemperatur 4°C. Über die Sichtverhältnisse ist nichts bekannt. Die tauchgangsspezifische Befragung war vor allem der Aussage des Tauchpartners zu entnehmen. Der Verunfallte war mit einer Tauchgruppe am Hemmoorsee. Am Unfalltag teilte sich die 5-köpfige Tauchgruppe in eine 3er und

eine 2er Gruppe. Letztere bestehend aus dem Verunfallten und seinem Tauchpartner. Der Hemmoorsee war beiden gut bekannt, man habe dort bereits ca. 20 Tauchgänge als Buddyteam absolviert und den Stress & Rescue Kurs gemeinsam absolviert. Vorbereitung und Beginn des Tauchgangs seien ruhig verlaufen. Die Tauchausrüstungen wurden jeweils an Land und beim Buddy Check vor dem Abtauchen überprüft. Der Verunfallte habe seine eigene Ausrüstung verwendet. Die Flasche sei am Morgen an der Füllstation der Tauchbasis gefüllt worden. Eine detaillierte Auflistung der Ausrüstungsteile lag nicht vor.

Der Verunfallte und sein Tauchpartner seien der 3er Gruppe in einem Abstand von 10 bis 20 m gefolgt. Das Buddyteam habe sich maximal in einem Abstand von 3 bis 4 m befunden. Geplant gewesen sei ein Tieftauchgang auf 40 m Tiefe. Nach einigen Minuten habe der Tauchpartner auf etwa 35 m ein schnelles Absinken des Verunfallten bemerkt, wobei dieser offensichtlich bewusstlos war. Luftblasen oder gar ein Abblasen des Atemreglers habe er dabei nicht gesehen. Der Tauchpartner sei ihm gefolgt und habe ihn am Grund (Anm.: 52 m Tiefe) in Rückenlage mit weit aufgerissenen Augen und ohne das Mundstück des Lungenautomaten im Mund vorgefunden. Der Inflator des Jackets des Verunfallten habe nicht funktioniert. Die Bergung durch den Tauchpartner sei schließlich durch Aufblasen des Jackets des Tauchpartners gelungen. Der Tauchpartner habe den Verunfallten an die Oberfläche gebracht und dabei bewusst seinen Sicherheitsstopp ausgelassen. An der Oberfläche habe der Verunfallte blutigen Schaum am Mund gehabt. Der Tauchpartner habe drei Beatmungsversuche durchgeführt, den Verunfallten schließlich zum Ufer gebracht und die Rettungskette eingeleitet, was jedoch aufgrund der Ablegenheit des Einstiegs 5 einige Zeit gedauert habe. Der Notarzt stellte den Tod fest und gab einen nicht natürlichen Tod bei einem Tauchunfall unklarer Genese an. Der Tauchpartner erhielt Sauerstoff und wurde in eine Klinik gebracht. Nach Angabe des Notarztes seien die Ventile der Flasche nach der Bergung geöffnet gewesen, laut Finimeter habe sich kein Atemgas mehr in der Flasche befunden.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Der Tauchanzug samt Zubehör und Tauchcomputer wurden nach Fotodokumentation für die Leichenschau entfernt. Die Lage der Zugänge wurde vor deren Entfernung dokumentiert. Der Verunfallte wurde als stark übergewichtig beschrieben. An tauchmedizinisch relevanten Befunden wurden eine bläulich verfärbte Gesichtshaut, sowie ein schaumartiges, rötlich tingiertes Sekret in Nasenostien und Rachenraum beschrieben. Zudem wurden Abrinnspuren aus den Mundwinkeln beschrieben. Es bestanden „mögliche Frakturen thorakal*“ sowie Leichenflecken am Rücken.

*Angaben zu Reanimationsmaßnahmen lagen nicht vor. Da durch den Ermittler Notfallzugänge dokumentiert wurden und auch die Sektionsbefunde dafürsprechen, ist von stattgehabten Reanimationsmaßnahmen auszugehen.



Abb. 37/38: Links (37): Fotodokumentation des Finimeters nach Bergung, Rechts (38): Fotodokumentation nach Reanimationsmaßnahmen. Vorliegen eines Ertrinkungsschaumpilzes. (Fall 16)

Weiteres Vorgehen

Tauchausrüstung inklusive Tauchcomputer und Atemgasflasche des Verunfallten wurde von den Ermittlern unmittelbar nach Eintreffen sichergestellt.

Da ein technischer Defekt oder Organversagen vermutet wurde, wurden eine Sektion und eine Untersuchung der Ausrüstung über die Staatsanwaltschaft und das Amtsgericht in die Wege geleitet. Bei der ersten Sichtung habe der Untersucher bereits festgestellt, dass die Flasche vollständig entleert sei, ohne dass an der Ausrüstung dafür konkrete Anhaltspunkte zu sehen seien. Übergeben wurde nach freiwilliger Aushändigung die Tauchausrüstung und der Tauchcomputer des Tauchpartners.

Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchcomputerprofils

Die Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchprofils wurde durch keinen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen durchgeführt. Die Ausrüstung des Verunfallten wurde zur Untersuchung und Auswertung des Tauchprofils an den Inhaber einer Tauchstation weitergeleitet, der in der Vergangenheit bereits Untersuchungen für die Polizei durchgeführt hatte. Seine Untersuchungen ergaben nachfolgende Befunde: Die Tauchflasche hatte ein Volumen von 12 L mit einem Fassungsvermögen von 2400 bar/L bei 20°C/200 bar. Der Restdruck wurde mit 1 bar entsprechend 12 bar/L angegeben. Der Innendruck würde dem Umgebungsdruck entsprechen. Eine Analyse des Atemgases sei mangels Masse nicht möglich gewesen. Es seien zwei Sets Atemregler verwendet worden, so, wie es für den Hemmoorsee betreiberseitig vorgeschrieben ist. Das Haupt-Atemregler set habe über eine Kombination einer ersten und zweiten Stufe verschiedener Hersteller verfügt, was durch diese Kombination nicht mehr CE-zertifiziert sei. Das Reserve-Set sei konform konfiguriert. An den Atemreglern sei jeweils der Mitteldruck überprüft worden, ebenso die Einstellungen an der zweiten Stufe (Einatemwiderstand, Einstellung VAS/Venturihebel). Der Mitteldruck des Hauptatemreglers habe mit 10,2 bar am oberen Limit der Herstellerangabe gelegen. An der zweiten Stufe sei der minimal mögliche Atemwiderstand eingestellt gewesen, zudem ein maximaler Venturi-Effekt. Der Reserveregler habe über einen Mitteldruck gemäß Herstellervorgabe verfügt und sei ebenfalls auf maximalen Venturi-Effekt eingestellt gewesen. Die Einstellungen an den Atemreglern seien ideal für einen guten

Atemkomfort bei Tieftauchgängen, würden jedoch eine Gefahr für ein Abblasen der Atemregler in geringerer Tiefe darstellen. Eine Überprüfung der Atemregler auf schadhafte Teile und Verschleiß habe keinen auffälligen Befund erbracht. Das Finimeter habe keine Fehlfunktion gezeigt. Die weitere Ausrüstung sei entsprechend einer Sporttauchausrüstung voll funktionsfähig gewesen. Geprüft wurden das Tarierjacket, integrierte, abwerfbare Bleitaschen, eine Unterwasserlampe und der Tauchcomputer.

Für die Auswertung des Tauchgangs wurde ein Teamprofil aus den Daten des Verunfallten und des Tauchpartners erstellt. Die beiden Taucher hätten die zunächst maximale Tiefe von 42 m nach 6 min 20 s erreicht. Sie seien 2 min in dieser Tiefe verblieben, um dann den Aufstieg einzuleiten. Hierbei habe sich langsam der Abstand der Tauchpartner vergrößert. Zum Zeitpunkt des Ereignisses (9 min 20 s) hätten sich der Tauchpartner auf 31,7 m, der Verunfallte auf 34,2 m befunden. Der Untersucher nahm an, dass dem Verunfallten zu diesem Zeitpunkt die Atemluft ausgegangen war, zumal berichtet wurde, dass beim Bergungsversuch ein Aufblasen des Jackets des Verunfallten nicht möglich gewesen war. Offen bliebe, wieso der Verunfallte bereits nach 9 min keine Atemgasreserve mehr hatte und wieso die „out of air“-Situation nicht signalisiert oder nicht bemerkt wurde. Ein eventuell stattgehabtes Abblasen des Atemreglers wurde in Erwägung gezogen, zumal die Einstellung der zweiten Stufe dies begünstigt hätte. Jedoch sei ein solches Ereignis sehr markant und hätte bemerkt werden müssen. Vermutet wurde somit ein hohes Atemminutenvolumen, wobei dieses für die Leerung der Flasche im entsprechenden Zeitraum mit 60 L/min berechnet wurde.

Zusammenfassend wurde vom Untersucher angemerkt, dass Pressluft als Atemgas in der entsprechenden Tiefe aufgrund des narkotischen Potentials und der hohen Dichte nicht ideal gewesen sei. Der Verunfallte sei formell für die angestrebte Tiefe von 40 m zertifiziert gewesen, jedoch sei für Tiefen ab 40m , welche eine Domäne des technischen Tauchens darstelle, eine andere Ausrüstung nötig gewesen. Die primäre Unfallursache sei seiner Meinung nach Aufbrauchen des Gasvorrats entweder durch erhöhtes Atemminutenvolumen und/oder ein Gasverlust durch Abblasen. Warum der erschöpfte Gasvorrat nicht bemerkt oder nicht signalisiert wurde, bleibe unklar. Beitragender Faktor für das fatale Ende dürfe die narkotische Wirkung des Stickstoffs und möglicherweise des Kohlenstoffdioxids gewesen sein, welche eine angemessene Reaktion verhinderte.

Untersuchung der Atemgase

Eine Untersuchung des Atemgases wurde nicht durchgeführt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Die Leichenöffnung wurde vom Amtsgericht angeordnet, um ein Fremdverschulden als Todesursache auszuschließen. Die Verbringung in die Rechtsmedizin erfolgte drei Tage, die Sektion vier Tage nach dem Ableben. Eine Computertomographie wurde nicht durchgeführt. Die Sektion erbrachte an auffälligen Befunden in der äußeren Besichtigung punktförmige Einblutungen der Bindehäute sowie rötlich tingierten Schleim in den Nasenöffnungen. Die innere Besichtigung ergab eine beginnende innere Leichenfäulnis, eine massive Hirnschwellung, massive kissenartige Blähung des Lungengewebes mit feinblasigen Überblähungen an den Lungenrändern, eine akute Stauung der inneren Organe, sowie eine obere Einflusstauung. Es bestand eine „missfarbene“ Flüssigkeit im Luftleitungssystem. Im

Magen zeigte sich keine Flüssigkeit. Stellenweise zeigten sich im Bereich der Rumpfwerteile, den Muskelhäuten im Bereich der Unterarmmuskulatur und in den Gefäßen der Hirnoberfläche dezente Luftblasen. In den Gefäßen der Hirnoberfläche wurden diese als feinste perlschnurartig aufgereihte Luftblasen beschrieben. Es zeigten sich als reanimationsbedingte Traumata eine Sternumfraktur sowie Rippenbrüche. Außer einer geringen Verfettung der Schlagadern inklusive der Herzkranzgefäße ergaben sich keine Hinweise auf eine innere Erkrankung, insbesondere keine akute. Ebenso ergaben sich keine Hinweise für eine todesursächliche Gewalteinwirkung von fremder Hand. Eine eindeutige Todesursache konnte durch die Sektion nicht festgestellt werden. Als mögliche Hinweise auf ein Ertrinken wurden die massiv geblähte Lunge sowie die massive Hirnschwellung und die akute Organstauung gewertet, wobei andere ertrinkungstypische Befunde wie ein wasserdurchsetzter Mageninhalt fehlten. Es wurde angegeben, dass die Interpretation durch eine Befundüberlagerung durch eine längere Leichenliegezeit erschwert war. Um eine interne Ursache auszuschließen folgten weitere Untersuchungen. Die Blutalkoholkonzentration, die chemisch-toxikologische Untersuchung auf gängige sedierende Medikamente und Drogen sowie die Bestimmung des relativen Anteils des Kohlenmonoxid-Hämoglobins brachten keine pathologischen Befunde.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Die Todesart wurde als nichtnatürlich festgelegt. Die Todesursache konnte trotz Sektion und Untersuchung der Ausrüstung nicht geklärt werden. Es bestanden keine Hinweise auf Fremdverschulden. Die Ermittlungen wurden eingestellt.

Beurteilung

Auch für diesen Fall lässt sich der Unfallhergang nur mutmaßlich rekonstruieren. Die Zeugenaussage und das Ergebnis der technischen Untersuchung sprechen in der Tat für eine „out of air“-Situation als Schädigungsmechanismus. Unklar bleibt die Ursache. Ein Abblasen der zweiten Stufe als Ursache für den vollständigen Atemgasverbrauch ist zwar denkbar, allerdings wird ein derart markantes Ereignis durch den massiven Gasschwall in der Regel bemerkt. Offen bleibt zudem, weshalb ein beginnendes oder akutes Problem nicht signalisiert wurde, zumal sich eine leerende Atemgas-Flasche durch erhöhten Einatemdruck bemerkbar macht, was allmählich und nicht plötzlich passiert. Ebenso fraglich bleibt, ob und wenn weswegen der Tauchpartner möglicherweise gegebene Signale nicht bemerkt hat. Der Verunfallte wurde als ein erfahrener Taucher beschrieben, der derartige Tauchgänge bereits absolviert hatte. Seitens des Untersuchers der Tauchausrüstung wurde ein erhöhtes Atemminutenvolumen vermutet. Kälte und Fitnesszustand können einen erheblichen Einfluss auf das Atemminutenvolumen haben. Zudem kann eine sich beim Tauchgang aggravierende innere Ursache zu einem deutlichen Anstieg des Atemminutenvolumens führen. Leider lagen in diesem Fall kaum belastbare Informationen zu eventuellen Vorerkrankungen und zur Tauchtauglichkeit vor. Der Untersucher gibt an, dass für eine Leerung der Flasche der Atemgasverbrauch im entsprechenden Zeitraum 60 L/min hätte sein müssen. Diese Berechnung trifft zu, allerdings geht sie davon aus, dass das Atemminutenvolumen von 60L/min von Anfang an über den gesamten Tauchgang bis zum Unfallgeschehen vorlag. Ein derart hoher Atemgasverbrauch ist über die Dauer von mehreren Minuten jedoch kaum zu veratmen. Zudem ist es unrealistisch, dass der Verunfallte ein Abtauchen unter Bedingungen, die ein solches Atemminutenvolumen gefordert hätten, weitergeführt hat. Eine derart forcierte Atmung über längere Zeit

muss in einem Buddyteam auffallen. Ein erhöhtes Atemminutenvolumen kann also nicht allein als Ursache für die „out of air“-Situation gesehen werden. Seitens des Untersuchers der Ausrüstung wurde angegeben, dass ein beitragender Faktor dafür, dass der erschöpfte Gasvorrat nicht bemerkt oder nicht signalisiert wurde, in der narkotischen Wirkung des Stickstoffs und möglicherweise auch einer „Wirkung des Kohlendioxids“ zu sehen sei. Gemeint ist hier sicherlich ein Essoufflement. Eine komplette Handlungseinschränkung durch eine Stickstoffnarkose ist bei einer maximalen Tiefe von 42 m allerdings unwahrscheinlich. Eine Stickstoffnarkose sollte unter diesen Bedingungen allenfalls in geringer Ausprägung auftreten. Ein Essoufflement kann bei Anstrengung, inneren Ursachen, Stress Angst und Kälte getriggert werden und durchaus einen aggravierenden Faktor darstellen. Beide Effekte können jedoch nicht als alleinige Erklärung für eine Steigerung des Atemgasverbrauchs auf 60L/min gesehen werden. Von zentralem Interesse ist hingegen die Frage, ob die Atemgasflasche zu Tauchbeginn vollständig gefüllt gewesen war. Eine wahrscheinliche Ursache liegt in einer nicht sachgemäß gefüllten oder angewendeten Flasche. Dies hätte im vorliegenden Fall zwingend weiter ermittelt werden müssen. Für weitere alternative Unfallszenarien fehlen Informationen. Dieser Fall ist in der Zusammenschau beispielhaft dafür, dass die Expertise eines öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zu einer grundsätzlich anderen Einschätzung eines Falls führen kann.

Zudem ist der Fall beispielhaft dafür, dass eine Untersuchung durch einen nicht öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zwar wichtige und wegweisende Befunde ergeben kann, jedoch nur eine unvollständige Analyse der Ausrüstung möglich ist. In der Regel mangelt es an weiterführenden technischen Untersuchungsmöglichkeiten. In diesem Fall habe die Überprüfung der Atemregler auf schadhafte Teile und Verschleiß keinen auffälligen Befund erbracht. Eine Manipulation oder gar Demontage ohne vorherige qualifizierte Untersuchung kann jedoch zu einer Beweismittelvernichtung führen, beispielsweise in Fällen von Fremdkörpern. Den öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen stehen zudem Möglichkeiten zur Verfügung, auch bei geringen Restmengen an Atemgas noch eine Analyse des Gases durchführen zu können. In diesem Fall müssen bei Bergung aufgrund der Auffindetiefe mindestens noch 6 bar in der Flasche gewesen sein; für eine Gasanalyse wäre dies ausreichend gewesen. Von zentralem Interesse wäre ein Test des Atemreglers auf Vereisung gewesen, da dies als eine mögliche Ursache für die „out of air“-Situation diskutiert wurde. Ohne entsprechende Untersuchungsgeräte ist eine Vereisung nicht auszuschließen.

Im Rahmen der Ermittlungen in diesem Fall wurde eine Sektion eingeleitet, was nur in 18 % der untersuchten Fälle der Fall erfolgte. Das Ergebnis der Sektion ist tauchmedizinisch in Richtung eines Ertrinkungstodes als Todesursache zu interpretieren, auch wenn nicht alle ertrinkungstypischen Zeichen vorlagen. Der Schaumpilz, das Emphysema aquosum und die Hirnschwellung, sowie die Flüssigkeit in dem Atemwegen sprechen für ein typisches Ertrinken. Die akute Organstauung lässt sich im Sinne eines inneren Blaukommens, einer Blutstauung im Rahmen des Absinkens in Bewusstlosigkeit unter ertrinkungstypischem Stimmritzenkrampf interpretieren. Während der Sektion wurde keine Untersuchung auf eine arterielle Gasembolie mit Gasvolumenbestimmung durchgeführt. Diese wäre routinemäßig durchzuführen, jedoch aufgrund der zeitlichen Verzögerung von drei Tagen bis zur Obduktion bei kleineren Gasvolumina sicher artefaktanfällig gewesen. Die erwähnten Gasblasen in den Hirnarterien sind demzufolge sicherlich

bereits als postmortale Dekompressionsartefakte und/oder Fäulnisartefakte zu werten. Eine Computertomographie ist in einem solchen Fall dennoch sinnvoll, allein, um das tatsächliche Gasvolumen im Gefäßbaum einschließlich der Herzhöhle einer Beurteilung zugänglich zu machen. Gemäß Tauchprofil lag kein Anhalt für eine arterielle Gasembolie als initiale gesundheitliche Schädigung/Todesursache vor. Hinweise für eine innere Ursache, die zu dem diskutierten erhöhten Atemminutenvolumen geführt haben könnten wurden durch die Sektion nicht gefunden, wenngleich natürlich akute, durch eine Sektion nicht nachweisbare Ereignisse wie Herzrhythmusstörungen oder eine neurologische Akutereignisse vorgelegen haben können.

Nicht geklärt ist, warum es beim gemeinsamen Aufstieg im Rahmen der Bergung zu einem erneuten Absacken kam. Das Tauchprofil deckt sich an dieser Stelle nicht mit der Schilderung des Tauchpartners. Mutmaßlich hatte der Tauchpartner Tariereprobleme bei der Partnerrettung. Er vermochte hierzu keine Angaben zu machen. Bei derartiger Diskrepanz zwischen Schilderung und Profilaufzeichnung wäre eine intensivere Befassung damit unabdingbar gewesen. Dies gilt vor allem dann, wenn weitere Diskrepanzen in Bezug auf das Unfallgeschehen vorliegen, wie in diesem Fall eine „out of air“-Situation ohne Beobachtung eines Abblasens oder „out of air“-Signalen des Verunfallten. Offen bleibt somit, ob Entsprechendes nicht stattfand oder nicht beobachtet wurde. In beiden Fällen handelt es sich um markante Situationen, die bei Einhaltung der gängigen Regeln in einer Tauchgruppe rechtzeitig bemerkt werden sollten. In Bezug auf die Garantenpflicht innerhalb einer Tauchgruppe kann dies somit von Relevanz sein.

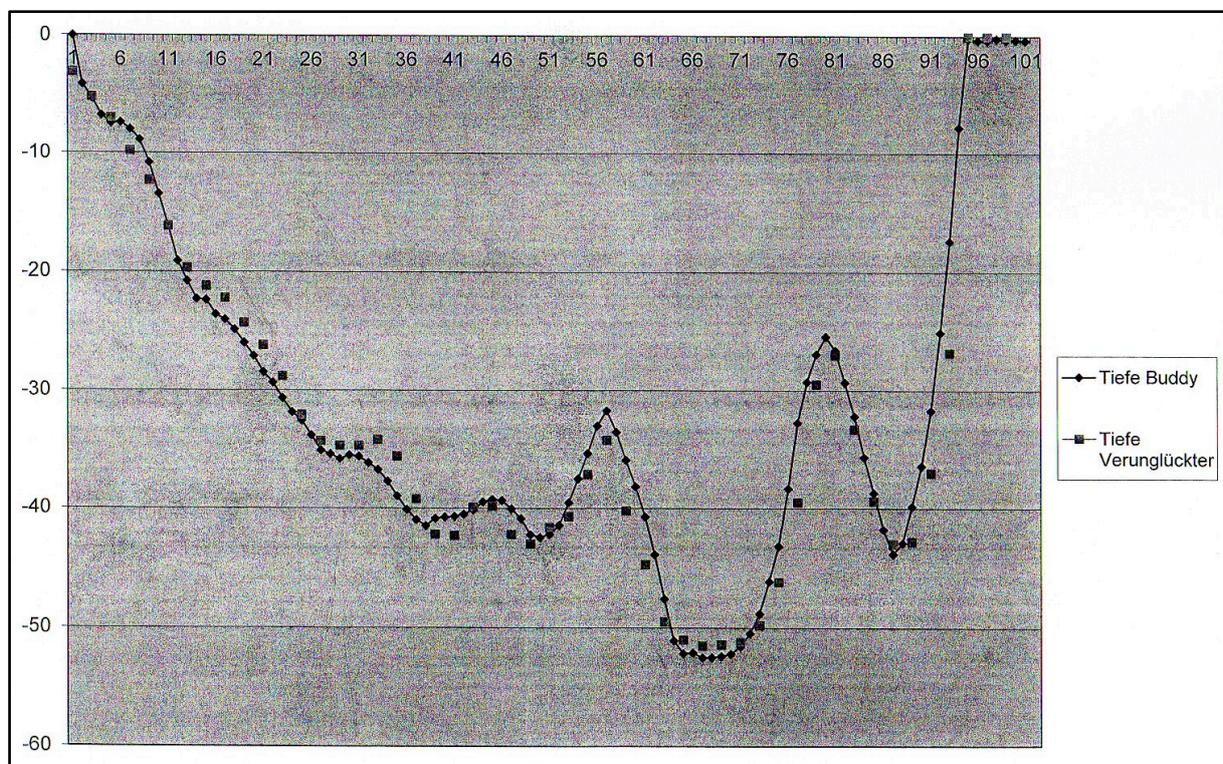


Abb. 39: Teamprofil. Vermuteter Verlauf: Geplantes Abtauchen auf 42 m, Aufenthalt von ca. 2 min, geplanter gemeinsamer Aufstieg. 1. Peak: Plötzliches Absacken des bewusst- oder leblosen Verunfallten. Mulde: Bergungsversuch auf 52 m gefolgt von gemeinsamem Aufstieg im Rahmen der Bergung. 2. Peak: kurzzeitiges erneutes Absacken unklarer Ursache, anschließend Notaufstieg an die Oberfläche. (Fall 16)

Auslöser
Unklar
Schädigungsmechanismus
vermutlich „out of air“-Situation bei erschöpfter Atemgasreserve
Gesundheitliche Schädigung
Bewusstlosigkeit durch Hypoxie
Todesursache
Ertrinken

Tab. 24: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 16

4.2.16 Fall 17

Es handelt sich um den Fall eines 59-jährigen Sporttauchers, der im Rahmen eines Übungstauchgangs mit einem geliehenen CC-Rebreather tödlich verunfallte.

Allgemeine Anamnese

Die allgemeinen Daten des Verunfallten wurden vollständig aufgenommen. Ein gültiges ärztliches Zeugnis für die Tauchtauglichkeit gemäß GTÜM lag vor. Bezüglich der Brevetierung des Verunfallten lagen Nachweise einer Ausbildung zum Technical Diver nach ANDI (American Nitrox Divers International) vor. Der Verunfallte hatte Ausbildungen zum „Rebreather Diver-CCR“ sowie zum „Normoxic Trimix Diver“ und „Technical Tri-Mix Diver“ erhalten. Angaben zur Tauch-Grundausbildung fehlten. Gesundheitliche Einschränkungen lagen nach Angabe der Angehörigen nicht vor; eine vor kurzem durchgeführte kardiologische Untersuchung im Rahmen einer Gesundheitsvorsorge habe keinen auffälligen Befund ergeben. Es habe sich nach Angabe der Angehörigen um einen „langjährig erfahrenen und körperlich gesunden Taucher“ gehandelt, der „vor jedem Tauchgang gewissenhaft seine Tauchausrüstung auf deren Funktionalität“ geprüft habe.

Tauchgangsspezifische Befragung

Zur Rekonstruktion des Unfalls wurde von der Polizei ein spezieller, vom Polizeikommissariat entwickelter Fragebogen mit Fragen zum Verunfallten, dem Unfallhergang und der Ausrüstung verwendet. Es wurden genaue Daten zu den Verhältnissen am Unfalltag im November erfasst. Es war sonnig bei einer Außentemperatur von 6°C. Die Wassertemperatur an der Oberfläche lag bei 10°C. Auch die Bedingungen rund um die Einstiegsstelle wurden dokumentiert. Zudem wurden die Ausrüstungsteile gelistet einschließlich Herstellertypen und Seriennummern des Trockentauchanzugs und des Rebreather-Gerätes. Bei letzterem handelte es sich um ein CCR-System, also ein geschlossenes Kreislaufftauchgerät. Bei einem Rebreather wird das Atemgas im Kreis geleitet, Kohlenstoffdioxid als metabolisches Abfallprodukt chemisch gebunden und der verbrauchte Sauerstoff ersetzt. Den Vorteilen eines geschlossenen Systems stehen

spezifische Gefahren und mögliche Komplikationen entgegen. Aufgrund der Komplexität eines solchen Rebreathers blieben in diesem Fall abseits der Punkte der angewandten Checkliste einige Fragen zur technischen Ausrüstung rund um den Rebreather offen, beispielsweise, ob ein Bailout-Gas verwendet wurde. Bezüglich des Ablaufs des Tauchgangs lagen in diesem Fall nur wenige und eher vage Informationen vor, da die begleitende Tauchgruppe, bestehend aus einem Tauchlehrer und zwei Schülern, nach dem Unfall seelsorgerisch betreut wurde und der Leiter der Tauchgruppe von seinem Aussageverweigerungsrecht Gebrauch machte. Es wurde von Einstieg 2 aus getaucht. Die beiden Tauchschüler der Gruppe gaben an, gemeinsam mit ihrem Ausbilder und dem ihnen nicht bekannten Verunfallten zu einem Trainingstauchgang abgetaucht zu sein. Der Verunfallte habe sich der Gruppe angeschlossen, um mehr Tauchpraxis zu erhalten. Er sei etwas abseits der Gruppe und etwas tiefer getaucht. Beim Auftauchen habe man in einer Tiefe von 10-15 m gesehen, dass der Verunfallte „unkontrolliert absackte“. Die beiden Schüler seien allein aufgetaucht, während der Tauchlehrer nach dem Verunfallten gesucht habe, was erfolglos blieb. Die Angehörigen gaben an, dass sich der Verunfallte von dem Tauchlehrer den Rebreather geliehen hatte, um das Gerät zu testen. Er habe in der Vergangenheit bei dem Tauchlehrer neben anderen auch einen Rebreather-Kurs absolviert, sich aber in dessen Handhabung noch nicht sicher gefühlt. Ob der Rebreather-Kurs mit dem verwendeten Gerät stattfand, wird nicht beschrieben. Der Verunfallte sei unsicher gewesen, ob er ein eigenes Gerät erwerben wolle. Er habe sich deshalb den Rebreather des Ausbilders geliehen und sich dessen Tauchgruppe angeschlossen. Ob diese professionelle Begleitung auch vergütet war, wurde nicht dokumentiert.

Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Der Verunfallte wurde eine halbe Stunde später durch Rettungstaucher leblos geborgen und per Boot ans Ufer gebracht. Vom hinzugezogenen Notarzt wurde der Tod festgestellt. Genauere Angaben zur Bergung wurden nicht erhoben, so dass Fragen rund um die Auffinde-Situation und nach möglicherweise fehlenden Ausrüstungsteilen offenblieben.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau

Es wurden umfangreiche Angaben zum Zustand des Trockentauchanzuges und zum Zustand der Leiche getroffen. An tauchmedizinisch relevanten Befunden wurde eine dünnflüssige, blutsuspekte Flüssigkeit dokumentiert, welche aus beiden Nasenostien austrat. Vor dem Mund hatte sich ein Schaumpilz gebildet, welcher teilweise rötlich verfärbt war. Nach Entfernen der Kopfhäube und somit Druckminderung am Hals entleerte sich eine größere Menge Flüssigkeit aus der Mundhöhle. Die Bindehäute beider Augen waren gerötet, zudem wurde ein Hervortreten des Adernetzes im Augenweiß beschrieben.

Weiteres Vorgehen

Die Ausrüstung des Verunfallten, der Tauchcomputer, sowie der Tauchcomputer des Tauchlehrers und der geliehene Rebreather wurden sichergestellt. Eine Sektion wurde eingeleitet und eine technische Begutachtung des Tauchgeräts in Erwägung gezogen.

Untersuchung der Tauchausrüstung sowie Untersuchung der Atemgase

Von einer sachverständigen Untersuchung der Tauchausrüstung wurde im Verlauf abgesehen. Bezüglich der speziellen Herausforderungen in der Handhabung eines

Rebreather-Gerätes wurden seitens der Ermittler Recherchen durchgeführt. Nachdem bei der Sektion keine Hinweise auf Fremdverschulden vorlagen und sowohl ein Fehlverhalten beim Tauchen als auch ein Defekt der Tauchausrüstung als mögliche Ursachen nach Angabe des Staatsanwaltes keine strafrechtliche Konsequenz gehabt hätten, wurde auf eine sachverständige Untersuchung des Rebreathers sowie der gesamten weiteren Ausrüstung verzichtet; es bestehe „kein Hinweis auf Garantienpflicht“. Die Gefälligkeit des Ausleihens begründe nicht die entsprechende strafrechtliche Verantwortung. Die Nutzung des Rebreathers sei auf eigenverantwortliche Entscheidung des Verunfallten geschehen.

Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Eine Untersuchung der Tauchprofile der beschlagnahmten Tauchcomputer des Verunfallten und des Tauchlehrers wurde aus den genannten Gründen nicht durchgeführt.

Rechtsmedizinische Untersuchung

Die Sektion wurde fünf Tage nach dem Unfall durchgeführt. Als Todesursache wurde Ertrinken festgestellt. Als Hinweiszeichen für einen Tod durch Ertrinken lagen ein ausgeprägter Schaumpilz vor Mund und Nase sowie reichlich schaumig-wässriger Inhalt in den Atemwegen vor. Es bestanden Ertrinkungslungen mit Paltauf'schen Flecken und ein ausgeprägtes Emphysema aquosum mit massiver akuter Luftüberblähung der Lunge. Außerdem bestanden eine akute Erweiterung der Herzhöhlen mit flüssigem, blausüchtigem Blut, eine akute Blutstauung von Bauchorganen, Gehirn und Lunge, eine massive Hirnswellung und eine deutliche Lungenüberwässerung. Die Atemhilfsmuskulatur am Rücken zeigte Muskelzerreißen. Computertomographisch zeigten sich Luft einschüsse in sämtlichen Geweben. Es wurden keine Hinweise auf eine Grunderkrankung gefunden, welche im kausalen Zusammenhang mit dem Tod stand. Eine Untersuchung auf eine arterielle Gasembolie mit Gasmengenbestimmung und Gasanalyse wurde nicht durchgeführt. In der Gesamtbeurteilung wurde vermutet, dass der Verunfallte Probleme mit seiner Atemgaszufuhr oder Atemgaszusammensetzung gehabt haben könnte mit nachfolgender Bewusstseinsstörung und anschließendem Ertrinken. Unterstützt sei dies durch den Befund der ausgeprägten Ertrinkungsblutungen mit Muskelzerreißen in der Atemhilfsmuskulatur. Zur Klärung der Frage, ob es sich um einen Unfalltod handle, womöglich durch fehlerhafte Ausrüstung oder schadhafte Atemgase, bedürfe es weiterer Ermittlungen durch versierte Spezialisten. Seitens der Rechtsmedizin wurde darauf hingewiesen, dass eine Untersuchung des Rebreathers inklusive der verwendeten Atemgase von Interesse sei und dass geklärt werden sollte, ob der Verunfallte ein Bailout-System dabei und ggf. angewendet habe. Es wurde darauf hingewiesen, dass Informationen dazu in der Logdatei des Rebreathers zu finden sein könnten.

Verfügung/Festlegung der Todesart

Die Todesart wurde mit Ertrinken als nichtnatürlich festgelegt. Ein Hinweis auf Fremdverschulden wurde nicht gesehen.

Beurteilung

Die Todesursache scheint in diesem Fall recht eindeutig zu klären zu sein. Schon die Details der ersten Leichenschau weisen auf ein Ertrinken als Todesursache hin. Die Sektion bestätigte diesen ersten Eindruck mit eindeutigen Hinweisen für einen Tod

durch Ertrinken. Zudem ergaben beide Untersuchungen Hinweise auf massive agonale Konvulsionen während des Ertrinkungsvorgangs. Die computertomographisch dokumentierten Lufteinschlüsse in allen Geweben sind als postmortale Artefakte zu werten, da die Sektion erst fünf Tage nach dem Ableben durchgeführt wurde. Die gezielten Nachfragen zu technischen Details des Kreislaufgerätes lassen ein tauchmedizinisches Wissen seitens des Obduzenten oder eine externe Beratung vermuten.

Auslöser, Schädigungsmechanismus und gesundheitliche Schädigung sind mangels qualifizierter Zeugenaussagen und ohne technisches Gutachten nur mutmaßlich zu klären. Da der Verunfallte im Rahmen einer Anwendung eines ihm in der Handhabung nicht sicher vertrauten und insgesamt außerordentlich komplexen Leihgeräts zu Tode kam, ist die Vermutung naheliegend, dass eine fehlerhafte Anwendung oder ein Gerätedefekt ursächlich sein könnten.

Der im Obduktionsbefund geäußerten Beurteilung, dass der Verunfallte Probleme mit seiner Atemgaszufuhr oder Atemgaszusammensetzung mit nachfolgender Bewusstseinsstörung und Ertrinkungstod gehabt haben könnte, wird gefolgt.

Dieser Fall zeigt eindrucksvoll den hohen Stellenwert einer Analyse der Tauchausrüstung und des Tauchprofils für die Ursachenabklärung eines tödlichen Tauchunfalls. Aufgrund der Komplexität und der möglichen Komplikationen bei Anwendung eines Rebreathers ist die Analyse eines im Rahmen eines tödlichen Tauchunfalls verwendeten Kreislaufgerätes generell unverzichtbar.

Wesentliche Fragen wie zum Beispiel bezüglich des Wartungszustandes des Geräts können ohne sachverständige Analyse nicht geklärt werden. Von Interesse ist unter anderem die Absorptionsfähigkeit des Atemkalks, da es bei Versagen der Kohlenstoffdioxidbindekapazität zu einer Hyperkapnie und Bewusstlosigkeit kommen kann. Letzteres Szenario ist eine häufige Ursache tödlicher Tauchunfälle unter Anwendung von Rebreathern. Vollständige Absorption des Kohlendioxids kann hingegen zu einem Verbrauch des Sauerstoffs ohne Atemreiz führen, wenn die Zudosierung fehlerhaft oder die Sauerstoffflasche aufgebraucht ist. Die Folge ist eine Hypoxie. Generell sind Fragen zur Sauerstoffreserve und korrekt dosierten Zufuhr von Interesse. Offen bleibt auch die Frage, ob der Verunfallte ein Bailout-Gas mitgeführt hatte und ob dieses zur Anwendung kam. In manchen Fällen wird auch ein integriertes Bailout-System verwendet in Form eines Diluentgases mit umschaltbarem Bailout-Ventil an der Atemgarnitur.

Ohne eine Analyse der Logdatei des Tauchcomputers bleiben wesentliche Fragen zum Verlauf des Tauchgangs und die Zusammensetzung der Atemgase offen. Idealerweise ist bei einem tödlichen Tauchunfall mit Rebreather und gasintegriertem Tauchcomputer der Unfallhergang anhand der Computerdaten zu rekonstruieren, da dieser das Tauchprofil sowie die Atemgasmischung und Alarmer aufzeichnet. Bei einer sachverständigen Untersuchung des Tauchprofils wird ein Teamprofil mit den Daten des Verunfallten und des Tauchpartners erstellt, so dass die Position des Tauchpartners zum Ereigniszeitpunkt ermittelt werden kann.

Bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle sind im juristischen Bereich Kenntnisse des Tauchsports im Allgemeinen und der technischen Besonderheiten der verwendeten Tauchgeräte im Besonderen für die Einschätzung der rechtlichen

Rahmenbedingungen von großer Bedeutung. Dass sich bei der Sektion in diesem Fall keine Hinweise auf ein Fremdverschulden ergeben mussten, liegt auf der Hand. Der Tod durch Ertrinken kann jedoch durch ein Unterlassen (z. B. von Rettungsbemühungen oder besonderen Vorsichtsmaßnahmen) des Täters eintreten, womit Hinweise auf ein Fremdverschulden im Gegensatz zur Verwendung eines Tötungswerkzeugs mit entsprechender Spurenlage geradezu zwangsläufig nicht vorhanden sind. Nichts anderes gilt für eine möglicherweise defekte Tauchausrüstung, insbesondere für eine aufgrund ihrer Komplexität dafür anfällige, wie sie in diesem Fall verwendet wurde. In einem Rebreather kann der Sauerstoffgehalt des geatmeten Gases stark absinken mit der Folge einer Ohnmacht des Tauchers, die zu dessen Ertrinkungstod durch das Verlieren der Sauerstoffversorgung führen kann. Das Ertrinken ist hier lediglich Symptom des Unfalles, es steht nicht für sich als Todesursache.

Dies ist aufgrund der strafrechtlich relevanten Sorgfaltspflichten der Taucher untereinander, der sogenannten Garantenstellung, von Bedeutung: Nach allgemeiner Auffassung in Rechtsprechung und juristischer Literatur sind die unter Sportlern geltenden Verkehrs- und Sorgfaltspflichten den Regelwerken des jeweiligen Sports zu entnehmen, sie sind anhand der Regelwerke zu konkretisieren [29].

Die für den Tauchsport geltenden Regelwerke sehen eine Vielzahl von Regelungen zur Vermeidung von Gefährdungen vor, sowohl zu eigenen Gunsten als auch zugunsten des Tauchpartners. Dies betrifft in erster Linie die Abwehr von aus der Umwelt drohenden Gefahren durch entsprechende Gegenmaßnahmen im Verhalten und entsprechende Ausrüstung. Hieraus fließt eine gegenseitige Pflicht der Tauchpartner, sich gegenseitig im Fall der Gefahr zu helfen. Dies wird in der Rechtsprechung und Literatur für das Tauchen angenommen, weil zwischen Tauchpartnern stets eine Gefahrengemeinschaft bestehe. Eine Gefahrengemeinschaft liegt vor, wenn sich Menschen zu einem risikobehafteten Unternehmen zusammengefunden haben, um die Chancen für ein Bestehen der Gefahr durch den Zusammenschluss zu verbessern. Die Annahme einer Garantenstellung aus schlüssiger Übernahme einer Beistandspflicht ergibt sich daraus, dass der Zusammenschluss zu einem solchen Unternehmen gerade zum Zweck gegenseitiger Hilfe im Fall der Gefahr erfolgt. [30] Diese Konstellation und die sich daraus ergebende Garantenstellung ist bei Tauchpartnern stets gegeben [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]. Konsequenz der Verletzung von Pflichten aus der Garantenstellung ist die Strafbarkeit des Unterlassens der gebotenen oder erforderlichen Handlung.

In diesem Fall ergab sich die Garantenstellung des Tauchlehrers schon allein aus der Tatsache, dass er und der später Verunfallte den Tauchgang gemeinsam unternommen haben. Hinzu kommt, dass der später verunfallte Taucher den Rebreather des Tauchlehrers testen wollte, also vermutlich über wenig Erfahrung mit diesem spezifischen Gerät verfügte - im Gegensatz zum Tauchlehrer, dem offenbar bekannt war, dass der Verunfallte mit dem Gerät noch nicht gesichert umgehen konnte. Hieraus ergibt sich eine Garantenstellung des Tauchlehrers gegenüber dem später verunfallten Taucher, und zwar aus überlegenem Sachwissen. Zudem liegt die Verantwortung über die Funktionsfähigkeit unabhängig von einer wirtschaftlichen Gewinnabsicht beim Betreiber, Besitzer oder Veräußerer.

Die fachlich qualifizierte Untersuchung der Tauchausrüstung ist in einem solchen Fall aufgrund des vorliegenden Garantenverhältnisses, der naheliegenden Möglichkeit des Unterlassens der den Verunfallten schützenden Handlungen und des sich daraus ergebenden Anfangsverdachts eines Tötungsdeliktes durch Unterlassen grundsätzlich anzuordnen. Sie ist für nachfolgende Anwender von größtem Interesse, vor allem dann, wenn der Rebreather nicht nur vom Besitzer selbst in Benutzung ist, sondern eine weitere Leihgabe an wenig erfahrene Anwender nicht auszuschließen ist. Ein weiterer fataler Unfall könnte durch eine Geräteanalyse möglicherweise vermieden werden.

Auslöser
technisches Problem mit dem Rebreather (geräte- und/oder anwenderbedingt)
Schädigungsmechanismus
Hypoxie oder Hyperkapnie
Gesundheitliche Schädigung
Bewusstlosigkeit
Todesursache
Ertrinken

Tab. 25: Wahrscheinliches Unfallschema Fall 17

5. Entwicklung eines standardisierten Verfahrens bei Tauchunfällen

Die Untersuchung tödlicher Tauchunfälle sollte multi- und interdisziplinär erfolgen. Von allen beteiligten Instanzen ist größte Sorgfalt gefordert. Casadesús et al. betonen in ihrer Veröffentlichung zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle den hohen Stellenwert einer Kenntnis von pathophysiologischen und technischen Besonderheiten für die Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls [110]. Da das erforderliche Wissen nicht von einer einzelnen beteiligten Instanz zu erwarten ist, sollte ein regelmäßiger Informationsaustausch stattfinden.

5.1 Vorgehen vor Ort

Die ersten bedeutenden Untersuchungsschritte bei einem tödlichen Tauchunfall werden durch den polizeilichen Ermittler vor Ort durchgeführt. Zur Aufklärung eines tödlichen Tauchunfalls sind vielschichtige Informationen nötig, die für einen Tauchkundigen nicht unbedingt auf der Hand liegen. In der Literatur wird der Stellenwert einer genauen Anamnese betont, insbesondere in Bezug auf die medizinische Vorgeschichte, die Taucherfahrung, das Tauchprofil, Ereignisse unter Wasser, Art des Tauchplatzes, Wetterbedingungen, Wasserbedingungen, Tauchausrüstung und Substanzabusus. Ebenso wichtig sind Zeugenbefragungen zum Geschehen. [61, 109, 111, 112] Es empfiehlt sich, einen standardisierten Fragenkatalog abzuarbeiten, um das Geschehen möglichst exakt rekonstruieren zu können. Der Fragenkatalog sollte außer den angegebenen Punkten Fragen zum Vorgehen nach Eintreten des Problems sowie Angaben bezüglich Auffinden und Bergung des Verunfallten beinhalten.

Der Großteil an Informationen wird den Ermittlern durch die Tauchpartner, Ausbilder, Retter oder Zeugen vor Ort vermittelt. Es ist von hoher Bedeutung, die Zeugen und Tauchpartner unabhängig und in Abwesenheit weiterer Personen zu befragen. Bestehen Diskrepanzen zwischen Zeugenaussagen und anderen Ermittlungsergebnissen, sollten weitere Befragungen stattfinden und die Diskrepanzen möglichst genau aufgeklärt werden [112].

Trotz aller Notwendigkeit einer gründlichen und umfassenden Ermittlung vor Ort sollte eine schnellstmögliche Verbringung der Leiche in die Rechtsmedizin zur Sektion angestrebt werden. Deswegen ist es in der Regel empfehlenswert, die umfangreicheren Vernehmungen und Ermittlungen nach der kriminalistischen Befundaufnahme an der Leiche und möglichst verzugsloser Einleitung der Überführung des Verunfallten in die Rechtsmedizin fortzuführen. Die Ermittler vor Ort sollten allgemein für die besondere Bedeutung einer Sektion in jedem Fall eines tödlichen Tauchunfalls sensibilisiert sein, damit diese nicht durch postmortale Veränderungen, insbesondere Fäulnisprozesse oder Ausgasung von Inertgas, erschwert und dadurch der sichere Nachweis spezieller Tauchpathophysiologie verhindert wird. Zudem sollten die Abschlussberichte des Ermittlers an die Rechtsmedizin weitergeleitet werden, da die gesammelten Informationen für die abschließende Beurteilung nach Sektion erforderlich sind. Im Grundsatz sollte eine frühzeitige und kontinuierliche interdisziplinäre Interaktion zwischen den polizeilichen Ermittlern, dem technischen Gutachter sowie der Rechtsmedizin angestrebt werden. Zudem ist es ratsam, zeitnah tauchmedizinische Expertise hinzuzuziehen.

5.1.1 Allgemeine Anamnese

Die Erfassung der Daten umfasst die **allgemeinen Angaben** zur Person wie das Geburtsdatum, den Geburtsort, sowie Adresdaten, den Familienstand und Angaben zu Angehörigen.

Die **medizinische Vorgeschichte** mit dem Fokus auf kardiale Erkrankungen, Anfallsleiden, Diabetes, Asthma und COPD ist von bedeutendem Interesse [61 Kap. 50, 112]. Gleichwohl ist sie für den Ermittler vor Ort häufig schwer zu rekonstruieren. Die erste Evaluation basiert regelmäßig nur auf Angaben von Tauchpartnern und Angehörigen, wobei diese aus vielerlei Gründen nicht exakt oder unvollständig sein können.

Abgefragt werden sollte auch die Familienanamnese, welche besonders in Bezug auf Stoffwechsel- und Herz-Kreislaufkrankungen interessant ist. In den Fokus kommen diesbezüglich in den letzten Jahren auch immer mehr die oft erblich bedingten Ionenkanalerkrankungen.

Die Frage nach Komplikationen im Kindes- und Jugendalter kann in Bezug auf Herzerkrankungen eine Rolle spielen. Von Interesse sind stattgehabte medizinische Behandlungen, Operationen, Unfälle oder andere schwere Verletzungen, sowie alle Tauchunfälle und Tauchzwischenfälle in der Vergangenheit. Detailliert abgefragt werden sollten Beschwerden und Erkrankungen aller Organsysteme. Bezüglich des Kopfes, Gehirns und Nervensystems sind vor allem Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, Kopfschmerzen, Migräne, Synkopen, Tumoren und epileptische Anfälle in der Vorgeschichte abzuklären, ebenso psychiatrische Erkrankungen wie Angstreaktionen, Panikattacken und Depressionen. [16, 43] Casadesús et al. berichten über eine Häufung von Angststörungen und Depressionen in der Vorgeschichte bei den in eine Studie zu tödlichen Tauchunfällen eingeschlossenen Verstorbenen [110]. Einschränkungen des Sehvermögens können von Interesse sein. Von hoher tauchmedizinischer Relevanz sind Erkrankungen von Nase, Nasennebenhöhlen und Ohren. Vor allem Sinusitiden und Allergien, Epistaxis, Ohrinfektionen, Trommelfellrisse, Schwindel und Hörstörungen sind abzuklären. Auch Zahnprobleme können von Interesse sein. Erkrankungen der Atmungsorgane wie Asthma, chronische Bronchitis und COPD, sowie Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems wie Herzfehler, Herzmuskelentzündungen, Angina pectoris, Herzrhythmusstörungen, koronare Herzkrankheit, Hypertonie, Thrombosen und Embolien stehen ebenso im tauchmedizinischen Fokus. Gefragt werden sollte nach Erkrankungen der Nieren, Harnwege und Genitalorgane. Erkrankungen von Muskulatur und Skelettsystem können Schmerzen und Funktionsstörungen mit sich bringen und sind zu erfragen. Zuletzt können Stoffwechselerkrankungen eine Rolle spielen, insbesondere Diabetes und Schilddrüsenerkrankungen. Abgeklärt werden sollten Malignome, aktuelle Krankheiten oder Beschwerden, Allergien und bei Frauen mögliche Schwangerschaften. [1 Kap. 20-32, 16, 43]

Zur medizinischen Vorgeschichte gehört sehr prominent die genaue Substanzeanalyse [61 Kap. 50, 112]. Akuter oder chronischer Konsum von Alkohol, Nikotin und Drogen muss abgeklärt werden, insbesondere im engeren zeitlichen Zusammenhang mit dem Tauchunfall. Tauchgänge nach Alkoholkonsum kommen vor allem im Urlaubskontext immer wieder vor [109]. Zur Substanzeanamnese gehört die exakte Erhebung der Medikamentenanamnese [112]. Viele Medikamente sind

nicht kompatibel mit dem Tauchsport, entweder durch direkte Nebenwirkungen oder aufgrund der Grunderkrankung, welche medikamentös therapiert wird. Benzodiazepine und andere sedierende Medikamente können beispielsweise zu Bewusstseinsstörungen führen und den narkotischen Effekt von Stickstoff verstärken. [109] In Erfahrung gebracht werden sollte, wann die letzte ärztliche Vorstellung erfolgte, denn nicht selten wird jemand von den Angehörigen als „gesund und fit“ beschrieben, wurde aber, obwohl Risikofaktoren vorlagen, in den letzten Jahren nicht ärztlich vorstellig.

Die Frage nach einer bestehenden **Tauchtauglichkeit** ist von besonderer Bedeutung. Die Tauchausbildungsorganisationen verlangen aus Rechtsschutz- und Haftpflichtgründen von ihren Tauchausbildern und Tauchschulen grundsätzlich positive Tauchtauglichkeitszertifikate, die für diesen Zweck von jedem approbierten Arzt ausgestellt werden dürfen. Wie diese Dissertation verdeutlicht sollte eine Tauchtauglichkeit aufgrund des zur adäquaten Beurteilung notwendigen Fachwissens durch einen Taucherarzt nach den Kriterien einer Fachgesellschaft bescheinigt werden. Tauglichkeitszertifikate sollten in Deutschland und Österreich nur durch Mediziner ausgestellt werden, die den aktuellen Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.) oder der Österreichischen Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (ÖGTH) folgen oder durch die Gesellschaften nach entsprechenden curricularen, europaweit im Wesentlichen einheitlichen Fortbildungen als Taucherärzte zertifiziert sind. Es existieren jeweils online abrufbare Datenbanken mit den aktuell zertifizierten Ärzten. GTÜM und ÖGTH haben einen gemeinsamen Untersuchungsbogen und ein viersprachiges Zertifikat erstellt, welches von den zertifizierten Ärzten verwendet wird und auch von tauchmedizinisch untersuchenden, nicht zertifizierten Ärzten zur Vermeidung straf- oder zivilrechtlicher Ansprüche unbedingt verwendet werden sollte. [16]

Um Tauchunfällen beim in allen Altersklassen beliebten Sporttauchen vorzubeugen, werden durch die tauchmedizinischen Fachgesellschaften regelmäßige medizinische Kontrollen durch qualifizierte Ärzte empfohlen. Wer auf diesem Wege ein offizielles Tauchtauglichkeitszertifikat erhält, kann sichergehen, dass der erstellende Arzt auf Basis aktueller Forschungen qualifiziert aus- und weitergebildet wurde und seine Einschätzung auf den aktuellen Empfehlungen zum Thema Tauchtauglichkeit und einer umfassenden medizinischen Anamnese und Untersuchung basiert. Im Rahmen dieser Tauchtauglichkeitsuntersuchung erfolgt die körperliche Untersuchung mit Erfassung des Neurostatus und Evaluation der Psyche. Obligat sind eine Messung der Lungenfunktion mit Ruhe-Vitalkapazität (VC), forcierter Vitalkapazität (FVC), expiratorischer Sekundenkapazität (FEV1) und dem Quotienten aus FEV1/FVC sowie ein Ruhe-EKG. Eine ergometrische Ausbelastung ist fakultativ, aber dringend empfohlen. Ab dem 40. Lebensjahr ist die Ergometrie obligat. Fakultativ und symptomorientiert eingeleitet werden Röntgenuntersuchungen des Thorax, Echokardiographien, Blutentnahmen, Tympanometrien, Audiometrien und Sehtests. Dokumentiert werden auch tauchmedizinische Einschränkungen und oder Handicaps [16], diese dann sinnvoller Weise mit begleitender schriftlicher Befreiung des dokumentierenden Arztes von der diesbezüglichen Schweigepflicht.

Die Angaben zur medizinischen Vorgeschichte können bei der abschließenden Evaluation der während der Sektion gewonnenen Erkenntnisse und des Gesamtgeschehens von höchster Bedeutung sein [5, 6]. Eine Kontaktaufnahme mit

dem Hausarzt und/oder dem Taucherarzt, der das Zertifikat erstellt hat, ist zu empfehlen. Experten aus dem amerikanischen und australischen Raum weisen explizit auf die notwendige offene Kommunikation zwischen den eingeschalteten Instanzen hin [5, 6]. Einige davon schließen den Taucherarzt als Quelle für die tauchmedizinische Vorgeschichte ein [6]. In Deutschland ist es bisher eher unüblich, von Seiten der zuvor behandelnden oder begutachtenden Ärzte Informationen zu erhalten. Hier besteht zudem die ärztliche Schweigepflicht auch postmortal fort. Verstöße werden nach verschiedenen Rechtsnormen geahndet und können Straftaten darstellen. Jedoch besteht die postmortale ärztliche Schweigepflicht nicht unbegrenzt. In unterschiedlichen Fallkonstellationen sind Offenbarungsrechte und Offenbarungspflichten gegeben, die den Arzt in legitimer Weise zum Bruch der postmortalen ärztlichen Schweigepflicht berechtigen oder sogar verpflichten. [26] Ein solcher Rechtfertigungsgrund zum Bruch der postmortalen ärztlichen Schweigepflicht kann sich zunächst auch aus der mutmaßlichen Einwilligung des verstorbenen Patienten ergeben [26, 42].

Darüber, ob eine mutmaßliche Einwilligung der verstorbenen Person vorliegt, hat der Arzt eine Gewissensentscheidung zu treffen, in deren Rahmen er Erwägungen zugrunde zu legen hat, die den mutmaßlichen Interessen und Bedürfnissen des verstorbenen Patienten mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit entsprechen [38]. Gelangt der Arzt auf diese Weise zu einer mutmaßlichen Einwilligung des verstorbenen Patienten, bleibt für weitergehende Erwägungen kein Raum, der Arzt ist dann zur Offenbarung verpflichtet, durchaus auch gegen den eigenen Willen oder eigene Interessen.

Offenbarungspflichten sind zudem auf Bundes- und Länderebene vom Gesetzgeber mit dem Ziel, durch Auskunfts-, Melde- und Mitteilungspflichten öffentliche Belange durch einen Bruch der ärztlichen Schweigepflicht zu gewährleisten, geregelt, wie zum Beispiel auf dem Gebiet des Infektionsschutzes. Dies gilt auch für die Aufdeckung von Tötungsdelikten: In den Regelungen der Länder zum Friedhofs- und Bestattungswesen wird regelmäßig die Auskunftspflicht derjenigen, die eine verstorbene Person vor ihrem Tod behandelt haben, gegenüber dem Leichenschauarzt bestimmt. [39, 40, 41]

Tödliche Tauchunfälle sind nichtnatürliche Todesfälle, daher kann über die zuständige Staatsanwaltschaft ein Beschluss für die Beschlagnahmung der Krankenakte angeregt werden.

Wenn keine nach bereits beschriebenen Kriterien erstellte Tauchtauglichkeit vorliegt oder keine medizinischen Angaben über Ärzte angefordert werden können, sollte die medizinische Vorgeschichte über Angehörige möglichst genau rekonstruiert werden.



**Deutsche Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.
& Österreichische Gesellschaft f. Tauch- u. Hyperbarmedizin**

ÄRZTLICHES ZEUGNIS: TAUGLICHKEIT FÜR DAS SPORTTAUCHEN
CERTIFICAT MEDICAL: APTITUDE A LA PLONGEE SPORTIVE
CERTIFICADO MÉDICO: APTITUD PARA EL BUCEO DEPORTIVO
MEDICAL CERTIFICATE: FITNESS FOR RECREATIONAL SCUBA DIVING



NAME / NOM / NOMBRE

Obgenannte Person ist heute gemäss den Empfehlungen der GTÜM / ÖGTH für die Tauglichkeit zum Gerätetauchen untersucht worden. Aufgrund der Untersuchung liegen keine Hinweise auf Leiden vor, welche eine absolute Kontraindikation darstellen.

La personne susmentionnée a subi aujourd'hui un examen médical pratiqué selon les recommandations de la GTÜM / ÖGTH. Cet examen n'a pas mis en évidence de contre-indication absolue à la pratique de la plongée en scaphandre autonome.

Se ha practicado un examen de aptitud médica a la persona previamente indicada siguiendo las recomendaciones de la GTÜM / ÖGTH. En dicho examen no se ha constatado ninguna contraindicación absoluta para la práctica del buceo deportivo con escafandra autónoma.

This person has been examined following the fitness-to-dive-guidelines of the GTÜM / ÖGTH for recreational SCUBA diving. No medical condition considered to present an absolute contraindication to diving has been found.

EINSCHRÄNKUNGEN / LIMITATIONS / RESTRICCIONES

NACHUNTERSUCHUNG / EXAMEN ULTERIEUR / EXAMEN ULTERIOR / NEXT EXAMINATION

ORT / DATUM * LIEU / DATE * LUGAR / FECHA * PLACE / DATE

**ARZT * (UNTERSCHRIFT, STEMPEL) / MEDECIN (SIGNATURE, TIMBRE)
MÉDICO (FIRMA, SELLO) / PHYSICIAN (SIGNATURE, STAMP)**

*) Mit der Unterschrift bestätigt der untersuchende Arzt, dass die Tauchtauglichkeits-Untersuchung nach den Empfehlungen der GTÜM e.V. und der ÖGTH in der jeweils aktuellen Fassung durchgeführt wurde (Untersuchungs-Bogen mit Hinweisen unter www.gtuem.org u. www.oegth.at)

Ärztliches Attest zum GTÜM/ÖGTH-Untersuchungsbogen (Ausgabe 2013) © Copyright GTÜM/ÖGTH 2013

Abb. 40: Offizielles allgemein zugängliches Tauchtauglichkeitszertifikat der Fachgesellschaften GTÜM und ÖGTH [16].

Prominenter Klärungsbedarf betrifft alle Fragen zur **Tauchausbildung und Taucherfahrung** des Verstorbenen. Informationen zur Brevetierung und Gesamtzahl der bisherigen Tauchgänge können dem Untersucher helfen abzuschätzen, ob der stattgefunden Tauchgang dem Erfahrungsniveau des Verunfallten angemessen war oder ihn mangels Fertigkeiten vor besondere Herausforderungen gestellt hat [112]. Zunehmend in den Fokus rücken Sonderbrevetierungen, sogenannte „Specialties“ wie z. B. Tieftauchgänge, Wracktauchen, Tauchen mit speziellen Inertgasen wie Nitrox oder Trimix, Technisches Tauchen, Nutzung von Rebreather-Tauchgeräten sowie Eis- und Nachttauchen.

Trainingszustand und die Taucherfahrung sollten synoptisch verstanden werden können [5]. Die Gesamtzahl der Tauchgänge ist genauso zu erheben wie der Zeitpunkt des dem tödlichen Tauchgang vorangehenden Tauchgangs. Sowohl weit zurückliegende als auch kürzlich durchgeführte Tauchgänge können dabei von Interesse sein. Erstere können auf einen unzureichenden Trainingszustand hinweisen. Zeitlich eng zusammenliegende Tauchgänge erhöhen möglicherweise das Risiko für Tauchunfälle im Sinne von Dekompressionskrankheiten. Zudem spielt es eine Rolle, wie erfahren der Taucher in Bezug auf die spezielle Aktivität unter Wasser war, wie Tieftauchgänge oder Tauchen in Kaltwasser. Unerfahrenere Taucher und Tauchschüler neigen zu fehlerhafter Nutzung der Tauchausrüstung, Verwendung unpassender Ausrüstung, unbemerkter Beschädigung von Ausrüstungsteilen, Nichtbemerken von frühen Zeichen einer Fehlfunktion oder Problematik sowie inadäquater Reaktion auf Probleme [61 Kap. 50].

Es sollte nach früheren Komplikationen bei Tauchgängen und Tauchunfällen gefragt werden. Viele Probleme treten bei weiteren Tauchgängen unter ähnlichen Bedingungen erneut auf, beispielsweise Panikreaktionen, Schwindel, Barotraumata, Stickstoffnarkose, Sauerstoffintoxikation mit Krämpfen und Symptome eines Taucher-Lungenödems (SDPE). [61 Kap. 50]

Antworten auf diese üblichen Fragen sind sehr häufig im persönlichen Taucher-Logbuch zu finden, welches von beinahe allen Sporttauchern mit einem Tagebuchcharakter geführt wird und außer den erworbenen Brevets genaue Aufzeichnungen mit manchmal sehr persönlichen Bemerkungen zu den einzelnen Tauchgängen enthält. Auch regelmäßige Tauchpartner, Tauchcenter und Familienangehörige können bei der Anamnese helfen [61 Kap. 50]. Allgemein notiert werden Dauer, Verlauf und maximale Tiefe der Tauchgänge, Informationen zur Ausrüstung und Wassertemperatur, sowie Besonderheiten der Tauchgänge und immer wieder auch stattgehabte kritische Ereignisse unter Wasser, deren Schilderungen gelegentlich komplementär zu möglichen Ursachen des zu untersuchenden tödlichen Ereignisses sind.

Wenn der Unfall im Rahmen eines technischen Tauchgangs stattfand, übersteigen die dann erforderlichen Kenntnisse zu Tauchverfahren und Ausrüstung in der Regel selbst die gut geschulten Ermittler. Auch der Umfang der verschiedenen Brevetierungssysteme der unterschiedlichen Ausbildungssysteme ist für Laien nicht gleich offenliegend. Spezialisierte Fachberater sind dann unabdingbar. Die Kontaktaufnahme mit einem öffentlich bestellten und vereidigten sachverständigen Gutachter gerät rasch in den Mittelpunkt.

Im Gespräch mit Mittauchern und Angehörigen sollten **spezielle Fragen** zu kürzlich geänderten Lebensumständen geklärt werden, beispielsweise ob ein Leistungsknick bestand oder eine Änderung der Lebensumstände stattfand. Von zentralem Interesse ist die Klärung, ob der Verunfallte unter psychischem Stress gestanden hat und ob Hinweise auf Suizidalität bekannt waren. Suizidale Tauchgänge sind problematisch zu identifizieren. Typische verdächtige Faktoren sind Tauchgänge in sehr große Tiefen, zurückgebliebene auffällig drapierte Devotionalien und Erinnerungsstücke sowie nicht gebuchte Rückflugtickets bei Urlaubsreisen. Caruso gibt an, dass es einige sehr gut getarnte Suizide bei tödlichen Tauchunfällen gibt, da sich die Versicherungsleistungen für die Hinterbliebenen im Falle eines Suizides deutlich von denen bei einem Unfallereignis unterscheiden [111]. Auch besondere Charaktereigenschaften wie zum Beispiel Waghalsigkeit oder eine erhöhte Risikobereitschaft sind von Interesse.

Allgemeine Anamnese	Polizeilicher Ermittler
Allgemeine Daten des Verunfallten <ul style="list-style-type: none"> ○ Geburtsdatum/Ort ○ Adresse ○ Familienstand ○ Erreichbarkeit der Angehörigen 	
Medizinische Vorgeschichte: <ul style="list-style-type: none"> ○ Familienanamnese, Fokus: Herz-Kreislauf-, Stoffwechsel-, Ionenkanalerkrankungen ○ Komplikationen im Kindesalter ○ Stattgehabte Krankenhausbehandlungen, Operationen, Unfälle ○ Beschwerden/Erkrankungen von: Kopf, Gehirn, Nervensystem, Psyche, Augen, Nase, Nasennebenhöhlen, Ohren, Zähnen, Atmungsorganen, Herz-/Kreislaufsystem, Verdauungsorganen, Nieren, Harnwegen, Geschlechtsorganen, Knochen, Gelenken, Muskulatur, Haut, Stoffwechsel, ggf. Malignome ○ Aktuelle/stattgehabte fieberhafte Erkrankungen/Infektionen ○ Letzte ärztliche Behandlung, Art der medizinischen Vorstellung ○ Stattgehabte Synkopen ○ Allergien ○ Mögliche Schwangerschaft 	
Substanzanamnese, akut und chronisch <ul style="list-style-type: none"> ○ Alkohol ○ Nikotin ○ Drogen ○ Medikamente 	
Angaben zur Tauchtauglichkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Ärztliches Zertifikat ○ Datum und Gültigkeit des letzten Zertifikates ○ Tauchtauglichkeit zertifiziert durch welche Person/Gesellschaft ○ Tauchmedizinische Einschränkungen (Kinder, Jugendliche, Senioren, Tauchen mit Handicap) 	
Tauchausbildung/Taucherfahrung <ul style="list-style-type: none"> ○ Brevetierung ○ Specialties ○ Gesamtzahl Tauchgänge ○ Letzter Tauchgang ○ Ausbildung im technischen Tauchen ○ Frühere Komplikationen/Tauchunfälle 	
Spezielle Fragen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Leistungsknick ○ Auffällige Lebensumstände ○ Stress ○ Suizidalität ○ Besondere Charaktereigenschaften 	

Tab. 26: Übersicht Allgemeine Anamnese

5.1.2 Tauchgangsspezifische Befragung

Nach einem tödlichen Tauchunfall ist es von höchster Bedeutung, die Ereignisse unmittelbar vor dem Tauchgang, während des Tauchgangs und unmittelbar danach möglichst genau zu rekonstruieren. Der Ermittler ist dabei in der Regel auf Aussagen der Tauchpartner oder anderer Zeugen vor Ort angewiesen, wie zum Beispiel Mitarbeiter von Tauchschulen, Ersthelfer und Mitglieder des Bergungsteams. Erschwert werden kann die Rekonstruktion der Ereignisse durch bestehende Interessenskonflikte, Sorge, sich selbst zu belasten oder auch dadurch, dass Tauchpartner unter Schock stehen oder parallel zum Ereignis selbst verunfallt sind.

Während oder kurz vor den auslösenden Ereignissen kommt es unter Wasser häufig zu einer Trennung der Tauchpartner, so dass Augenzeugenberichte unvollständig sind oder ganz fehlen. Bei Solo-Tauchgängen ist eine Rekonstruktion der Ereignisse dementsprechend eine noch größere Herausforderung. [5]

Die tauchgangsspezifische Anamnese sollte mit den **Verhältnissen vor Ort** beginnen. Selbst auf den ersten Blick eher nebensächlich erscheinende Informationen zu Wetter, Luft- und Wassertemperatur können rasch Bedeutung erlangen [61 Kap. 50]. Kälte kann eine entscheidende Rolle in einer zu einem Tauchunfall führenden Kausalkette spielen, beispielsweise in Form einer Vereisung des Lungenautomaten mit konsekutiver „out of air“-Situation, die durch vermehrte Atemarbeit und konsekutiv erhöhten Verbrauch von Atemgas oder Verstärkung kardialer Ereignisse unter Kälte in Immersion getriggert wird. Ebenso kann es zu Beeinträchtigung der Feinmotorik durch Kälte kommen, insbesondere der beim Tauchen wichtigen manuellen Funktionen [61 Kap. 50]. Eingeschränkte Sichtverhältnisse können Ausgangspunkt einer fatalen Entwicklung sein, beispielsweise durch die Auslösung von Desorientierung oder Panik. Strömung, Brandung und Seekrankheit können ebenfalls eine einflussnehmende Rolle spielen [61 Kap. 50].

Bei der Befragung der Zeugen vor Ort kann spezifische Information zum **Befinden des Verunfallten und der Tauchpartner vor dem Tauchgang** besonders wegweisend für die Kausalkette sein [112]. Gezielt nachgefragt werden sollte hier nach Übermüdung, körperlicher Anstrengung, Seekrankheit, Anzeichen einer Erkrankung und Stressfaktoren sowie psychische Auffälligkeiten [61 Kap. 50]. Nicht selten spielen genannte Faktoren unter Wasser einzeln oder in Kombination eine entscheidende Rolle am Anfang einer fatal endenden Kausalkette. Alle Faktoren können einzeln oder additiv sowohl zu kognitiven als auch körperlichen Einschränkungen führen.

Geklärt werden sollte der Gebrauch toxischer Substanzen, im Wesentlichen Nikotin, Alkohol, Drogen und zentral und kardial wirkende Medikamente, da ein zeitlich im engeren Zusammenhang stehender Konsum selbsterklärenden Einfluss auf die Entwicklung fataler Geschehnisse haben kann [61 Kap. 50]. Vor allem zentral wirkende Medikamente mit sedierender, bewusstseinsverändernder oder pulmonaler und kardiotoxischer Wirkung können von Bedeutung sein.

Die Tauchprofile der letzten Tage vor dem Ereignistauchgang müssen in Bezug auf einen möglichen Dekompressionsunfall durch mögliche Vorbelastung durch Inertgase dokumentiert und analysiert werden, wobei immer auf elektronisch gesicherte Profile der Tauchcomputer zurückgegriffen werden muss, die heute in

aller Regel für jeden individuellen Taucher zur Verfügung stehen. Die Auswertung der Tauchprofile liegt im Zuständigkeitsbereich des hinzugezogenen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen.

Durch den polizeilichen Ermittler ist der **Ablauf des Tauchgangs am Ereignistag** möglichst exakt zu rekonstruieren. Als Quellen dienen die Zeugenaussagen der Tauchpartner, Ersthelfer, des Bergungsteams und weiterer Personen vor Ort. Diese müssen unbedingt abgeglichen werden mit den Tauchprofilen des Verunfallten und der Tauchpartner, um die gewonnenen Informationen zu ergänzen und/oder zu verifizieren.

Eine zentrale Frage im Rahmen der Rekonstruktion von Abläufen ist unter tauch- und rechtsmedizinischen Gesichtspunkten, wann und wodurch die zum Tode führende Ereigniskette begann. Zu erfragen sind hierzu alle Auffälligkeiten während des Abtauchens, auf Zieltiefe, während des Aufstiegs, an der Wasseroberfläche sowie danach an Land oder an Bord. Es ist unbedingt zu ermitteln, ob ein schneller Aufstieg oder Notaufstieg vorlag, da dies in Bezug auf die Abklärung einer Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie, Pneumothorax oder Mediastinalemphysem wegweisend sein kann [5].

Weitere bedeutende Hinweise ergeben sich aus der Information, ob vom Verunfallten oder seiner Tauchgruppe ein Tauchplan erstellt worden ist und davon mit welcher Begründung Abweichungen erfolgten. Abweichungen in Bezug auf Tauchtiefe, Route, Ziel oder Tätigkeiten unter Wasser können sich vor allem bei unerfahrenen Tauchern zu großen Stressoren entwickeln und Stress- und Panikreaktionen initiieren. Nicht ohne Grund gibt es unter Tauchern den Grundsatz: „Plan your dive and dive your plan“. Es sollte somit immer geklärt werden, welcher Art der jeweils geplante Tauchgang gewesen ist und welches Ziel die Tauchgruppe hatte.

Bei der Abklärung, welche Ausrüstung verwendet wurde, sind die Aussagen der Tauchpartner, Angehörigen und der Tauchschule vor Ort wertvolle Informationsquellen. Geklärt werden sollte stets, ob es sich um eine eigene Ausrüstung oder um Leihgerät handelte. Gegebenenfalls lässt sich hier differenzieren, wie vertraut der Verunfallte mit seiner Ausrüstung gewesen ist. Die Tauchpartner sollten zu möglichst genauer Rekonstruktion geleitet werden, welche Ausrüstungsteile verwendet wurden. Bei der späteren behördlichen Auflistung der Ausrüstungsteile ist dies hilfreich, um fehlende Teile zu identifizieren oder Diskrepanzen aufzudecken.

Im Rahmen der Vernehmung der Tauchpartner sollte geklärt werden, ob und mit welchem Ergebnis vor dem Tauchgang ein sogenannter „Buddy Check“ durchgeführt worden ist. Hierbei handelt es sich um einen gemeinsamen und gegenseitigen Vollständigkeits- und Funktionstest der Ausrüstung vor dem Abtauchen, welcher gemeingültig die unverzichtbare Voraussetzung für den Beginn eines gemeinsamen Abtauchens ist. Der Buddy Check ist Teil einer soliden Tauchgangsvorbereitung. Nebst Planung und Besprechung des anstehenden Tauchgangs kommt es zur Vorbereitung der Ausrüstung und gegenseitiger Überprüfung der Funktionalität. Die Kenntnis über den Zustand der Ausrüstung und den Atemgasvorrat des Tauchpartners ist dabei zusätzlich zur Kenntnis über den Zustand des eigenen Equipments von großer Relevanz. Obwohl die Wichtigkeit eines sorgfältigen Buddy Checks von der Basisausbildung an immer wieder betont wird, kommt es in der

Praxis immer wieder zu Situationen, in denen er unvollständig durchgeführt oder ausgelassen wird, etwa durch Zeit- oder Gruppendruck, Nachlässigkeit oder Ablenkung. Nicht selten wird der Buddy Check bei einem Wiederholungstauchgang am selben Tag ausgelassen. Dies kann besonders problematisch sein, wenn zwischen den Tauchgängen vergessen wird, die Tauchflasche zu wechseln oder den Atemkalk bei Rebreathern zu erneuern. Beim zweiten Tauchgang kommt es dann zu einer frühen „low on air“ oder „out of air“-Situation, vor allem, wenn nicht nur der Buddy Check ausgelassen wurde, sondern auch nicht auf das Finimeter geachtet wird. Diese vermeidbare, nicht selten zu einem fatalen Ende führende Situation kommt immerhin so häufig vor, dass sie regelmäßig in Rubriken zur Fehleranalyse in gängigen Tauchmagazinen Erwähnung findet („Aus Fehlern lernen“). In einigen in dieser Dissertation behandelten Fällen können vermeintlich unerklärliche frühe „out of air“-Situationen gegebenenfalls durch eine solche Kausalkette Erklärung finden. Die Frage nach dem Buddy Check hat somit prominenten Stellenwert bei der Befragung der Tauchpartner.

Erfasst werden sollten Ort und Zeitpunkt der Flaschenfüllung, sowie wie viel und welches Atemgas verwendet wurde. Gegebenenfalls ist dies gerade im Bereich des technischen Tauchens für mehrere Flaschen mit verschiedenen Füllungen eine entscheidende Information.

Es sollte immer eine genaue Befragung zur Tauchgruppe erfolgen, sofern es sich nicht um einen Solo-Tauchgang handelte. Die Anzahl der teilnehmenden Taucher der Tauchgruppe ist abzuklären, ebenso wie der jeweilige individuelle Ausbildungsstand und die Erfahrung der Gruppenmitglieder und ob die Gruppe als „Buddy Team“ oder Tauchgruppe eingespielt war. Das Verhältnis der Gruppenmitglieder zueinander kann von Relevanz sein, ebenso, wer die Führungsposition einnahm. Bei Ausbildungstauchgängen sollte das Verhältnis von Ausbildern zu Schülern abgeklärt werden, da die Maximalzahl der Schüler pro Ausbilder auf Basis dessen Brevetierung und der Art des Tauchgangs eindeutigen Standards unterliegt.

Gegenstand der Klärung muss ebenfalls sein, ob der Tauchplatz dem Verunfallten bekannt war oder ob dort erstmalig ein Tauchgang vor Ort durchgeführt wurde. Zudem sollten allgemeine Eigenschaften des Tauchplatzes mit bekannten Gefahren festgestellt werden, beispielsweise ob besondere Herausforderungen in Bezug auf die Tiefe, die Sicht oder etwa Strömungen bestehen oder ob Gefahren durch Verfangen oder Einschluss gegeben sind, etwa durch Leinen, Netze, Wasserpflanzen oder Höhlen. [61 Kap. 50] Der Transportweg zum Tauchplatz kann insofern von Interesse sein, als dass längere Fußwege im Tauchanzug mitsamt dem schweren Equipment schon vor dem Tauchgang zu einer erheblichen körperlichen Belastung und/oder bei warmer Umgebungstemperatur zur Überhitzung führen können. Zu klären ist deshalb, ob der Verunfallte mit einem Fahrzeug zum Tauchplatz gelangt ist, oder ob ein längerer Fußweg nötig war. In speziellen Fällen, in denen der Verunfallte erst nach einiger Zeit über Wasser zu Tode kam, kann es von Interesse sein, ob und welche Notfallausrüstung am Unfallort zur Verfügung stand und ob und wie es angewendet wurde.

Bei der Rekonstruktion des Tauchgangs sollte schrittweise nach Problemen und Besonderheiten gefragt werden, sowohl beim Einstieg ins Wasser, beim Abtauchen, dem weiteren Verlauf des Tauchgangs und beim Aufstieg sowie dem Verlauf an der

Wasseroberfläche und hiernach an Land oder auf der Plattform. Es sollten Faktoren wie die maximale Tiefe, Dauer des Tauchgangs, die Sicht unter Wasser und Strömungsverhältnisse abgeklärt werden. Etwaige Druckausgleichsprobleme sollten abgefragt werden. Explizit sollte über einen schnellen oder unkontrollierten Aufstieg gesprochen werden und aus welcher Tiefe dieser durchgeführt wurde [112]. Zudem sollte nach Panikreaktionen gefragt werden. Bei der Entstehung schwerer und fataler Tauchunfälle sind häufig Panik und Notaufstiege beteiligt [61 Kap. 50]. Panik hat einen großen Stellenwert in der Kausalkette vieler tödlicher Tauchunfälle. Häufig verschärft sich eine kritische Situation durch die Abfolge eines physischen oder mentalen Stresses, Hyperventilation, Angst und schließlich Panik. [110] Immer wieder endet eine kritische aber nicht unlösbare Situation durch diese Abfolge fatal. Ebenso sollte nach körperlicher Anstrengung gefragt werden, beispielsweise durch Strömung oder bei Tarierungsproblemen. Körperliche Arbeit kann eine Rolle bei der Entwicklung eines fatalen Ablaufs spielen, da sie zu einem erhöhten Atemgasverbrauch führt. Die erhöhte Atemarbeit an sich kann bereits zu einem Gefühl von Atemnot und Erschöpfung führen. Das Atmen komprimierter Atemgase in der Tiefe mit erhöhtem Atemwiderstand verstärkt den Effekt. Die Folge können Erschöpfung bis zur Panik sein. Beide Faktoren spielen häufig eine große Rolle in der Ereigniskette. [61 Kap. 50] Explizit gefragt werden sollte nach Desorientierung und inadäquatem Verhalten, Abblasen von Luft aus dem Lungenautomaten oder Hinweise auf eine „out of air“-Situation. Die Position von Lungenautomat und Maske beim Verunfallten kann von Bedeutung sein und sollte ermittelt werden, da es im Rahmen von Panikreaktionen bei Luftmangel häufig zum Heraus- bzw. Abziehen von Mundstück und Maske kommt.

Bezüglich des auslösenden Ereignisses und der Ereigniskette sollte eruiert werden, welche Tauchtiefe zum Zeitpunkt des Ereignisses vorlag und was dort genau geschah. Für die Rekonstruktion ist es von Bedeutung, ob die Tauchpartner das auslösende Ereignis direkt beobachtet haben und wie weit sie dabei entfernt waren, oder ob der Verunfallte zuvor außer Sicht geraten ist. Von den Tauchpartnern ergriffene Maßnahmen müssen möglichst genau aufgenommen werden. Im Falle eines Verlustes des Verunfallten vor dem Ereignis sollte festgestellt werden, ab wann und wo der Verunfallte vermisst wurde. Häufig ereignet sich ein fatales Ereignis kurz nach Verlust des Tauchpartners [61 Kap. 51].

Bei Ereignissen, die sich erst beim Auftauchen oder nach dem Tauchgang manifestierten, sind Faktoren wie die Aufstiegsgeschwindigkeit, Anzahl und Dauer der Sicherheitsstopps, Restdruck des Atemgases und der weitere Verlauf an der Wasseroberfläche zu erfassen. Bezüglich des Ausstiegs ist wiederum von Interesse, ob dieser mit stärkerer körperlicher Anstrengung verbunden war und ob es zu Komplikationen kam. Bei einem zeitversetzten Ereignis an Land/auf der Plattform ist das Verhalten des Verunfallten und das Zeitfenster bis zum Problem abzuklären.

Tauchgangsspezifische Befragung	Polizeilicher Ermittler
Angaben zu den Verhältnissen vor Ort <ul style="list-style-type: none"> ○ Wetterbedingungen ○ Wassertemperatur ○ Sicht unter Wasser 	

Tab. 27: Tauchgangsspezifische Befragung

Tauchgangsspezifische Befragung	Polizeilicher Ermittler
<p>Befinden des Verunfallten und der Tauchpartner vor dem Tauchgang mit besonderem Augenmerk auf folgende Faktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Übermüdung ○ Körperliche Anstrengung ○ Stress ○ Psychische Auffälligkeiten ○ Genuss toxischer Substanzen? (Alkohol, Drogen, Medikamente) ○ Tauchprofile der letzten 36 Stunden 	
<p>Ablauf des Tauchgangs am Ereignistag (Befragung der Tauchpartner, möglichst genaue Rekonstruktion der Tauchprofile des Verunfallten und der Tauchpartner)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Zentral: Beginn der Probleme, Besonderheiten während des Abtauchens, auf dem Grund, während des Aufstiegs, über Wasser, Vorliegen eines schnellen Aufstiegs ○ Art und Ziel des Tauchgangs/Tauchplan ○ Abweichung vom Tauchplan ○ Verwendete Ausrüstung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leih-ausrüstung/eigene Ausrüstung? ▪ Auflistung der Ausrüstungsteile (siehe Tabelle 29 „Checkliste Tauchausrüstung“) ▪ Angaben zum Buddy Check und Funktionstests vor dem Tauchgang ▪ Ort der Flaschenfüllung ▪ Menge/Art des Atemgases ○ Angaben zur Tauchgruppe <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solotauchgang? ▪ Anzahl Personen der Tauchgruppe ▪ Ausbildungsstand/Erfahrung der Gruppenmitglieder ▪ Als Buddy Team/Tauchgruppe eingespielt? ▪ ggf. Verhältnis Ausbilder/Schüler ○ Tauchplatz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tauchplatz neu/bekannt ▪ Allgemein bekannte Gefahren des Tauchplatzes <ul style="list-style-type: none"> • Tiefe/Strömung/Sicht ▪ Transport zum Tauchplatz <ul style="list-style-type: none"> • Boot/Auto/zu Fuß ▪ Notfallequipment vor Ort ○ Einstieg ins Wasser <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probleme, besondere Gefahren ○ Abtauchen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probleme ▪ Druckausgleich ○ Verlauf des Tauchgangs <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maximale Tiefe, Sicht, Strömung ▪ Tauchtiefe bei Ereignis 	

Tab. 27: Tauchgangsspezifische Befragung (Fortsetzung)

Tauchgangsspezifische Befragung	Polizeilicher Ermittler
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bei Ereignis unter Wasser: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Genaue Abfolge von Ereignissen ▪ Entfernung der Tauchpartner zum Geschehen ▪ Ergriffene Maßnahmen ▪ Bei Verlust des Verunfallten: Ort und Zeit der letzten Sichtung ▪ Spezielle Nachfrage nach Notaufstiegen, Panikreaktionen, Desorientierung und inadäquatem Verhalten, Abblasen von Luft aus dem Lungenautomaten oder „out of air“-Situationen, Position von Lungenautomat und Maske ○ Aufstieg <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufstiegs geschwindigkeit, Sicherheitsstopps, Flaschendruck ▪ ggf. unkontrollierter Aufstieg/ Notaufstieg ○ Verlauf an der Wasseroberfläche ○ Dauer des Tauchgangs ○ Ausstieg <ul style="list-style-type: none"> ▪ Boot/ Land/Plattform/Komplikationen/Hindernisse ○ Bei zeitversetztem Ereignis an Land: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten/Zeitfenster bis zum Problem 	

Tab. 27: Tauchgangsspezifische Befragung (Fortsetzung)

5.1.3 Befragung zu Bergungs- und Rettungsmaßnahmen

Es sollten detaillierte Informationen in Bezug auf die Auffindesituation des Verunfallten, die Bergung sowie den Umgang mit der Leiche und der Tauchausrüstung und Rettungsmaßnahmen erhoben werden [61 Kap. 51]. Diese Informationen können von hoher Wichtigkeit zur Rekonstruktion des Geschehens sein, ebenso für die Beurteilung von Artefakten in der rechtsmedizinischen Untersuchung und technischen Analyse [61 Kap 50].

Nach der Bergung eines verunfallten Tauchers sollte das Bergungsteam genauestens zum Bergungsvorgang befragt werden. Häufig handelt es sich dabei um Rettungs- oder Polizeitaucher, die gut ausgebildet sind und zahlreiche relevante Informationen beisteuern können [61 Kap 51]. Wird ein Verunfallter unter Wasser gefunden und steht eindeutig fest, dass Wiederbelebungsmaßnahmen ohne Erfolg sein werden, beispielsweise aufgrund des zeitlichen Intervalls zum Unfall, sollte eine Analyse vor Ort und im Idealfall auch eine Fotodokumentation erfolgen. Im Falle einer professionellen Bergung ist dies meistens gegeben. Die Informationen sollten durch den Ermittler dokumentiert werden. Besonders der Fundort mit Tiefenangabe und die Position des Körpers müssen festgehalten werden. Ein Umlagern einer frischen Leiche im Rahmen des Bergungsprozesses unter Wasser kann zur Verlagerung von Leichenflecken von der aufliegenden Seite führen [17 S. 415]. Von Interesse ist somit die Lage des Körpers vor Bergung, welche dokumentiert und idealerweise vom Bergungsteam unter Wasser fotografiert werden sollte. Bei unbedeckten Wasserleichen kommt es in der Regel zu einer typischen Treibhaltung in Bauchlage mit Tieflage von Kopf und Handrücken, Kniegelenken und Fußrücken [10 S. 157]. Aufgrund der meist auf dem Rücken befindlichen schweren Ausrüstungsteile wie Tauchflaschen und Gewichtssystemen kommt es bei Gerätetauchern hingegen eher zu einer Rückenlage. Durch die Dokumentation der

Auffindeposition/Treibhaltung können etwaige Schürfverletzungen gegenüber anderen Traumata leichter abgegrenzt werden [61 Kap 51]. Dokumentiert werden sollten auch der Zustand und die Vollständigkeit der Ausrüstung, ob das Gewichtssystem abgeworfen wurde und ob sich der Lungenautomat im Mund und die Maske in adäquater Position befanden [61 Kap 51]. Letztere Informationen können bei der Rekonstruktion des Geschehens enorm hilfreich sein. Nicht in Position befindliche Lungenautomaten und Masken können Hinweise auf eine stattgehabte Panikreaktion, beispielsweise im Rahmen einer „out of air“ Situation sein. Fehlende, weil abgesprengte Bajonetthandschuhsysteme und von den Fußteilen gerissene Flossen können bei Trockentauchanzügen Hinweise für unfreiwillige Notaufstiege geben.

Der Bergungsvorgang sollte möglichst genau rekonstruiert werden. Je nach Erfahrung und Routine des Bergungsteams wird vor der Bergung auf den Zustand der Flaschenventile geachtet. Gerade der Öffnungszustand dieser Ventile kann zur Rekonstruktion von großer Bedeutung sein. Da es an diesen im Rahmen von Rettungs- oder Bergungsaktionen zu Manipulationen kommen kann, sollte der ursprüngliche Zustand retrospektiv soweit möglich dokumentiert werden. Generell sollten sämtliche für die Bergung notwendigen Veränderungen am Körper oder an der Ausrüstung erfasst werden, so etwa ein Ent- oder Belüften der Auftriebskörper oder ein Abwurf von Gewichtssystemen. Auch verwendete Hilfsmittel wie Bergungssäcke sollten erfragt werden. Die Bergungsprozesse können von Bedeutung sein, da ein schneller Aufstieg vor allem nach längerer Liegezeit im Rahmen der Bergung zu Dekompressionsartefakten führt und die Beurteilung von Gasansammlungen bei der Sektion erschweren kann [61 Kap. 51].

Wird ein Verunfallter direkt nach dem Ereignis oder kurz nach dem Verlust der Tauchgruppe wiedergefunden und geborgen, bleibt für die oben beschriebenen Beobachtungen in der Regel keine Zeit, zumal die Bergenden diesbezüglich häufig nicht geschult sind. Dennoch sollte gezielt nach den genannten Punkten gefragt werden.

Das Zeitintervall bis zum Auffinden und/oder für die Bergung des Verunfallten hat ebenfalls Konsequenzen für die Beurteilung der Sektionsergebnisse. Vor allem, wenn der Verunfallte erst zeitlich verzögert geborgen werden kann, werden einsetzende Fäulnisprozesse die Beurteilung von pathophysiologischen durch Tauchexposition bedingten Gasansammlungen im Körper überlagern und somit erschweren. Die zumeist niedrigen Umgebungstemperaturen unter Wasser mögen diesen Prozess einerseits zwar verlangsamen, jedoch kann es durch die isolierende Wirkung des Tauchanzugs trotz Kühlung des Körpers durch niedrige Umgebungstemperaturen zu frühen Fäulnisprozessen kommen [6]. Die Tiefe und Dauer des Tauchgangs und somit die hyperbare Exposition korrelieren zudem mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von postmortalen Dekompressionsartefakten, womit Inertgas-Ausgasungen aus den Geweben angesprochen sind, die umso deutlicher ausfallen, je tiefer und je länger die Leiche auf Grund gelegen hat [7].

Zu klären ist in jedem Fall, ob und in welchem Umfang die Ausrüstung sichergestellt wurde. Sie ist durch den polizeilichen Ermittler zu beschlagnahmen und im weiteren Verlauf zu dokumentieren.

Wenn es noch an der Wasseroberfläche oder an Land vor Ableben oder post mortem zu Erste-Hilfe Maßnahmen oder Wiederbelebungsversuchen gekommen ist, sind diese genau zu erfragen und zu dokumentieren [112]. Diverse invasive Maßnahmen können zu Artefakten führen, die später im Rahmen einer Sektion missverständlich zu deuten sein können. Intravenöse oder arterielle Zugänge können zu lokalen intravasalen Gasansammlungen führen [7]. Wiederbelebungsversuche mit endotrachealer Intubation und positiven Ventilationsdrücken können zu intrakardialen Nachweis von Gas führen [6]. Eine Herzdruckmassage kann zu Traumata wie Rippenfrakturen und Hämatomen führen. Ebenso kann sie mit dem Auftreten von Weichteilemphysemen einhergehen [7]. Die Applikation von normobarem Sauerstoff kann hingegen im Rahmen einer Herzlungenwiederbelebung selbst postmortal zu einer Verringerung von intravasalen Gasansammlungen führen [7]. Dies gilt noch viel mehr für eine hyperbare Sauerstofftherapie. Sämtliche im Rahmen eines Wiederbelebungsversuchs durchgeführte Veränderungen an der Leiche und Ausrüstung müssen somit dokumentiert werden. Das Dokument sollte der Rechtsmedizin zur Verfügung gestellt werden.

Befragung/Angaben bzgl. Bergung	Polizeilicher Ermittler
Bergung des Tauchers (Befragung der Bergenden/des Bergungsteams) <ul style="list-style-type: none"> ○ Zeit bis zum Auffinden ○ Zeit bis zur Bergung ○ Fundort ○ Position bei Auffinden ○ Anwesenheit/Abwesenheit der Bleigewichte ○ Position von Lungenautomat/Oktopus ○ Art der Bergung? (Beteiligte/Durchführung) ○ Fehlende Ausrüstungsteile ○ Position der Flaschenventil(e) unter Wasser ○ Veränderungen am Verunfallten/der Ausrüstung bei Bergung 	
Geborgener Taucher (Anamnese aller Ersthelfer) <ul style="list-style-type: none"> ○ Art der Erste Hilfe-Maßnahmen vor Ort ○ Zeitpunkt der Alarmierung des Rettungsdienstes ○ Maßnahmen des Rettungsdienstes ○ Rekompresseion/hyperbare Sauerstofftherapie in einer Druckkammer ○ Veränderungen an der Ausrüstung bei Wiederbelebungsversuch 	

Tab. 28: Befragung/Angaben bzgl. Bergung

5.1.4 Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort mit Leichenschau und Dokumentation der Ausrüstung

Die kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche durch die polizeilichen Ermittler ist zur Gewinnung eines ersten Überblickes unerlässlich und dient der Dokumentation [9 S. 213]. Zudem kann eine erste Orientierung Verdachtsmomente aufzeigen, ob es sich um einen bedenklichen Todesfall oder gar um ein offensichtliches Fremdverschulden handelt. Es sollten eingangs die ausführliche schriftliche Dokumentation und Fotodokumentation des Fundortes der Leiche und der Auffindesituation erfolgen. Letztere beinhaltet auch ggf. belassene Ausrüstung

und belassene medizinische Hilfsmittel invasiver Maßnahmen, die im Rahmen von Wiederbelebungsversuchen durchgeführt wurden. Hierzu zählen Notfallzugänge und Materialien zur Sicherung der Atemwege. Im weiteren Verlauf sollten die polizeiliche Leichenschau und die genaue Dokumentation der Tauchausrüstung einschließlich ihres Zustands stattfinden.

Die polizeiliche Leichenschau umfasst die Beschreibung von Position und Zustand der Arme und Beine, die Dokumentation von Verletzungen, eine Beschreibung von Kopf und Haaren, insbesondere der Augen, sowie eine Beschreibung des Halses. Dokumentiert werden soll zudem der Zustand der Leiche, beispielsweise, ob Totenflecke, Fäulniszeichen, Mumifizierung oder Verletzungen vorliegen, sowie ob Blutanhaftungen zu sehen sind [9 S. 213-216]. Es sollten fotografische Übersichts- und Detailaufnahmen von auffälligen Befunden gemacht werden.

Die Besonderheiten bei der kriminalistischen Befundaufnahme an einem tödlich verunfallten Taucher entsprechen weitgehend denen, die weiter folgend im Abschnitt zur externen Besichtigung im Rahmen der Sektion erläutert werden (siehe Kapitel 5.4.3). Die häufigsten Veränderungen, die bei tödlichen Tauchunfällen im Rahmen einer externen Begutachtung zu finden sind, werden im Folgenden skizziert.

Von besonderer Bedeutung sind Zeichen von Barotraumata in Form von konjunktivalen Blutungen und Kompressionsmarken im Bereich der Maske [6]. Da auch Barotraumata der Mittelohren und Nasennebenhöhlen auftreten, ist auf blutig tingierten Sekretaustritt aus Nase und Mund, bei Trommelfellriss gegebenenfalls auch aus den Ohren, zu achten.

Geradezu typisch bei einem Ertrinkungstod und somit bei vielen tödlichen Tauchunfällen ist ein weißlicher, teilweise blutig tingierter, aus Nase und Mund austretender Schaumpilz [6, 10]. Dieser kann gegenüber Schaumentwicklung kardialer Genese viel erheblicher sein und ist von feinblasiger haltbarer Konsistenz [6]. Eine genaue Fotodokumentation des Ursprungszustandes des Schaumpilzes kann für die rechtsmedizinische Beurteilung sehr hilfreich sein. Häufig zeigen sich durch Barotraumata im HNO-Bereich (Nasennebenhöhlen, Ohren) bedingte blutig tingierte Abrinnsuren aus den Nasenostien und Mundwinkeln.

Lippen und die Zunge können nach Krampfanfall in Asphyxie Bissspuren zeigen [6]. Die Haut an den Händen aus dem Wasser geborgener tödlich verunfallter Taucher kann je nach Wassertemperatur und Wasserliegezeit die sogenannte durch Quellung und Runzelung entstandene „Waschhaut“ aufweisen [10, S. 157, 127, 128].

Hals und Oberkörper können nach einem pulmonalen Barotrauma ein subkutanes Emphysem in Form einer wegdrückbaren Schwellung mit Krepitationen aufweisen, was dokumentiert werden sollte [61 Kap. 50].

Von besonderem Interesse sind auf ein Unfallgeschehen hinweisende Traumata sowie Zeichen einer Fremdeinwirkung.

Die an der Leiche verbliebenen Ausrüstungsteile sind nach sorgfältiger Dokumentation des Ursprungszustands im Rahmen der kriminalistischen Befundaufnahme mit größter Vorsicht maximal schad- und veränderungslos zu entfernen, um sie im weiteren Verlauf im Originalstatus einem polizeilich bestimmten

Gutachter zuführen zu können. Die Ausrüstung ist dabei auf Vollständigkeit zu prüfen [61 Kap. 50]. Hersteller und Typenbezeichnungen sind zu dokumentieren. Einen Überblick über verwendete Ausrüstungsteile gibt die Tabelle 29 „Checkliste Tauchausrüstung“, welche den Ermittler zu einer sorgfältigen und umfassenden Vollständigkeitsprüfung der gesamten Ausrüstung anleiten soll. Hilfreich bei der Prüfung auf Vollständigkeit können Angaben der Tauchpartner sein. Die mitgeführte Ausrüstung variiert je nach Art des Tauchgangs. Bei Schnorchlern und Apnoe-Tauchern beschränkt sich die Ausrüstung häufig auf Flossen, Maske und Schnorchel sowie ein Gewichtssystem. Sporttaucher im Sinne von Gerätetauchern mit Pressluft oder Nitrox verwenden zudem einen Auftriebskörper der meist zeitgleich als Befestigung für die Tauchflasche dient. Die Versorgung mit Pressluft oder Mischgas wird über den Atemregler gewährleistet. Als Hilfsmittel werden in der Regel ein Zeit- und Tiefenmesser oder ein Tauchcomputer mitgeführt sowie je nach Art des Tauchgangs weitere Hilfsmittel wie Lampen oder zusätzliche Auftriebskörper wie Lufthebesäcke. Technische Taucher verwenden eine bisweilen deutlich komplexere Ausrüstung und führen mehrere Flaschen mit verschiedenen (Misch)gasen mit sich, sowie die dazugehörigen Atemregler. Einige Taucher nutzen beim technischen Tauchen ein Kreislaufgerät (Rebreather).

Flossen und Schnorchel sind selbst für Laien auf dem Gebiet des Tauchens trotz variierender Formen und Innovationen in der Regel noch selbsterklärend. Tauchermasken kommen sowohl in Form klassischer Masken mit integriertem Nasenerker zum Einsatz wie auch als Vollgesichtsmasken.

Standardauftriebskörper sind hauptsächlich klassische Tarierwesten sowie sogenannte Wing-Jackets. Hierbei befindet sich der Auftriebskörper ausschließlich auf dem Rücken seitlich der Flasche(n). Letztere ist/sind dabei auf einer Rückenplatte („Backplate“) befestigt [1 Kap. 5]. In Bezug auf alle Auftriebskörper ist strengstens zu beachten, dass der Füllungszustand nach Bergung fotodokumentiert werden sollte, beispielsweise ob ein Jacket be- oder entlüftet ist.

Der Atemregler ermöglicht das Atmen eines unter Druck stehenden Atemgases unter Wasser. Dazu wird das Atemgas aus der Druckgasflasche durch den Atemregler auf den in der Umgebung herrschenden Druck reduziert. Zum besseren Verständnis wird an dieser Stelle die Nomenklatur gemäß der Norm DIN EN 250 beschrieben. Der Atemregler besteht aus einer 1. und einer 2. Stufe. Bei der 1. Stufe handelt es sich um einen Druckminderer, der je nach Bauart der Flasche den bis zu 300 bar betragenden Flaschendruck auf einen Mitteldruck von herstellerabhängig 9-12 bar reduziert. Die zweite Stufe, auch als Lungenautomat bezeichnet, ist ein Niederdruckminderer mit Mundstück, der den Mitteldruck auf den Umgebungsdruck in der jeweiligen Wassertiefe einregelt. An der ersten Stufe befinden sich häufig ein Finimeter, ein Druckanzeigergerät für den verbleibenden Flaschendruck, sowie eine zusätzliche zweite Stufe, das Notfall-Atemsystem. In Taucherkreisen wird dieses auch als „Oktopus“ bezeichnet. [1 Kap. 5, 54] Je nach geplantem Tauchgang kann es sein, dass an der Flasche ein kompletter zweiter Atemregler angebracht ist. Vor allem bei Tauchgängen in kalten Gewässern wird aufgrund der Gefahr einer Vereisung der ersten Stufe oft ein zweiter kompletter Atemregler mitsamt 1. Stufe, 2. Stufe und Oktopus, sowie einem getrennt verschließbarem Flaschenventil verwendet. Im Hemmoorsee ist dies seit 30 Jahren verbrieftete Vorgabe der Betreiber, die auch stichprobenartig kontrolliert wird. Beide Regler sind als kaltwassertauglich

mitzuführen [11, 27]. Bei zwei kompletten Atemreglern spricht man vom Haupt- und Zweitatemregler.

Tauchflaschen bestehen meist aus Stahl oder Aluminium. Es sind auch Kompositflaschen auf dem Markt erhältlich. Tauchflaschen sind mit Mono- oder Doppelventil und in verschiedenen Größen erhältlich. Sporttaucher tauchen meist mit einer Einzel- oder Doppelflasche. Beim technischen Tauchen kommen mehrere Flaschen unterschiedlicher Größe mit verschiedenen Atemgasgemischen zum Einsatz, zunehmend nicht mehr auf dem Rücken, sondern „side-mounted“, also seitlich angebracht. Zudem kommt aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit häufig Argon als spezielles Isolationsgas zwischen Haut und Trockentauchanzug zum Einsatz. Die eingestanzte Seriennummer der Flasche sowie die letzte/nächste „wiederkehrende Prüfung“ (TÜV) sollten dokumentiert werden, ebenso der Ort der letzten Befüllung, falls diesbezüglich weitere Untersuchungen erfolgen müssen.

Eine Besonderheit in Bezug auf die Atemgasversorgung stellen Kreislaufgeräte, die genannten Rebreather, dar. In diese Geräte sind herstellerabhängig Gasflaschen, Atemregler und Tariersystem integriert. Das Atemgas wird im Kreis geleitet; Kohlenstoffdioxid wird chemisch gebunden und der verbrauchte Sauerstoff ersetzt. Zudem führen Rebreather-Taucher zu ihrem Kreislaufgerät noch ein sogenanntes „Bailout“-System mit. Hierbei handelt es sich um eine Notfallflasche mit einem Atemgas, das tauchphysiologisch immer für einen schadlosen Notaufstieg eingesetzt werden kann, sowie um einen Atemregler für den Fall einer Dysfunktion des Kreislaufgerätes. In manchen Modellen ist das Bailout-System integriert.

Tauchanzüge sind in Form von Nasstauchanzügen, Halbtrockentauchanzügen und Trockentauchanzügen erhältlich. Nasstauchanzüge sind die klassischen Neoprenanzüge, bei der die isolierende Wirkung durch eine begrenzt lang wirksame thermische Schutzschicht erzeugt wird. Bei Halbtrockenanzügen wird die Minimierung des Wasseraustausches durch enganliegende Manschetten an den Extremitäten und Hals verstärkt. Trockentauchanzüge halten hingegen das Wasser vom Körper fern und nutzen die eingeschlossene Luft oder ein anderes Gas als Isolierungsmaterial. Sie verfügen über Ein- und Auslassventil, da die Luft im Anzug komprimierbar ist und das Volumen im Anzug durch Gaszufuhr oder Auslassen von Gas zur Tariierung verwendet werden kann. Vor allem beim technischen Tauchen werden Trockentauchanzüge aus Trilaminat verwendet, da ihr Gewebe im Gegensatz zu Neoprenanzügen nicht der Kompression unterliegt. Neoprenanzüge verlieren durch die Komprimierung der das Gewebe bestimmenden Stickstoffbläschen exponentiell Auftrieb und ebenso die Isolierung gegenüber Kälte. Unter Trockentauchanzügen wird zur zusätzlichen Isolierung gerne ein Unterzieh-/Abstandsmaterial getragen [1, Kap. 5], neuerdings auch batteriebetriebene Heizwesten. Selbsterwärmende textile Spezialfasern sind in Entwicklung. Tauchanzüge jedweder Art werden je nach Wassertemperatur und Art des Tauchgangs um Handschuhe, Füßlinge und Kopfhauben ergänzt. In jedem Fall muss die Dicke eines Neoprengewebeanzugs in Millimetern dokumentiert werden, da diese in Hinblick auf kältespezifische Phänomene eine wesentliche Rolle spielen kann.

Das Gewichtssystem besteht meist aus einem Bleigurt oder aus in die Tariierweste integrierten Bleitaschen. Im Rahmen der Überprüfung auf Vollständigkeit der Ausrüstung muss unbedingt dokumentiert werden, wieviel Gewicht der Taucher mitgeführt hat, sofern das Gewichtssystem noch vorhanden ist und dies ohne wesentliche Manipulation an der Ausrüstung möglich ist.

Klassisch führen Taucher einen Zeit- und Tiefenmesser mit. Allerdings besitzen die meisten Taucher mittlerweile einen Tauchcomputer. Moderne Tauchcomputer sind in der Lage anhand des Tauchprofils Dekompressionspläne zu berechnen. Sie verfügen zudem über eine Logbuchfunktion und teilweise über Gasintegration, was für die Rekonstruktion des Tauchgangs bei tödlichen Tauchunfällen von großem Nutzen sein kann. Hersteller und Typenbezeichnung sollten auch hier dokumentiert werden.

Checkliste Tauchausrüstung	Polizeilicher Ermittler
Bei allen: Hersteller und Typ notieren!	
Grundausrüstung	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Flossen ○ Tauchermaske ○ (Schnorchel) 	
Auftriebskörper	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Jacket (Tariweste), Wing-Jacket 	
Atemregler und Zubehör, Hauptatemregler, ggf. Zweitatemregler	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. Stufe ○ 2. Stufe ○ Finimeter ○ Oktopus 	
Tauchflaschen	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Einzel-/Doppelflaschen ○ Mono-/Doppelventil ○ Eingestanzte Nummer notieren ○ Datum der letzten/nächsten wiederkehrenden Prüfung ○ Technisches Tauchen: mehrere Flaschen mit unterschiedlichen Gasmischungen, Anzuggas ○ Ort der letzten Flaschenfüllung 	
Besonderheit: Kreislaufgeräte (Rebreather)	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Flaschen, Auftriebskörper und Atemregler integriert ○ Separates Bailout-System 	
Tauchanzug	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Nass-/Halbtrockentauchanzug ○ Trockentauchanzug: Neopren/Trilaminat ○ Ggf. Unterzieher ○ Handschuhe ○ Kopfhaube ○ Dicke in Millimetern 	
Gewichtssystem	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Taschen, Gürtel, Hosenträgersystem, Side Mount-Blase, Blei ○ Dokumentation des Gesamtgewichtes 	
Hilfsmittel	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Zeit- und Tiefenmesser ○ Tauchcomputer ○ Lampen ○ Schwimm- und Auftriebskörper ○ Sicherungsleinen, Führungsleinen, Buddyleinen 	

Tab. 29: Checkliste Tauchausrüstung

Dokumentiert werden sollte auch das offensichtliche Fehlen einzelner Ausrüstungsteile. Gegebenenfalls sollte Rücksprache mit dem Bergungsteam gehalten werden, um die Vollständigkeit der Ausrüstung zu prüfen oder die Abwesenheit von Ausrüstungsteilen zu klären.

Äußerliche Veränderungen, die ohne Manipulation an der Ausrüstung sichtbar sind, sollten dokumentiert werden, so etwa ein zerbissenes Mundstück oder Erbrochenes am Mundstück. Dokumentiert werden sollte auch der Zustand der Tarierhilfe, beispielsweise ob ein Jacket entleert, gefüllt oder vollständig aufgeblasen vorgefunden wurde. [61 Kap. 50] Sofern im Rahmen der Bergung noch nicht erfolgt, müssen die Flaschenventile zur Erhaltung des Druckgases geschlossen werden, um Atemgas für die Analyse zu konservieren. Hierbei sollten der ursprüngliche Zustand, die zum Verschluss nötigen Ventilumdrehungen und der noch vorhandene Restdruck in den Flaschen dokumentiert werden, wobei weitere Manipulationen an der Tauchausrüstung zu vermeiden sind [6, 9 S. 148, 61 Kap. 51]. Besondere Vorsicht ist Personen gegenüber zu walten, die als selbsttitulierte Spezialisten anbieten, die Ausrüstung vor Ort zu untersuchen. Dies geschieht zwar meist mit guter Intention und Hilfsbereitschaft, kann aber wichtige Beweismittel zerstören und eine suffiziente Untersuchung durch einen Sachverständigen erschweren bis unmöglich machen [61 Kap. 50]. In keinem Fall sollte eine Betätigung der Luftdusche der Atemregler erfolgen, weil vorhandene Fremdkörper ausgeblasen und somit Hinweise vernichtet werden könnten. Nach tödlichen Tauchunfällen aufgefundene Druckgasflaschen jeder Art, die mit dem Ereignis in Verbindung stehen könnten, dürfen niemals drucklos gemacht werden, etwa um einen Transport „als Gefahrgut“ auszuschließen. Sie sind allesamt genauso zu belassen, wie sie aufgefundene wurden.

Eine Ausnahme bezüglich der ansonsten generell zu vermeidenden Manipulationen an der Ausrüstung ist der Tauchanzug. Sofern kriminalistisch vertretbar, ist es von mehrfachem Vorteil, den Tauchanzug des Verunfallten zu entfernen. Erstens muss er mit der restlichen Ausrüstung dem Gutachter zugeführt werden, weil gerade in Fällen von Trockentauchanzügen auch Defekte an den Anzügen zu auslösenden Faktoren werden können. Zudem kommt es bei Körpern, die im Taucheranzug verbleiben, aufgrund des Isolationseffektes verfrüht zu postmortalen Prozessen wie Fäulnis, selbst unter Kühlung [6]. Durch das Entfernen des Tauchanzugs vor Verbringung zur Sektion kommt es zu Manipulationen am Anzug und auch dem Körper des Verstorbenen. Ein Trockentauchanzug sollte idealerweise, falls durch Wiederbelebungsmaßnahmen noch nicht zerschnitten, in toto entfernt werden, damit durch den technischen Sachverständigen eine Analyse stattfinden kann. Muss der Anzug zur Entfernung aufgeschnitten werden, beispielsweise bei engen Nasstauchanzügen, sollte dieser Schritt erst nach sorgfältiger Fotodokumentation durch den polizeilichen Ermittler erfolgen. Eine Entfernung des Tauchanzugs ist auch deshalb vertretbar, da im Rahmen der ersten Leichenschau zur Todesfeststellung ohnehin die Entkleidung des Leichnams vorgeschrieben ist [10 S. 38]. Die Entkleidung des Leichnams sollte dabei mit größter Vorsicht durchgeführt werden. Beim Aufschneiden des Tauchanzugs sind vorbestehende Zerreißen oder andere Schäden zu kennzeichnen und zu erhalten [8]. Trug der Verunfallte einen Trockentauchanzug, sollte dokumentiert werden, ob die Innenseite des Anzugs feucht oder durchnässt ist. Dies kann Hinweis auf eine Dysfunktion des Anzugs sein.

Die polizeiliche Befundaufnahme ersetzt grundsätzlich keine ärztliche Leichenschau, welche die Todesfeststellung und die Bestimmung der Todesart beinhaltet [9 S. 36-

37]. Bei tödlichen Tauchunfällen erfolgt die primäre ärztliche Leichenschau im Rahmen der Todesfeststellung in der Regel durch einen Notarzt, der in den meisten Fällen im Rahmen der Bergung des Verunfallten hinzugezogen wird. Tödliche Tauchunfälle stellen dabei immer nicht natürliche Todesfälle dar, die von Polizei und Staatsanwaltschaft zu untersuchen sind [2]. Es ist davon auszugehen, dass viele Notärzte aufgrund fehlender Kenntnisse zur Thematik tödlicher Tauchunfälle damit nicht vertraut sind. Umso mehr genügt eine äußere Leichenschau vor Ort nicht den komplexen Anforderungen in Bezug auf die Untersuchung tödlicher Tauchunfälle. Die kriminalistische Befundaufnahme und die primäre ärztliche Leichenschau vor Ort ersetzen somit ebenso wenig die rechtsmedizinische Untersuchung oder Sektion. Sie sollten zudem nicht die zeitnahe Verbringung des Leichnams in die Rechtsmedizin zur Sektion verzögern.

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort	Polizeilicher Ermittler
Gewinnung eines ersten Überblickes	
Fotografische Übersichts- und Detailaufnahmen, schriftliche Dokumentation von: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fundort ○ Zustand der Leiche ○ Ausrüstung ○ Ggf. erfolgte ärztliche invasive Maßnahmen 	
Leichenschau, Fokus auf folgende Punkte: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zustand der Leiche <ul style="list-style-type: none"> ▪ Z. B. Totenflecke, Fäulniszeichen, Mumifizierung, Verletzungen, Blutanhaftungen, Waschhaut ○ Zustand des Kopfes <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeichen für Barotraumata in Augen, Ohren, Nasennebenhöhlen und im Gebiet der Maske, Sekretaustritt ▪ Zeichen für einen Ertrinkungstod, Schaumpilz aus Mund/Nase ▪ Zeichen eines Krampfanfalls, Bissspuren an Lippen/Zunge ○ Zustand des Halses/Oberkörpers <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hinweise auf ein Emphysem: Schwellung, Krepitation ○ Bekleidung sowie deren Zustand <ul style="list-style-type: none"> ▪ bei Trockentauchanzügen: Feuchtigkeit/Innenseite ○ Zeichen für Traumata/Fremdeinwirkung 	
Vorsichtige Entfernung aller Ausrüstungsteile von der Leiche, dabei geringstmögliche Manipulation <ul style="list-style-type: none"> ○ Ausnahme: Zudrehen der Flaschenventile nach Notieren des Restdrucks und mit Dokumentation der erforderlichen Umdrehungen ○ Ausnahme: vorsichtiges Zerschneiden des Tauchanzugs zur Entfernung unter Erhaltung von Zerreißen und anderer Auffälligkeiten ○ Niemals: Sichergestellte Druckgasflaschen drucklos machen! 	
Überprüfung der Ausrüstung, Fokus auf folgende Punkte: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vollständigkeit, fehlende Ausrüstungsteile ○ Stattgehabte Manipulationen bei Rettung/Bergung/Wiederbelebung ○ Äußerlich sichtbare Veränderungen/Verunreinigungen ○ Zustand der Tarierhilfe 	

Tab. 30: Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche

5.2 Weiteres Vorgehen

Der polizeiliche Ermittler sollte nach Abschluss der Ermittlungsarbeit vor Ort neben der Erstellung eines zusammenfassenden Berichts unbedingt folgende Maßnahmen durchführen, damit eine umfassende interdisziplinäre Untersuchung möglich ist:

Erstens müssen die gesamte Tauchausrüstung, das Taucherlogbuch und der Tauchcomputer des Verunfallten sichergestellt werden. Auch die Sicherstellung weiterer persönlicher Gegenstände kann von Bedeutung sein, beispielsweise in Bezug auf einen Substanzmittelabusus. In Zusammenarbeit mit der Staatsanwaltschaft sollte schnellstmöglich der Versand der Tauchausrüstung, des Logbuchs und des Tauchcomputers an einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen erfolgen. Ist der Verunfallte in einer Tauchgruppe getaucht, sollten Taucherlogbücher und Tauchcomputer der Tauchpartner ebenfalls übersandt werden. Eine kompetente und umfassende Sicherstellung von Beweismitteln hat hierbei höchsten Stellenwert für die weiteren Ermittlungen.

Nach der kriminalistischen Befundaufnahme an der Leiche durch den polizeilichen Ermittler sollte in jedem Fall über die Staatsanwaltschaft die unmittelbare Überführung der Leiche zur Sektion organisiert werden. Eine Sektion sollte bei jedem tödlichen Tauchunfall zwingend erfolgen [61 Kap. 51]. Vor allem in Hinblick auf die starke Aussagekraft einer post mortem durchgeführten Computertomographie, die dafür allerdings so zeitnah wie möglich durchgeführt werden muss, ist eine sofortige Überführung innerhalb von 12-24h unumgänglich. Zeitnahe Kühlung der Leiche auf 4°C reduziert dabei die Bildung von Fäulnisartefakten.

Abschließend sollte ein zusammenfassender Bericht erstellt werden, der baldmöglichst an den Sachverständigen und an das mit dem Fall betraute rechtsmedizinische Institut weitergeleitet werden sollte. Im Idealfall wird der Bericht auch an einen mit dem Fall betrauten Tauchmediziner weitergeleitet. Die Einschaltung eines Tauchmediziners ist in Deutschland derzeit noch nicht etabliert, jedoch sollte die tauchmedizinische Mitbeurteilung bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle ebenfalls von großem Stellenwert sein. (siehe auch Diskussion, Kap. 6).

Weiteres Vorgehen	Polizeilicher Ermittler/Staatsanwaltschaft
Sicherstellung ausnahmslos der gesamten Tauchausrüstung, des Taucherlogbuchs und des Tauchcomputers des Verunfallten, sowie der Taucherlogbücher und Tauchcomputer der Tauchpartner; Übersendung an einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen	
Sicherstellung weiterer persönlicher Gegenstände	
Kühlung und zeitnahe Überführung zur Sektion (Sektion innerhalb von 12-24h!)	
Zusammenfassender Bericht, Weiterleitung an den öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen und an die Rechtsmedizin, idealerweise auch an die Tauchmedizin	

Tab. 31: Weiteres Vorgehen

5.3 Untersuchung der Tauchausrüstung, des Tauchprofils sowie der Atemgase und Beurteilung der Umstände der Tauchgangsdurchführung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen

In seiner Analyse tödlicher Tauchunfälle betont Pacher mit praktischer Ermittlererfahrung den hohen Stellenwert einer unpassenden und/oder schlecht gewarteten Ausrüstung. Veraltete und gebraucht erworbene Geräte weisen oft mangelhafte Funktionen auf. Vor allem bei Zweitatemreglern finden häufig alte und mangelhaft gewartete Teile Verwendung. Die komplizierte Bauweise moderner Atemregler birgt zahlreiche mögliche Fehlfunktionen. Ihr Service ist kompliziert und teuer. Zudem ist die Ausbildung zum Atemreglertechniker, welche als solche gar nicht wirklich definiert ist, noch unausgereift. Es gibt sowohl gute und erfahrene Serviceanbieter, Fachberater und Verkäufer als auch viele unerfahrene, was eine potentielle Gefährdung birgt. [116] Caruso beschreibt, dass technische Defekte zwar selten primär zum Tod führen, jedoch häufig die Reaktion des Tauchers auf den technischen Defekt, vor allem bei begleitender Panik, zu einem fatalen Ausgang führt [111].

Die Untersuchung der Tauchausrüstung sollte bei jedem tödlichen Tauchunfall unbedingt erfolgen [61 Kap. 51, 109]. Hierbei ist nicht ausreichend, dass am Unfallort anwesende Taucher die Ausrüstung untersuchen und interpretieren, selbst wenn diese häufig sehr hilfsbereit sind und dienliche Hinweise anbieten. Für die Ermittler allerdings nicht einschätzbar, inwieweit Taucher vor Ort tatsächlich über das notwendige Spezialwissen verfügen. Zudem sind vollständige und qualifizierte Untersuchungen mit den vor Ort verfügbaren Mitteln nicht durchführbar. Grundsätzlich ist ein eventueller Interessenkonflikt der Anwesenden, insbesondere bei den am tödlichen Tauchgang direkt oder indirekt Beteiligten, zu bedenken. Allem voran steht die Tatsache, dass vor Gericht keine vagen Behauptungen verwendet werden können, sondern nachvollziehbare und gerichtsfeste Expertenaussagen benötigt werden [21].

Somit ist die Untersuchung durch eine unabhängige, unparteiische und integre Person erforderlich, die über besondere Kenntnisse und Erfahrungen auf den Gebieten Tauchausrüstung, Gasanalyse und Tauchbetrieb verfügt [61]. Nur durch einen solchen Sachverständigen sollte ein Gutachten erstellt werden, in dem schwierige Sachverhalte für den technischen Laien plausibel erläutert werden.

Ein qualifizierter Sachverständiger kann beispielsweise über das bundesweite Sachverständigenverzeichnis der IHK kontaktiert werden. Die dort gelisteten bundesweit tätigen, von der IHK öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen („ö.b.u.v. Sachverständige“) sind insbesondere auf die Sachgebiete Tauchausrüstungen, sowie Unfallursachen, Technikbewertungen und Gasanalysen spezialisiert [18]. Wegen der nachgewiesenen besonderen Sachkenntnis und der allgemein gültigen Vereidigung kommt den Ausführungen eines ö.b.u.v. Sachverständigen vor Gericht besonderes Gewicht zu [19]. Ein ö.b.u.v. Sachverständiger muss nachweislich objektiv und unabhängig sein. Wie vor Gericht genügt schon der Verdacht eines Interessenkonflikts (Befangenheitsantrag), um einem Sachverständigen die Bestellung zu verweigern, bzw. zu entziehen. Ein ö.b.u.v. Sachverständiger muss nachweislich über überdurchschnittliche Sach- und Fachkenntnisse verfügen, nachweisen, dass er über die zur ordnungsgemäßen Durchführung seiner Aufgaben erforderlichen Geräte/Ausrüstung verfügt und ist zur

Weiterbildung verpflichtet. Insgesamt hat er vor Gericht hohe Glaubwürdigkeit und muss nicht gesondert vereidigt werden. [113] Der Auftrag an einen solchen Sachverständigen wird entweder vom Staatsanwalt direkt oder über die ermittelnde Polizeidienststelle erteilt [19].

Weil das in dieser Dissertation entwickelte standardisierte Verfahren zur Analyse von tödlichen Tauchunfällen vor allem an polizeiliche Ermittler und die mit einem tödlichen Tauchunfall betrauten rechtsmedizinischen Institute gerichtet ist, werden an dieser Stelle keine Empfehlungen für die technisch versierten Sachverständigen zur Untersuchung der Tauchausrüstung und des Tauchcomputers angesprochen. Vielmehr soll für Ermittler und Rechtsmediziner, für die ein Tauchunfall häufig eine sachfremde und anspruchsvolle Thematik darstellt, ein Überblick gegeben werden, welche Schwerpunkte im Rahmen eines technischen Gutachtens zu prüfen sind.

Zudem soll eine Sensibilisierung dafür erreicht werden, wieso ein technisches Gutachten in der Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls genauso unabdingbar ist, wie die Ermittlungsarbeit vor Ort und die Sektion. Die nachfolgende Schilderung des Untersuchungsablaufes im Rahmen eines technischen Gutachtens zeigt, wie sehr das Problem in einem kleinen Detail zu finden sein kann, das ohne diese Untersuchung unerkannt bleiben würde. Für manche straf- und zivilrechtliche Aspekte, wie Versicherungsschutz und Schadensersatzklagen, kann ein solches Detail von entscheidender Relevanz sein [21]. Analysen von Sachverständigen zeigen, dass in den meisten Fällen nicht ein einzelnes Ereignis für einen tödlichen Tauchunfall verantwortlich gemacht werden kann, sondern es durch eine Kausalkette und oder Häufung von Faktoren (Umwelteinflüsse, technische Defekte, menschliche Fehleinschätzungen) zum fatalen Ausgang kommt [22]. Es gilt noch einmal nachdrücklich dafür zu sensibilisieren, an der Ausrüstung am Tauchunfallort keinerlei Veränderungen durchzuführen und Ursprungszustände akribisch zu dokumentieren.

5.3.1 Untersuchung der Tauchausrüstung

Die sichergestellten Gerätschaften und die aktuellen Ermittlungsergebnisse sollten dem Gutachter von der ermittelnden Polizeidienststelle zugestellt werden. In enger Zusammenarbeit sollte es anschließend zum Austausch weiterer Informationen oder Sicherstellungen kommen, wenn sich im Rahmen der Untersuchung weitere Fragen ergeben oder weitere Ausrüstungsteile, auch jene der Tauchpartner, benötigt werden. [19]

Ein Gutachten umfasst die Schilderung des Auftrags, die Untersuchungsergebnisse, sowie die daraus gezogenen Schlussfolgerungen. Begleitend zur eigentlichen technischen Untersuchung wird ein intensives Aktenstudium durchgeführt. Ermittlungsergebnisse, insbesondere Zeugenbefragungen und Obduktionsberichte können wichtige Hinweise zum Unfallauslöser und -hergang geben. [19]

Die technische Untersuchung folgt einem systematischen Schema, damit keine Veränderungen an der Ausrüstung durchgeführt werden, die nachfolgende Untersuchungsschritte in ihrem Ergebnis beeinflussen oder Beweise vernichten können. Vor jedem nächsten Schritt werden die Befunde detailliert dokumentiert. [19, 20]

Die technische Untersuchung beginnt stets mit einer optischen Inspektion ohne jedweden Eingriff. Es ergeben sich erste Hinweise auf den allgemeinen und Wartungszustand des Materials. Es werden Herstellermarken, Typbezeichnungen, Komponenten und Baugruppen erfasst. Analysiert werden die Konfiguration des Gerätes, die Montageart, Ventilstellungen, Beschädigungen und Verschmutzungen. Es erfolgt eine schriftliche Dokumentation mit Bilddokumentation [19]. Da nicht selten auslösende Faktoren in einem fehlerhaften Zusammenbau der Ausrüstung bestehen, ist diese Inspektion häufig bereits wegweisend. Berndt beschreibt in einem Artikel über Tauchunfallanalysen beispielsweise einen tödlichen Tauchunfall, bei dem der Verunfallte gemäß Berichten der Tauchpartner und Tauchprofil massive Probleme bei der Tarierung hatte und bei dem die Inspektion der Tauchausrüstung als Auslöser einen herausgedrückten O-Ring (Dichtungsring) am Jacketinflator erbrachte. Nicht selten sind Atemregler nicht bestimmungsmäßig montiert [19]. Bei der Inspektion der Mundstücke können Bissspuren Hinweise auf einen stattgehabten Krampfanfall ergeben [6] oder auf die Kausalkette Angst-Stress-Panik. Die optische Inspektion eines Trockentauchanzuges kann zudem grobe Hinweise auf einen stattgehabten Wassereintritt bei Problemen mit der Dichtigkeit ergeben.

Als nächstes erfolgen grobe Voruntersuchungen. Nach schrittweiser Demontage der Ausrüstungsteile schließen sich dann aufwändigere technische Prüfungen sowie Laboruntersuchungen an. Dazu gehören Funktions- und Leistungstests, Dichtigkeitsprüfungen, Atemgasanalysen sowie ggf. Funktions- und Atemkalktests bei Rebreathern [19].

Viele Auftriebskörper entsprechen nicht den an sie gestellten Erwartungen und liefern beispielsweise zu wenig Auftrieb in der Tiefe, sind zu klein kalkuliert oder haben zu früh öffnende Auslassventile [116]. Als Funktions- und Dichtigkeitstests von Auftriebsmitteln liegen verschiedene Verfahren vor. Entscheidend ist, ob der Inflator den Auftriebskörper in einer bestimmten genormten Zeit befüllen kann und ob eine Dichtigkeit besteht [20]. Auch die Funktion der Ablassventile wird geprüft.

Ein Verdacht auf eine Dysfunktion des Jackets besteht dann, wenn in der Anamnese (Tauchprofilanalyse) ein schnelles unkontrolliertes Absinken auffällt. Die korrekte Funktion des Inflators wird stets überprüft. Eine Undichtigkeit des Inflators kann beispielsweise zu einem überschießenden Befüllen des Auftriebskörpers mit nachfolgend rasantem Aufstieg führen. [20]

Trockentauchanzüge bergen zahlreiche Gefährdungsquellen wie schlechte Passform, Bewegungseinschränkungen, Undichtigkeiten und Befüllungsprobleme [116]. Im Rahmen der technischen Analyse werden an Trockentauchanzügen Tests zur Inflatorfunktion und Dichtigkeit durchgeführt, indem durch Anschluss von Druckmessgeräten nach Befüllung mit Luft der Innendruck über die Zeit gemessen wird. Das bestimmungsgemäße Ansprechen der Überdruckventile wird ebenfalls geprüft. [20] Im Rahmen der Beurteilung eines Tauchanzugs jedweder Art wird evaluiert, ob die Art des Anzugs und die Materialdicke in Bezug auf Wassertemperatur, Tiefe und Dauer des Tauchgangs adäquat waren und somit, ob ein ausreichender Kälteschutz bestand.

Die Funktions- und Leistungsfähigkeitstestung der Atemregler ist von zentralem Interesse. Der Atemregler ist in Bezug auf technische Ausfälle die häufigste Ursache für Zwischenfälle beim Tauchen. Berndt beschreibt, dass dafür nicht nur deren

komplexe Technik verantwortlich ist, sondern es häufig zum Einsatz von für einen bestimmten Tauchgang ungeeigneten Atemreglern kommt, beispielsweise in kalten oder tieferen Gewässern. Zudem komme es oft zu Fehlmontagen, mangelhafter Pflege oder mangelhaftem Wartungszustand mit in der Folge zustandsbedingter Fehlfunktion. [21]

Nach Öffnung der Atemgasversorgung wird im Rahmen der Voruntersuchungen der Vorratsdruck festgestellt. Die weiteren Schritte erfolgen unter Nutzung dieses Vorratsdruckes oder, falls sehr wenig oder gar kein Druck mehr vorhanden ist, einer Ersatzgasversorgung [19]. Zunächst wird der Atemregler auf Dichtigkeit der 1. und 2. Stufe unter vorsichtiger Druckbelastung und auf ein Abblasen getestet. Dann wird die Luftdusche betätigt, um vorhandene Fremdkörper wie Sand, Korrosionsprodukte oder Wasser aus dem System zu entfernen und mit einem Tuch oder Filterpapier aufzufangen. Aus vorhandenen Fremdkörpern können bereits erste Schlüsse auf die Ursache der Fehlfunktion gezogen werden. Es erfolgt im Anschluss eine grobe subjektive Funktionskontrolle durch vorsichtiges Anathmen. Somit kann getestet werden, ob eine Luftzufuhr überhaupt funktioniert und wie schwer die Ein- und Ausatmung vonstatten geht. [20]

Kommt es in diesen Untersuchungen zu keinem Ausfall, erfolgt eine Prüfung der atemtechnischen Funktion mit einer elektronischen Prüfbank. Im ersten Schritt entspricht diese einer Serviceprüfbank mit Testung im Trockenen und unter Normaldruckbedingungen. Allerdings zeigen sich einige Fehlfunktionen erst unter Druckbelastung, so dass im weiteren Verlauf komplexere Funktionsprüfungen in einer Druckkammer oder mit Hilfe einer modifizierten, in einen Druckbehälter eingebauten Serviceprüfbank stattfinden [61 Kap. 50]. Berndt beschreibt in einer weiteren Veröffentlichung über Tauchunfallanalysen, dass durch dieses Verfahren beispielsweise erhöhte Atemwiderstände, die erst unter erhöhten Druckbedingungen nachweisbar sind, detektiert werden können. Im letzten Schritt kann ein Test unter den realen Umgebungsbedingungen des Tauchunfalls durchgeführt werden indem der Atemregler unter Wasser, bei entsprechenden Temperaturen und unter Simulation des Tauchprofils getestet wird. Um diesen sehr komplexen Vorgang durchzuführen müssen ein Wasserreservoir mit Kühlkreislauf und die Prüfmaschine mit einer Vielzahl zusätzlicher Steuer- und Sensorelektronikenelemente (Wasserkühlung, Atemgaserwärmung und -befeuchtung) in eine Druckkammer integriert werden. Auch die Luftversorgung ist entsprechend der gewählten Prüftemperatur vorzukühlen. Im Folgenden simuliert der Atemregler den Unfall-Tauchgang erneut unter ständiger Analyse und Dokumentation. Durch dieses Verfahren kann beispielsweise ein Vereisen des Atemreglers oder ein Überschreiten der Atemdruckgrenzen sowie der Atemarbeit unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen nachgewiesen werden. Abschließend wird der Atemregler, sofern erforderlich, zerlegt, um die Ursachen für die Fehlfunktion zu finden, beispielsweise Fremdkörper, Korrosion oder gröbere Defekte. [21]

Die Tauchflaschen und ihre Ventile werden nach Eintreffen der Ergebnisse der Atemgasanalysen untersucht. Hierzu erfolgt die Öffnung mit innerer optischer Inspektion. Dies geschieht durch Endoskopie der Flaschen. Gesucht wird nach Fremdstoffen, Ablagerungen, sowie Rost, Aluminiumoxid oder makroskopischer Feuchte, die dann oft mit Biofilmen einhergeht. Korrosionsprodukte können in feiner oder gröberer Verteilung (Pulver, Splitter) zu Defekten von Atemreglern führen.

Feuchte in der Flasche kann zur Vereisung führen. [21] In jedem dieser Fälle besteht die Gefahr des Totalversagens des Atemreglers.

Die Analyse der immer mehr in Verwendung befindlichen und mit spezifischen Gefahren versehenen Kreislauf-Tauchgeräte ist besonders anspruchsvoll [61]. Dies betrifft auch eine gewisse Anzahl an selbstgebauten Geräten durch Experimentierfreudige. Prinzipiell erfolgt die Untersuchung von Kreislaufgeräten nach Standardschema. Wesentlich ist bei Kreislaufgeräten jedweder Bauart die Überprüfung des Atemkalkes oder des alternativ verwendeten Bindemittels. [21] Der auch „Scrubber“ bezeichnete Atemkalk in seinem Gehäuse bindet Kohlenstoffdioxid als metabolisches Abfallprodukt und muss regelmäßig ersetzt werden. Versagt die Kohlenstoffdioxid-Absorption, kommt es zur Hyperkapnie mit Lufthunger, Panik und/oder Bewusstlosigkeit mit fatalen Folgen [1 Kap.7, 21]. Im Rahmen des „Scrubbertests“ wird die Absorptionsfähigkeit analysiert und auf den Unfallzeitpunkt rückgerechnet. Ein Gasgemisch mit einem Kohlenstoffdioxidgehalt entsprechend unserer Ausatemluft (ca. 4 %) wird dem Atemkalk mit einem Volumenstrom eines mittleren Atemminutenvolumens (ca. 25 l/min) zugeführt. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration der durch den Kalk gefilterten Ausatemluft wird mit einem Messgerät erfasst und über eine Zeitachse aufgetragen. Hier können sich unmittelbar auffällige Werte zeigen und auf einen überstrapazierten Atemkalk hinweisen oder es kommt zu einem langsamen Anstieg über die Zeitachse mit schnellem Anstieg bei Erschöpfung des Atemkalks im Verlauf, was für einen unbeeinträchtigten Zustand des Atemkalks zum Unfallzeitpunkt spricht. [21] Zur Analyse von Kreislaufgeräten gehört die Überprüfung, ob eine korrekt dosierte Zufuhr von Sauerstoff gewährleistet ist. Wesentliche Funktion eines Kreislaufgerätes ist neben der Filterung von Kohlenstoffdioxid der Ersatz des verbrauchten Sauerstoffs aus einem Vorrat [1 Kap. 7]. Da Sauerstoff sowohl bei zu hohem als auch zu niedrigem Partialdruck schädlich ist, muss eine exakte Dosierung gewährleistet sein, was bei den gängigen Geräten entweder konstant mechanisch oder elektropneumatisch dosiert geschieht [21]. Sowohl der Volumenstrom durch die das Gasgemisch zuführenden Düsen als auch die korrekte Zufuhr von Gasgemischen an die entsprechenden Düsen werden überprüft. Passt ein Gasgemisch nicht zur Düse oder ist der Volumenstrom durch die Düse nicht ausreichend, kann dies fatale Auswirkungen haben [21]. Berndt weist auf ein weiteres zu untersuchendes Problem bei Unfällen unter Nutzung von Rebreathern hin: Weil es bei solchen Unfällen häufig zur Bewusstlosigkeit mit Verlust des Mundstückes kommt, das dann nicht mehr aktiv geschlossen werden kann, kommt es zu einer Flutung des gesamten Gerätes mit Wasser, was zu einem zusätzlichen, kaum oder nicht zu kompensierenden Abtrieb von 7 Litern und mehr führen kann [21]. Bei der Untersuchung eines Kreislaufgerätes muss auch die Funktionalität und Eignung des mitgeführten Bailout-Gases, einer teilweise separaten, teilweise integrierten Gasversorgung für den Fall eines technischen Defekts des Kreislaufgerätes, geprüft werden. Auch die komplexe Elektronik von Kreislaufgeräten muss vom Sachverständigen überprüft werden, insbesondere bei den elektronisch gesteuerten CC-Rebreathern, also Geräten mit geschlossenem Kreislaufsystem.

Weitere Ausrüstungsteile wie Flossen, Maske und Schnorchel, sowie Finimeter und Tiefenmesser werden ebenfalls auf Zustand und Funktionalität geprüft. Gleiches gilt für mitgeführte Lampen und je nach Fragestellung und Tauchgang für andere Hilfsmittel wie Sicherungsleinen.

Eine „Überbleiung“ ist ein häufiges Problem, das sich nicht nur auf Anfänger beschränkt [116]. Die Masse der Gewichtssysteme und die Größe und Tragkraft der Auftriebskörper werden bestimmt und in Beziehung zur Konstitution des Verunfallten gesetzt. Es kann auch eine Berechnung der tauchtiefenabhängigen Auf- und Abtriebsverhältnisse durchgeführt werden. Hierbei wird festgestellt, ob der Verunfallte zu viel oder zu wenig an Tarier-Gewicht mitgeführt hat [21]. Bei der Beurteilung der Gewichtssysteme ist von Interesse, wo und wie die Gewichte angebracht waren und ob sie im Rahmen von Stress oder Panik leicht zu erreichen und zu entfernen waren. Bei der Berechnung des Anteils des Tauchanzugs am Gesamtauftrieb müssen Unfalltiefe und Anzugmaterial beachtet werden. Neopren als Material mit Stickstoffgaseinschlüssen wird mit steigendem Umgebungsdruck komprimiert und verliert beim Abtauchen umgekehrt proportional Auftrieb [1, Kap. 5].

In manchen Fällen kann ein banales Problem zu fatalen Auswirkungen führen. Clarke berichtet über einen Fall, bei dem einer der Auslöser darin lag, dass die Batterien im Sauerstoffsensoren des Rebreathers verpolt eingelegt worden waren und der Sensor somit nicht funktionstüchtig war. Mangels Warnung über den sinkenden pO_2 kam es zum fatalen Ausgang. [118] Dieses Beispiel zeigt umso mehr, wie ausführlich und gründlich auch auf augenscheinlich technisch Banales untersucht werden muss.

Vom Sachverständigen wird neben der technischen Analyse auf Mängel erfasst, ob der betroffene Taucher gemäß seiner Erfahrung und gesundheitlichen Verfassung für den entsprechenden Tauchgang geeignet war. Im Idealfall sollten dem Gutachter somit möglichst zeitnah die Ermittlungsergebnisse zur allgemeinen und tauchspezifischen Anamnese zur Verfügung stehen, um beispielsweise Brevetierung, Erfahrungsstand und den Gesundheitszustand mit dem Unfallgeschehen in Beziehung setzen zu können. Zudem wird geprüft, ob die genutzte Ausrüstung für den Unfalltauchgang geeignet war. Beispiele hierfür sind, ob ein geeigneter Kälteschutz durch einen ausreichend isolierten Tauchanzug vorlag oder ob das Tauchgerät mitsamt seiner Atemregler kaltwassertauglich war. [21]

Analyse der Ausrüstung	ö.b.u.v. Sachverständiger
Optische Inspektion <ul style="list-style-type: none"> ○ Allgemeiner Zustand/Wartungszustand/Prüfsiegel/CE-Zeichen ○ Erfassung von Marken, Typen, Komponenten, Baugruppen ○ Konfiguration, Montageart, Ventilstellungen ○ Beschädigungen und Verschmutzungen ○ Dokumentation in Schrift und Bild 	
Funktions- und Dichtigkeitstests von Auftriebsmitteln <ul style="list-style-type: none"> ○ Dichtigkeit ○ Funktion von Einlass- und Ablassventilen ○ Befüllungs- und Entleerzeit 	
Funktions- und Dichtigkeitstests von Trockentauchanzügen <ul style="list-style-type: none"> ○ Dichtigkeit ○ Inflatorfunktion ○ Funktion des Überdruckventils in der vorgefundenen Einstellung 	

Tab. 32: Analyse der Ausrüstung durch einen ö.b.u.v. Sachverständigen

Analyse der Ausrüstung	ö.b.u.v. Sachverständiger
Funktions- und Leistungsfähigkeitstestung von Atemreglern <ul style="list-style-type: none"> ○ 1. Manueller Test auf Dichtigkeit und Fremdkörper ○ 2. Grobe Funktionskontrolle durch Atmung ○ 3. Prüfbank unter Normaldruckbedingungen ○ 4. Prüfbank unter hyperbaren Bedingungen ○ 5. Simulation der realen Verhältnisse unter Wasser und Einstellung der Umgebungstemperatur und des Tauchprofils ○ 6. Demontage, Suche nach Fremdkörpern, Korrosion, Defekten 	
Inspektion der Tauchflaschen <ul style="list-style-type: none"> ○ Optische Inspektion /Endoskopie ○ Suche nach Fremdstoffen, Ablagerungen und Korrosionsprodukten 	
Analyse von Kreislaufgeräten (Rebreathern) - Besonderheiten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Absorptionsfähigkeit des Atemkalks ○ Korrekte Sauerstoffzufuhr ○ Volumenstrom an Düsen ○ Kompatibilität von Gasgemischen und Düsen ○ Kontrolle der Elektronik ○ Vorhandensein und Qualität des Bailout-Systems 	
Zustand und Funktionalität weiterer Ausrüstungsteile <ul style="list-style-type: none"> ○ Flossen, Schnorchel, Maske ○ Finimeter ○ Zeit-/Tiefenmesser, Tauchcomputer ○ Hilfsmittel wie Lampen, Bojen, Leinen 	
Beurteilung des Gewichtssystems <ul style="list-style-type: none"> ○ Gesamtmasse ○ Anbringung/Verteilung 	
Berechnung der tiefenabhängigen Auf- und Abtriebsverhältnisse	
Beurteilung des Kälteschutzes	
Beurteilung der Eignung der Ausrüstung für den entsprechenden Tauchgang und den Ausbildungsstand des Verunfallten	

Tab. 32: Analyse der Ausrüstung durch einen ö.b.u.v. Sachverständigen (Fortsetzung)

5.3.2 Untersuchung der Atemgase

Nach tödlichen Tauchunfällen sollte unbedingt eine Analyse des Atemgases erfolgen [61 Kap. 51]. Auch diese Untersuchung sollte durch einen unabhängigen Untersucher mit nachgewiesenem Sach-/Fachwissen erfolgen, also durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen. Parallel zur Feststellung ob und wie viel Atemgas dem Verunfallten zum Unfallzeitpunkt zur Verfügung standen ist die genaue Zusammensetzung des Gases von Interesse [111]. Ebenso spielen Fremdstoffe wie Öle und Giftstoffe im Atemgas eine Rolle sowie der Feuchtigkeitsgehalt der Atemluft [20, 51].

Vor der Abnahme der Gasproben und der Untersuchung der Tauchflasche wird der Restdruck in der Tauchflasche registriert. Eine genaue Dokumentation und der korrekte Umgang mit der Flasche durch Anwesende und Ermittler am Unfallort sind dabei von Bedeutung. Hier kommt es nicht selten zu Veränderungen und dadurch verursachte Ungenauigkeiten in Bezug auf den tatsächlichen Gasvorrat. Bei der

Fragestellung, wie viel und welches Gas dem Taucher zum Unfallzeitpunkt tatsächlich zur Verfügung stand, können moderne Tauchcomputer mit Gasintegration helfen. Die Luftverbrauchsdaten sind bei solchen Geräten gemeinsam mit vielen anderen Daten zum Tauchgang gespeichert und können ausgelesen werden [20]. Hilfsweise kann der Atemgasverbrauch entlang des Tauchprofils auf Basis physiologischer Daten mit hinreichender Genauigkeit errechnet werden [49, 50].

Bei der Analyse der Atemgase können Analyse-Prüfröhrchen eingesetzt werden. Sie ermöglichen eine qualitative und teils auch quantitative Bestimmung, wobei für jede Gaskomponente ein eigenes Röhrchen eingesetzt werden muss. Alternativ kann eine Gasspektroskopie durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Laboranalyse können aus kleinen Gasmengen alle Inhaltsstoffe mit hoher Genauigkeit qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Gängige Stoffe im Rahmen einer Luftanalyse sind: Sauerstoff, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Öldunst, Wasser, Wasserdampf und Gerüche [20, 61 Kap. 50]. Einige mögliche Befunde führen direkt zu der Unfallursache. Ein niedriger Sauerstoffanteil kann zur Hypoxie führen, ein zu hoher zur Sauerstoffintoxikation. [61 Kap. 50]. Eine Gasanalyse kann zudem eine Verunreinigung von komprimierter Luft nachweisen, beispielsweise durch in der Nähe der Luftansaugung des Kompressors ausgestoßene Abgase. Besonders ein erhöhter Gehalt an Kohlenstoffmonoxid kann gerade unter höherem Umgebungsdruck fatal sein. Pressluft für Taucher muss absolut ölfrei und trocken sein. Bei schlechtem Wartungszustand eines Kompressors ist dies unter Umständen nicht mehr gewährleistet. Hochqualitative Pressluft anzubieten erfordert einige Investitionen in einen guten Kompressor, regelmäßige Filterwechsel und Wartungsarbeiten sowie gut ausgebildetes Personal. Da dies nicht an allen Füllstellen gewährleistet ist, kann ein Auslöser eines Tauchunfalls durchaus in einer Verunreinigung des Atemgases bestehen. Feuchte Pressluft kann zudem zu einer inneren Vereisung des Atemreglers und somit zur Dysfunktion führen. Je nach Art des Atemreglers und Ort der Vereisung kann es zum unkontrollierten Abblasen des Atemreglers (Vereisung der ersten Stufe) bis hin zur Leerung der Flasche kommen oder aber der Atemregler liefert überhaupt keine Luft mehr (Vereisung der zweiten Stufe). Auch ist es möglich, dass durch Vereisung in der zweiten Stufe die Ausatemluft nicht mehr abgeatmet werden kann.

Die Gasanalyse zeigt, ob der tatsächliche Inhalt der Tauchflasche dem erwarteten entspricht. Vor allem im Bereich des technischen Tauchens mit häufig verschiedenen vorgemischten Gasen für spezifische Tauchgangsabschnitte kann der Wechsel auf ein ungeeignetes Gas fatale Folgen durch tiefenabhängig toxische Wirkungen haben. Dies kann beispielsweise der Fall sein bei Nutzung des Tiefengases an der Oberfläche oder sauerstoffreicher Gase in größerer Tauchtiefe [6].

Mit den richtigen Gerätschaften und Fachwissen ist es möglich, auch dann eine Gasanalyse durchzuführen, wenn die Tauchflasche nahezu vollständig entleert ist. Mit einem Restdruck von nur 2-5 bar kann die Gasanalyse durchgeführt werden [61 Kap. 50]. Bei 1-2 bar Restdruck kann mittels Verdünnung gearbeitet werden.

In der Literatur werden seltene Fälle beschrieben, in denen es durch einen hohen Pollengehalt in der Pressluft zu Asthmaanfällen kam [61 Kap. 50]. Dies spielt zwar für die gutachterliche technische Untersuchung der Atemgase keine Rolle, sollte aber bei der allgemeinen Anamnese bedacht werden, falls ein allergisches Asthma bronchiale in der Vorgeschichte bekannt ist.

Untersuchung der Atemgase	ö.b.u.v. Sachverständiger
Art des Atemgases <ul style="list-style-type: none"> ○ Pressluft, Nitrox-/Trimix-Gemische u.a. 	
Qualitative und Quantitative Bestimmung der Atemgas-Zusammensetzung <ul style="list-style-type: none"> ○ Sauerstoff ○ Kohlenstoffmonoxid ○ Kohlenstoffdioxid ○ Öldunst u.a. Schadstoffe ○ Wasser ○ Wasserdampf ○ Zudem: Gerüche 	
Tatsächliches Atemgas = Erwartetes Atemgas? (Luft, Nitrox, Trimix etc.)	

Tab. 33: Untersuchung der Atemgase durch einen ö.b.u.v. Sachverständigen

5.3.3 Untersuchung des Tauchcomputerprofils

Eine wichtige Quelle zur Rekonstruktion des Unfalls ist das durch den Tauchcomputer aufgezeichnete Tauchgangsprofil [109, 112]. Mittlerweile verfügt fast jeder Taucher über einen Tauchcomputer. Selbst Basismodelle moderner Tauchcomputer können eine Vielzahl von Informationen wiedergeben. Man erhält Informationen über das gesamte Tauchprofil einschließlich Beginn-/Endpunkt, genauen Tiefenbestimmungen, Dauer der Tauchgänge, Auf- und Abstiegskurven, Anzahl der Aufstiege, stattgehabte und ausgelassene Dekompressionsstopps, eventuelle Dekompressionsprobleme und Wassertemperatur. [7, 61 Kap. 51] Zudem können ausgelöste spezifische Alarme ausgelesen werden [20]. Die Informationen können über eine Schnittstelle auf Computer oder Laptop übertragen und grafisch dargestellt werden. Tauchcomputer mit Gasintegration zeichnen zusätzlich je nach Modell Gasverbrauchsdaten auf. Zum Teil kann der Computer das gesamte Gasmanagement berechnen und entsprechend während des Tauchgangs Informationen über Flaschenvolumen, Gasvorrat, Partialdrücke der Atemgase und über den Atemgasverbrauch signalisieren. Ist die Tauchtiefenabhängigkeit des Luftverbrauchs von Interesse, kann diese auf Basis der aufgezeichneten Daten berechnet werden. [20]

Idealerweise sollten sowohl das Tauchprofil des Verunfallten als auch die der Tauchpartner ausgelesen und verglichen werden. Anhand der Profile kann der Tauchgang des verunfallten Tauchers sowie der Tauchpartner nachvollzogen werden. Ebenso können Rückschlüsse auf das generelle Tauchverhalten des Verunfallten durch Vergleich vergangener Tauchgänge erfolgen, beispielsweise in Bezug auf Häufigkeit, Tiefe, Aufstiegsgewöhnheiten und Atemgasverbrauch [112]. Die Tiefe des Tauchgangs hat Relevanz in Bezug auf Inertgaseffekte wie Stickstoffnarkose und Sauerstofftoxizität mit eingeschränkter Handlungsfähigkeit und Bewusstseinseinschränkungen, Dekompressionskrankheiten, erhöhten Atemgasverbrauch, Kälteeffekte, Panik und erschwerte Rettungsmaßnahmen. Die Aufstiegs geschwindigkeit ist von besonderer Bedeutung zur Abklärung einer Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie nach pulmonalem Barotrauma und Dekompressionskrankheiten. [61 Kap. 50]

Durch die Auswertung des Tauchgangsprofils können Angaben von Zeugen bezüglich eines Geschehens unterstützt oder widerlegt werden. Zeugenaussagen können aus vielen Gründen unvollständig sein oder von der Wahrheit abweichen. Dies betrifft vor allem Aussagen von Tauchpartnern, die selbst unter Schock stehen, einen Interessenkonflikt haben oder ihr eigenes Handeln hinterfragen. Auch Tauchausbilder und die örtlichen Tauchbasen können einen Interessenskonflikt haben. [61 Kap. 51] Mit Hilfe des ausgewerteten Tauchprofils lässt sich der Tauchgang weitgehend genau nachvollziehen. Im Idealfall ergänzen sich Profile und Zeugenaussagen zu einer exakten Rekonstruktion. Die Auswertungen von Tauchprofilen sind in Fällen von großer Bedeutung, in denen ein Solo-Tauchgang stattgefunden hat oder der Verunfallte außer Sichtweite geraten ist.

Auch Informationen zu vorangegangenen Tauchgängen können abgerufen werden. Die Sichtung vorheriger Tauchgänge kann zum Nachweis von stattgehabten schnellen Aufstiegen oder nicht eingehaltenen Dekompressionspausen führen und Rückschlüsse auf das Tauchverhalten des Verunfallten ermöglichen, etwa ob regelmäßig Tieftauchgänge stattgefunden haben [7, 61 Kap. 51]. Besonderes Gewicht kommt den dem Unfall vorgelagerten Tauchgängen und Oberflächenpausen bei „Non Limit Tauchen“ auf Safaris zu, womit Tauchurlaube mit unbegrenzten pauschal bezahlten Flaschenfüllungen gemeint sind.

Diese weitgreifenden Informationen spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der Untersuchung von Tauchunfällen. Durch einen Tauchmediziner oder tauchmedizinisch versierten Sachverständigen können Wahrscheinlichkeiten für beispielsweise ein pulmonales Barotrauma, eine Dekompressionskrankheit, ein Taucherlungenödem, Panik, Ermüdung, Aspiration, Inertgasintoxikation oder Kälteeffekte bestimmt werden [61 Kap. 51].

Die Tauchprofil-Analysen der Geräte des Verunfallten und seiner Tauchpartner und auch der Retter/Bergenden sollten wie die Untersuchung der restlichen Ausrüstung durch einen ö.b.u.v. Sachverständigen erfolgen.

Für eine gutachterliche Beurteilung der Daten müssen zunächst Kalibrierungen und Abgleichungen stattfinden, vor allem, wenn mehrere Profile zum Vergleich übereinandergelegt werden sollen und unterschiedliche Tauchcomputermodelle im Einsatz waren [20]. Verglichen werden beispielsweise Aufzeichnungen des Verunfallten mit den Tiefen- und Zeitaufzeichnungen der Tauchpartner und ggf. Bergenden. Eine suffiziente Kalibrierung erfordert entsprechende Erfahrung und technische Ausstattung.

Das Profil des Verunfallten und ggf. der Tauchpartner wird, ergänzt durch Informationen aus Ermittlung, technischer Analyse von Ausrüstung und Sektionsergebnissen, so weit möglich interpretiert.

Bei (noch) nicht tödlich verunfallten Tauchern wird der Tauchcomputer mit dem Verunfallten mit in die Klinik, bzw. zur Druckkammereinrichtung gegeben und erst später an den Sachverständigen weitergereicht. Im Todesfall sollte der Tauchcomputer mit allen weiteren Beweismitteln sichergestellt und dem Sachverständigen zur Verfügung gestellt werden.

Das Ergebnis der Auswertung sollte in enger Zusammenarbeit schnellstmöglich an die Rechtsmedizin weitergeleitet werden. Die Informationen können für die Beurteilung der Sektionsergebnisse wichtig sein. Für das rechtsmedizinische Gutachten von größtem Interesse ist die Frage, ob ein rascher Aufstieg aus der Tiefe stattgefunden hat. Oft kommt es mangels tauchphysiologischer Kenntnis zu Sektionsbefunden, die auf Grund von Feststellungen wie Gaspolstern und Gaseinschlüssen einen Dekompressionsunfall als todesursächlich ansehen. Dies ist allerdings selten der Fall. Festgestellte innere Gasvolumina sind in aller Regel post mortem entweder bei der Bergung oder durch nachträgliche Inertgasausgasungen entstanden. Um solche Fehler bei der Beurteilung zu vermeiden kann die Absprache/Zusammenarbeit mit dem ö.b.u.v. Sachverständigen von Nutzen sein. Die besondere Bedeutung der dem Todeszeitpunkt nahen postmortalen Computertomographie zur differentialdiagnostischen Abklärung von intra- oder extravaskulären Gasvolumina muss in diesem Zusammenhang unterstrichen werden.

In der Gesamtbeurteilung der Sektionsergebnisse ist genau diese Fragestellung zur differentialdiagnostischen Abklärung einer Überdehnung der Lunge mit einer arteriellen Gasembolie wichtig. Abgewogen werden können anhand der Informationen die Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen einer Dekompressionskrankheit sowie für diverse auslösende Faktoren im Rahmen der Kausalkette wie Panik, Übermüdung, mögliche verstärkende Effekte durch niedrige oder hohe Temperaturen [7].

Untersuchung des Tauchcomputerprofils	ö.b.u.v. Sachverständiger
Analyse des gesamten Tauchprofils des Verunfallten, Fokus auf: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Tiefe(n) ○ Beginn, Dauer, Ende des Tauchgangs ○ Auf- und Abstiegskurven, insbesondere: ○ Stattgehabte schnelle Aufstiege ○ Stattgehabte und ausgelassene Dekompressionsstopps ○ Ausgelöste Alarme ○ Wassertemperatur 	
Bei Gasintegration: <ul style="list-style-type: none"> ○ Flaschenvolumen ○ Partialdrücke der Atemgase ○ Atemgasverbrauch ○ Ggf.: Atemgaswechsel 	
Vorherige Tauchprofile, Fokus auf: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Tiefe(n) ○ Dekompressionsstopps ○ Dekompressionspausen ○ Schnelle Aufstiege ○ Wiederholungstauchgänge ○ Oberflächenpausen 	
Analyse der Tauchprofile von Tauchpartnern, sowie Rettern/Bergenden <ul style="list-style-type: none"> ○ gemäß Auswertung des Profils des Verunfallten 	
Profil(e) deckungsgleich mit Zeugenaussagen?	

Tab. 34: Untersuchung des Tauchcomputers durch einen ö.b.u.v. Sachverständigen

5.3.4 Beurteilung der technischen Auswertung

In der abschließenden Beurteilung werden vom Sachverständigen alle in der Analyse der Ausrüstung, der Atemgase und der Auslesung des Tauchcomputers gewonnenen Informationen bewertet. Zentrale Fragen richten sich auf wesentliche Auslöser und Ereignisse, wie sich der Unfallhergang darstellte und ob technische Mängel bestanden. Wenn von Relevanz werden Berechnungen zum Atemgasverbrauch erstellt. Zudem wird beurteilt, ob die Ausrüstung dem Tauchgang angemessen war, ob Sicherheitsstandards verletzt wurden oder von einem Fremdverschulden auszugehen ist. Eine Beurteilung des Verhaltens der Tauchgruppe wird durchgeführt, beispielsweise, ob Briefing, Buddy Check, Vor- und Nachbereitungen nach gängigen Sicherheitsregeln durchgeführt wurden. [21] Erörtert werden Fragestellungen, ob eine Garantenpflicht gegenüber dem Verunfallten bestand. Viele dieser Informationen sind nicht nur von persönlichem Interesse für die Angehörigen und Beteiligten, sondern können straf- und zivilrechtlich relevant sein.

5.4 Rechtsmedizinische Untersuchung

5.4.1 Allgemeines zur rechtsmedizinischen Untersuchung

Rechtsmedizinische Untersuchungen sind bei tödlichen Tauchunfällen generell von erheblicher Bedeutung, um den Fall gründlich und komplett zu untersuchen [6, 61, 109]. Die zahlreichen Gründe, weshalb man sich bei tödlichen Tauchunfällen nicht einfach mit der Todesursache „Tod durch Ertrinken“ zufrieden geben kann, umfassen Vermeidung von Folgeunfällen, Klarheit für die Hinterbliebenen, Ausschluss von Straftaten, Abklärung versicherungsrelevanter Aspekte bei Lebens- oder Unfallversicherungen, Rekonstruktion des Unfallhergangs im Rahmen auftretender Rechtsstreitigkeiten oder gute forensische Praxis bei der Unterscheidung Unfall versus schicksalhafte Erkrankung [5]. Auch ein Fremdverschulden ist ohne rechtsmedizinische Abklärung nicht auszuschließen. Insbesondere spurenarme Tötungsdelikte werden durch das Medium Wasser noch spurenärmer [55].

Noch immer stellen die tödlichen Tauchunfälle, bei denen eine rechtsmedizinische Untersuchung im Rahmen der Ermittlung angeordnet wird, die Minderheit dar. Die Sektionshäufigkeit in Deutschland ist insgesamt gering und beträgt für rechtsmedizinische Sektionen ca. 2 %, für klinische (nichtforensische) Sektionen 1 % aller Sterbefälle. In anderen europäischen Ländern und in den USA liegt die Rate bei über 10%, teilweise bei 35%. Eine Übereinstimmung zwischen der Leichenschau- und Sektionsdiagnose liegt hingegen nur bei 50-60 % vor. [126] Für tödliche Tauchunfälle ist die Durchführung einer Sektion in jedem Fall unbedingt erforderlich. In den meisten Fällen wird jedoch nach ausschließlich externer Untersuchung im Rahmen der Leichenschau die Diagnose „Tod durch Ertrinken“ gestellt und die Leiche freigegeben. Da für die Rechtsmediziner Ertrinken eine Ausschlussdiagnose darstellt, ist diese augenscheinliche Diagnose ohne weitere, die Ursachen abklärende und komplette, rechtsmedizinische Untersuchung eben gerade nicht auszuschließen. [5] Dabei sollten ausführliche externe, interne, histologische und toxikologische Untersuchungen stattfinden.

Ein tödlicher Tauchunfall stellt die Rechtsmedizin vor Herausforderungen, da die meisten Untersucher aufgrund der relativen Seltenheit dieser Todesfälle wenig Expertise im Umgang mit Tauchunfällen mitbringen [5, 110]. Demgegenüber steht die von vielen Autoren getroffene Empfehlung, dass der untersuchende Rechtsmediziner Kenntnis von Tauchphysik und Tauchphysiologie haben sollte [5, 6, 7, 61, 109, 111]. Während in Zentren nahe attraktiver und hoch frequentierter Tauchgebiete regelmäßig Sektionen tödlicher Tauchunfälle stattfinden, bleiben solche Fälle an den meisten Standorten die Ausnahme. Zudem finden tödliche Tauchunfälle in den meisten Standardwerken der Rechtsmedizin wenig Erwähnung. [5] Obwohl moderne Methoden und Ressourcen zur Abklärung von dysbaren Erkrankungen und Unfällen wie spezielle Sektionstechniken zum Nachweis von Gasansammlungen und Bildgebung durch Computertomographie vorliegen, werden diese selbst in Regionen mit viel Tauchsportaufkommen wenig genutzt. Koca et al. berichten beispielsweise in einer Veröffentlichung über 52 untersuchte tödliche Tauchunfälle in der Türkei, dass nur in 8 % der Fälle eine Bildgebung und in 17 % der Fälle spezielle Sektionstechniken angewendet wurden [109]. Die Besonderheit im Vergleich zu Sektionen von anderweitigen Ertrinkungsunfällen oder Todesfällen im Wasser anderer Genese besteht darin, die Ergebnisse der gängigen Sektionspraktik unter pathophysiologischen Aspekten der Tauchmedizin zu analysieren. Die meisten Tauchunfälle stehen im Zusammenhang mit den Auswirkungen von Druck und Inertgasen auf den Körper. Erforderlich für den Untersuchenden sind somit Kenntnisse der Tauchphysiologie und -pathophysiologie sowie von typischen Artefakten, die postmortal nach dem Atmen komprimierter Gase auftreten können. Wichtig ist ein systematischer, für Unfälle im Wasser spezifischer Ablauf der äußeren und inneren Untersuchung. Im Mittelpunkt sollten spezielle Techniken zum Nachweis/Ausschluss eines Ertrinkungstodes, sowie einer Überdehnung der Lunge mit arteriellen Gasembolien und weiteren spezifischen Folgen stehen. Die Kenntnis von einigen vom Standardvorgehen abweichenden Untersuchungen kann den Informationsgehalt bezüglich der Genese eines Tauchunfalls deutlich steigern. [5, 7, 61 Kap. 51]

Um die Ergebnisse einer Sektion bei einem tödlichen Tauchunfall valider zu machen, sind Modifikationen im Ablauf nötig. Die empfohlenen Zusatzuntersuchungen unterlagen in den letzten Dekaden Veränderungen. Einige Untersuchungspraktiken haben sich als wenig aussagekräftig gezeigt und werden aktuell nicht mehr empfohlen. Andere erwiesen sich als kompliziert in der Durchführung und wurden durch andere Verfahren oder durch bildgebende Verfahren wie die Computertomographie ersetzt. [61 Kap. 51]

Es gibt dennoch keinen Goldstandard und keine pathognomonischen Veränderungen, die eindeutig zu den Diagnosen einer Gasembolie oder einer Dekompressionskrankheit führen [5]. Die Herausforderung während der rechtsmedizinischen Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls besteht darin, die Ergebnisse der externen und internen körperlichen Untersuchung und der Zusatzverfahren in den Kontext des Unfallgeschehens zu stellen. Nach Abschluss der rechtsmedizinischen Untersuchung sollte die endgültige Diagnose erst nach Erhalt der allgemeinen Anamnese und tauchgangspezifischen Befragung sowie der Analyse der Atemgase und der Tauchausrüstung erfolgen. Grundsätzlich ist hierbei die Zusammenarbeit mit dem das technische Gutachten durchführenden Sachverständigen zu empfehlen. Das Gutachten kann dem rechtsmedizinischen Untersucher wichtige Informationen zum Unfallhergang und somit der Todesursache

bringen, beispielsweise in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer stattgehabten „out of air“-Situation, einer Dekompressionskrankheit oder einer Atemgasembolie. Es sollte grundsätzlich ein fachlicher Austausch mit dem Gutachter erfolgen. Der Rechtsmedizin sollten Ermittlungsergebnisse in Bezug auf die allgemeine Anamnese und die tauchspezifische Befragung zur Verfügung gestellt werden, vor allem zur medizinischen Vorgeschichte, dem Gesundheitsstatus und der Standardmedikation, weil Sporttaucher nicht selten gesundheitliche Probleme wie kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes oder chronische muskuloskelettale Probleme aufweisen. Häufig besteht eine Einnahme von zentral wirkender Schmerzmedikation. Vor allem bei älteren Tauchern spielen vorbestehende kardiovaskuläre Erkrankungen eine große Rolle in schweren oder tödlichen Tauchunfällen [5]. Die Sporttaucherpopulation umfasst immer mehr ältere Personen, weswegen in zunehmendem Maße kardiovaskuläre Erkrankungen auftreten [7].

Schlüsselorgane bei der rechtsmedizinischen Untersuchung von tödlichen Tauchunfällen sind Haut, Lunge, Herz, Mittelohr, Nasennebenhöhlen und das zentrale Nervensystem sowie das Blut mit Blutalkoholbestimmung und Drogenscreening, erweitert um die Bestimmung der Spiegel sedierender Medikamente.

Idealerweise sollten bis zur rechtsmedizinischen Untersuchung nur kurze postmortale Intervalle bestehen. Je größer das Zeitintervall zwischen dem tödlichen Tauchunfall und der rechtsmedizinischen Untersuchung ist, umso mehr wird die Sektion durch postmortale Veränderungen erschwert. Bei der Suche nach Todesursachen, bei denen im Körper gelöste Inertgase eine Rolle spielen, erhöhen Fäulnisgase den Schwierigkeitsgrad der Untersuchung deutlich. [6, 7] Eine zeitliche Verzögerung von Tagen zwischen dem Todeseintritt und der Sektion führt zudem zu Elektrolytverschiebungen im Körper, Veränderungen von Gewicht und Flüssigkeitsgehalt der Lunge sowie Veränderungen von Flüssigkeitsansammlungen wie Pleuraergüssen und zur Bildung von Alkohol [61 Kap 51]. In der Literatur wird von Koca der Beginn einer Durchführung einer rechtsmedizinischen Untersuchung innerhalb von maximal einem Tag empfohlen [109], von Lawrence/Cooke sowie Edmonds/Bennett/Lippmann ein Zeitintervall bis zur postmortalen Computertomographie von sogar nur 12 Stunden [6, 61 Kap. 51].

5.4.2 Postmortale radiologische Bildgebung

Vor Beginn der Sektion sollte eine radiologische Bildgebung zum Nachweis von Gasansammlungen durch Röntgenaufnahmen von Thorax und Abdomen oder, weil im Nachweis sensitiver, durch eine Computertomographie erfolgen [5, 7, 109]. Im Fokus der Suche stehen Pneumothorax, Emphysem, Gasembolien sowie intra- und extravaskuläre Gasblasen als Zeichen eines stattgehabten Dekompressionsunfalls.

Röntgenaufnahmen zeigen größere Mengen von Gas im rechten Ventrikel oder dem Truncus pulmonalis, in der Aorta oder den Halsvenen. Röntgenaufnahmen des Kopfes können größere Ansammlungen in den Hirngefäßen zeigen. Die Computertomographie ist deutlich sensitiver für kleinere Gasmengen in diesen sowie in allen anderen Geweben des Körpers. Teilweise können sogar kleine Gasblasen im Rahmen einer Dekompressionskrankheit im Rückenmark nachgewiesen werden. [6] Allerdings können mittels Computertomographie nachgewiesene kleinere

Gasmengen im Körper des Verunfallten aufgrund der hohen Sensitivität schwer zu interpretieren sein. Gasansammlungen treten nicht nur bei Dekompressionskrankheit und Atemgasembolie, sondern insbesondere auch durch Fäulnis und postmortale Dekompressionsartefakte auf [6, 7]. Zudem kann es zu Gasansammlungen durch Schlucken von Luft im Rahmen eines Ertrinkungstodes kommen, ebenso durch Traumata und Wiederbelebensmaßnahmen [7]. Auch die Beurteilung der Bildgebung, beispielsweise bei Auftreten von Gasansammlungen in Geweben, im Pleuraraum, in Magen oder Leber sowie extra- und intravasal, sollte deshalb unter Beachtung des Tauchprofils erfolgen. Dies ist nicht jedem Untersucher bewusst. Deswegen werden immer wieder Fälle beschrieben, bei denen eine Gasembolie als auslösender Faktor bestimmt wurde, obwohl das Tauchprofil ein Auftreten einer Gasembolie logischerweise ausschloss. [7, 61 Kap. 51] Die Interpretation der postmortalen Computertomographie und der Sektionsbefunde erfordert ein grundlegendes Verständnis der Prozesse, die bei tödlichen Tauchunfällen kausal relevante Gasansammlungen verursacht haben können [61 Kap. 51].

Die zeitnahe postmortale Computertomographie ist trotz der teilweise schwierigen Interpretation kleinerer Gasmengen der Standard. Sie ersetzt immer mehr das Röntgenbild. Der Fokus liegt dabei auf der Bildgebung von Kopf und Thorax. Im Idealfall sollte jedoch eine Ganzkörper-CT erfolgen, mindestens jedoch eine Bildgebung bis auf Höhe der Oberschenkel, um postmortale Dekompressionsartefakte von Gasembolien besser abgrenzen zu können. [7]

Abgesehen vom Gasembolienachweis ist die Computertomographie zum Ausschluss von Traumata sowie internistischer und neurologischer Differentialdiagnosen hilfreich. Zudem können Hinweise auf weitere tauchmedizinisch relevante Diagnosen gesehen werden, beispielsweise ein Lungenödem. Ein interstitielles Lungenödem tritt bei Ertrinkungssyndromen (Aspiration, Beinahe-Ertrinken und Ertrinken) auf, ebenso wie bei kardialen Erkrankungen und einem SDPE, das in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus tauchmedizinischer Forschung als eine Ursache unklarer Todesfälle bei Tauchern geraten ist. Eine radiologische Differenzierung der drei Ursachen eines Lungenödems ist schwierig bis unmöglich, zumal mehrere Phänomene gleichzeitig oder als Folge auftreten können, ebenso wie Flüssigkeit in den Atemwegen. Sie ist zwar nicht spezifisch für einen Ertrinkungstod, tritt jedoch häufig in diesem Kontext auf. [61 Kap. 51] Mittels CT nachweisbar sind zudem eine Lungenüberblähung (beim Emphysema aquosum) und kardiale Pathologien. Eine Computertomographie des Kopfes kann auch Ergüsse oder Blutungen im Mittelohr oder den Nasennebenhöhlen nachweisen. Sie können Hinweise auf ein stattgehabtes Barotrauma sein, entweder beim bewussten Abtauchen mit Problemen beim Druckausgleich oder im Rahmen eines Absinkens bei Bewusstlosigkeit oder unmittelbar postmortal. [7, 6 Kap. 51]

Je früher die Bildgebung erfolgt, umso zuverlässiger können robuste tauchmedizinisch assoziierte Befunde erhoben werden. [7] Ziel sollte daher ein Zeitintervall bis zur Computertomographie von maximal 12 Stunden sein [6, 61 Kap. 51]. Eine zeitverzögerte Computertomographie ist jedoch in jedem Fall besser, als diese zu unterlassen [61 Kap. 51]

Im Folgenden werden die wichtigsten Diagnosen und Artefakte detailliert dargestellt, die im Rahmen eines tödlichen Tauchunfalls in Form kleinerer oder größerer Gasvolumina auftreten können.

5.4.2.1 Postmortale Dekompressionsartefakte (PMDA)

Bei der Analyse tödlicher Tauchunfälle muss sich der Untersucher des Phänomens in der postmortalen Computertomographie nachweisbarer postmortaler Dekompressionsartefakte bewusst sein, um Fehldeutungen zu vermeiden. Diese Artefakte können bei jedem tödlich verunfallten Taucher präsent sein, der während der Atmung von komprimiertem Inertgas unter Wasser verstirbt. Beim Todesfall unter Wasser oder kurz nach dem Auftauchen kann es zu postmortalen Dekompressionsartefakten kommen, wenn die Gewebe mit gelösten Inertgasen übersättigt sind, ohne dass eine Blutzirkulation zur Auswaschung beitragen kann. [7] Solche Gasansammlungen zeigen sich sowohl intravaskulär als auch in den Geweben [6]. Verstirbt ein Taucher direkt nach der Druckexposition, treten kaum postmortale Dekompressionsartefakte auf [61 Kap. 51]. Besonders ausgeprägt können Dekompressionsartefakte nach langen und/oder tiefen Tauchgängen auftreten. Es kann jedoch auch bei Tauchgängen mit flacheren und kürzeren Profilen zu diesem Effekt kommen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens postmortaler Dekompressionsartefakte, der Zeitpunkt des ersten Auftretens sowie die qualitative und quantitative Ausprägung sind abhängig von Tiefe und Dauer des Tauchgangs und somit der hyperbaren Exposition. [7] In extremer Ausprägung können die Artefakte in Form ausgedehnter Emphyseme auftreten, sich in allen Geweben manifestieren und das Blut sowohl im arteriellen als auch im venösen System sowie in beiden Herzkammern im Sinne eines „Gas-Angiogramms“ verdrängen. Eine Differenzierung zu Gasansammlungen durch Gasembolien nach Überdehnung der Lunge kann hierbei sehr problematisch sein. Das Auftreten von Gasansammlungen in den Faszienschichten des Oberschenkels scheint spezifischer für postmortale Dekompressionsartefakte zu sein, so dass die Computertomographie immer bis auf Höhe der Oberschenkel gefahren werden sollte. [7, 61 Kap. 51] Auch das Auftreten in Muskulatur und Gelenkstrukturen hilft bei der Abgrenzung zur arteriellen Gasembolie [6]. Bezüglich des zeitlichen Auftretens der postmortalen Dekompressionsartefakte beschreiben Edmonds und Caruso die Metaanalyse einiger Tierversuche, bei denen typische Tauchprofile menschlicher Taucher angewendet wurden. Das erste Auftreten von postmortalen Dekompressionsartefakten wurde in diesen Versuchen bereits nach einer Stunde beobachtet, die Progression der Effekte entwickelte in den nachfolgenden bis zu 8 Stunden. [7]

5.4.2.2 Fäulnisgase

Kleine Ansammlungen von Gas in der Leber sind zumeist Fäulnisartefakte, da Fäulnisgase initial im Gastrointestinaltrakt, den Portalvenen und der Leber auftreten [6, 7]. Mit fortschreitendem Prozess können Gasartefakte durch Fäulnis in allen Organen/Geweben nachweisbar sein. Die Bildung von Fäulnisgasen ist abhängig von der Umgebungstemperatur. In kaltem Wasser ist der Beginn der Fäulnis verzögert. In 20°C warmem Wasser beginnt die Fäulnis nach wenigen Tagen, in 30°C warmem Wasser bereits nach Stunden. [61 Kap. 51] Lawrence/Cooke beschreiben für einen ungekühlten Körper bereits 12 Stunden postmortal erste Fäulnisgase in den Portalvenen und Lebervenen sowie innerhalb von 36 Stunden relevante Gasansammlungen intravaskulär und in den Geweben [6]. Edmonds/Caruso beschreiben das Auftreten von Fäulnisgasen bei ungekühlten

Körpern ca. 24 h postmortal abhängig von Umgebungsfaktoren mit einer Varianz von 3 bis 72h [7].

5.4.2.3 Gasvolumina durch Trauma/kardiopulmonale Wiederbelebung

Im Rahmen eines kardiopulmonalen Wiederbelebungsversuches können invasive Maßnahmen wie intravenöse oder arterielle Zugänge zu lokalen intravasalen Gasansammlungen führen. Traumata können mit lokalen Gasansammlungen einher gehen. Das lokale Auftreten und die relativ geringen Gasmengen können in der differentialdiagnostischen Abgrenzung gegenüber Gasembolien wegweisend sein. [7] Wiederbelebungsversuche mit endotrachealer Intubation und positiven Ventilationsdrücken führen in einigen Fällen zu intrakardialem Nachweis von Gas [6]. Herzdruckmassagen können mit dem Auftreten von Weichteilemphysemen einhergehen. Edmonds/Caruso berichten in einem Literatur-Review zudem über das Auftreten von meist sehr kleinen Gasblasen im venösen System und dem rechten Herzen bei Patienten, die vor ihrem Tod eine Herzlungen-Wiederbelebung erhalten haben. In einigen Fällen zeigten sich dabei auch Gasblasen in den Hirnvenen, was durch einen retrograden Fluss zum Gehirn gegen den Blutstrom sowie durch den Effekt einer thorakalen Druckmassage zu erklären ist. Dabei kann es zur Umverteilung der ursprünglich vorhandenen Gasmengen kommen. [7] Eine kardiopulmonale Wiederbelebung kann dazu führen, dass initial venöse Gasansammlungen, beispielweise bei einer DCS, über ein persistierendes Foramen ovale in den arteriellen Kreislauf übertreten. Die Gabe von Sauerstoff bei Erste-Hilfe-Maßnahmen reduziert das initiale Gasvolumen und die Anzahl der Gasblasen [61 Kap. 51]. Hilfreich ist bei der Beurteilung dieser Artefakte die Kenntnis, ob und welche invasiven Maßnahmen und Wiederbelebungsversuche stattgefunden haben, beispielweise durch Übermittlung des Notarztprotokolls oder nach Rücksprache mit dem polizeilichen Ermittler.

5.4.2.4 Ertrinken

Nach Aspirieren von Flüssigkeit kommt es in den Atemwegen zu einer Mischung aus Luft, Ertrinkungsflüssigkeit, Ödemflüssigkeit und muzinhaltigem hypersezerniertem Bronchialsekret. Diese Mischung führt an der Wasseroberfläche zum Auftreten des bei tödlichen Tauchunfällen häufig gesehenen Schaumpilzes vor Mund und Nase. [7, 10, 55] Der Schaumpilz dehnt sich nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte beim Auftauchen bzw. postmortal bei der Bergung aus. Die Ausdehnung kann mittels Computertomographie nachvollzogen werden. Zusätzlich zur Aspiration von Wasser kommt es bei einem Ertrinkungstod beim Gerätetauchen oft zum Schlucken von Luft und Wasser in den Gastrointestinaltrakt. Nach einem Ertrinkungstod in der Tiefe kann es beim Aufstieg im Magen zur Ausdehnung von Gasvolumina gemäß Boyle-Mariotte kommen. Somit sind in der Computertomographie nach einem Ertrinkungstod gegebenenfalls Gasvolumina im Magen nachweisbar. [7] Die Computertomographie kann weitere Befunde zeigen, die üblicherweise bei Ertrinkungsfällen auftreten, wie ein Emphysema aquosum.

5.4.2.5 Dekompressionskrankheit

Die Dekompressionskrankheit ist im Verhältnis zur arteriellen Gasembolie heutzutage selten die primäre Ursache tödlicher Tauchunfälle, insbesondere dann, wenn der Tod bereits im Wasser eintritt. Bei Todesfällen durch eine Dekompressionskrankheit kommt es häufig zu einer zeitlichen Latenz mit Hospitalisierungsphase, bevor der damit assoziierte Tod eintritt [5]. Zudem ist eine Exposition zu höherem Druck und somit größeren Tiefen und einer gewissen Dauer des Tauchgangs Voraussetzung. Ein schneller Aufstieg ohne Dekompressionsstopps ist hierbei verstärkend. Für die Diagnosestellung wird das Tauchprofil darauf überprüft, ob für eine primär tödliche Dekompressionskrankheit Erklärungen zu finden sind. Edmonds/Caruso schildern in ihrem Literatur-Review zweier Arbeiten über das Auftreten von Gasblasen im Rahmen von Dekompressionskrankheiten, dass es in weniger akuten Fällen zum Auftreten von Gasansammlungen im venösen System und im rechten Herzen kommen kann. Dies wurde beispielsweise in Autopsien von an einer Dekompressionskrankheit Verstorbenen beobachtet, bei denen die Verstorbenen längere Zeit in größerer Tiefe verbrachten, jedoch einen langsamen Aufstieg und somit eine geringe Wahrscheinlichkeit für stattgehabte Gasembolien hatten. In diesen Fällen kam es zum Tod mit einer Latenz von einigen Stunden nach dem Vorfall. Hingegen zeigten sich bei Fällen von Dekompressionskrankheit bei Tauchern, die rasch nach Auftreten der Erkrankung starben oder in ganz akuten Fällen Gasansammlungen im venösen und arteriellen System sowie weitreichend in vielen Geweben, wobei die Deutung der Effekte der Dekompressionskrankheit durch diejenigen einer begleitenden Überdehnung der Lunge oder durch postmortale Dekompressionsartefakte verkompliziert werden kann. Je akuter sich die klinische Dekompressionskrankheit zeigt, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit von postmortalen Dekompressionsartefakten. [7, 61 Kap. 51] Edmonds/Caruso beschreiben zudem, dass es im Rahmen von fatal verlaufenden Dekompressionskrankheiten zu Ansammlungen von Gasblasen vor allem in Blutgefäßen und lipidreichen Geweben wie Myelin und Unterhautfettgewebe kommt [7]. Histologisch zeigen sich Hämorrhagien, Inflammation und Nekrosen um die Gasblasen, jedoch sind diese erst nach einigen Stunden und nur bei subakut letal verlaufenden Fällen nachweisbar. PMDA verursachen keine solche Reaktion, da sie erst nach dem Tod auftreten. [61 Kap. 51]

5.4.2.6 Arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lunge („Pulmonales Barotrauma“)

Das sogenannte pulmonale Barotrauma ist pathophysiologisch eine Überdehnung der Lunge mit Alveolarrupturen. Randständige Lungenrisse können zum Pneumothorax führen. Zentrale Lungenrisse führen zur Gasembolie, wobei das Gas zuerst in die Pulmonalvenen, dann ins linke Herz und das arterielle System eindringt. [55] Bei aufrechter Körperposition beim Auftauchen und an der Wasseroberfläche sammeln sich Gasblasen vor allem in den Hirnarterien [61 Kap. 51] Gasblasen im Sinne einer arteriellen Gasembolie können Gefäße verschließen und dort persistieren [7]. Zeigen sich die Gasblasen vor allem in Arterien und im linken Herzen, ist eine Gasembolie wahrscheinlich. Gasblasen im Circulus Willisii und den Arterien der Hirnbasis sind dabei signifikanter für eine Gasembolie als in den Hemisphären oder Sinusvenen. Gasansammlungen, die vor allem im linken Herzen vorliegen, steigern ebenfalls die Wahrscheinlichkeit einer Gasembolie. [5, 6, 7, 112]

Auch bei der Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie kann es bei Ansammlungen kleinster Gasblasen in den Arteriolen zu Gasansammlungen im venösen System kommen. In einigen Arteriolen kommt es zur Obstruktion; der Übertritt von Gas ins venöse System ist jedoch über pulmonale Shunts möglich [6, 7]. Reanimationsmaßnahmen verstärken diesen Effekt [61 Kap. 51]. Zudem können Gasblasen über ein interstitielles Lungenemphysem nach Lungenruptur ins lymphatische System der Lunge gelangen und von dort aus ins venöse System und ins rechte Herz übertreten. Wenn Gas nach der Alveolarruptur ins interstitielle Gewebe gelangt, kommt es zur Ausbildung eines Emphysems im Mediastinum und den Halsweichteilen. [61 Kap. 51] Für die Differentialdiagnose einer Überdehnung der Lunge mit arterieller Gasembolie ist mehr denn je die exakte Kenntnis des Tauchprofils wichtig, insbesondere, ob es zu einem raschen Aufstieg mit folgender Bewusstlosigkeit kam [5, 7]. Eine Überdehnung der Lunge ohne schnellen Aufstieg ist unwahrscheinlicher, allerdings nicht ausgeschlossen. Begleitende Befunde ein Pneumothorax, ein Pneumoperitoneum oder Pneumomediastinum weisen stark auf eine Überdehnung der Lunge hin [7]. Wegweisend ist das zeitliche Auftreten. Extraalveoläre Gasansammlungen durch ein pulmonales Barotrauma sind sofort nach dem Ereignis nachweisbar [61 Kap. 51].

Postmortale Computertomographie	Rechtsmedizin
Detektion von Gasansammlungen durch Dekompressionsunfälle (DCI) <ul style="list-style-type: none"> - arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lunge <ul style="list-style-type: none"> ○ Pneumothorax ○ Pneumomediastinum ○ Pneumoperitoneum ○ Intravaskuläre Gasansammlungen und Gasembolien, v.a. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pulmonalvenen ▪ Linkes Herz und arterielles System ▪ Circulus Willisii und Arterien der Hirnbasis ▪ Bei Shunts auch Auftreten im venösen System - Dekompressionskrankheit (DCS) <ul style="list-style-type: none"> ○ Emphyseme/Gasblasen in Geweben, v. a. lipidreichen Geweben wie Myelin und Unterhautfettgewebe ○ intravaskuläre Gasansammlungen, v. a. venös/rechtskardial 	
Nachweis von Hinweisen auf einen Ertrinkungstod <ul style="list-style-type: none"> ○ Emphysema aquosum ○ Flüssigkeiten in Trachea und Hauptbronchien ○ Gegebenenfalls größere Gasansammlungen im Magen 	
Ausschluss von Traumata, internistischer und neurologischer Differentialdiagnosen	
Hinweise auf ein Barotrauma im HNO-Bereich <ul style="list-style-type: none"> ○ Ergüsse oder Blutungen im Mittelohr oder den Nasennebenhöhlen 	
Nachweis eines Lungenödems mit folgenden Differentialdiagnosen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Kardiales Ödem ○ Ertrinken ○ Taucherlungenödem(SDPE)/SIPE/IPE 	
Dokumentation von Artefakten <ul style="list-style-type: none"> ○ Postmortale Dekompressionsartefakte ○ Fäulnisgase ○ Gaseinschlüsse durch Traumata/kardiopulmonale Wiederbelebung 	

Tab. 35: Postmortale Computertomographie

5.4.3 Externe Untersuchung

Die standardisierte gründliche externe Untersuchung muss um einige spezielle Untersuchungen ergänzt werden; zudem rücken bei tödlichen Tauchunfällen manche Fragestellungen und Ausschlussdiagnosen verstärkt in den Fokus. Im Folgenden werden vor allem die speziellen Untersuchungen und Fragestellungen in Bezug auf tödliche Tauchunfälle diskutiert.

Bei der externen Untersuchung sollten vor Entkleidung der Leiche zunächst sorgfältige Übersichts- und Detailaufnahmen zur Dokumentation vor und nach Abnahme von Ausrüstung und Entfernung medizinischer Utensilien wie Notfallzugänge und Materialien zur Sicherung der Atemwege erfolgen [111]. Eine Kenntnis über die stattgehabten invasiven Maßnahmen kann bei der Beurteilung von Gasansammlungen relevant sein [7]. Auch Kenntnisse über den Bergungsvorgang können differentialdiagnostisch wichtig sein, falls es zu Bergeverletzungen gekommen ist [55].

Bei der Untersuchung der Haut fallen häufig typische Veränderungen auf, die durch längere Liegezeit im Wasser und Fäulnisprozesse bedingt sind. Je nach Wassertemperatur und Liegezeit kann es unterschiedlich rasch zu Auswirkungen von Autolyse und Fäulnis sowie zur Mazeration kommen. Diese beinhalten Hämolyse mit Erythem von Schleimhäuten und Skleren, Durchschlagen der Venennetze sowie Gasbildung mit Auftreibung von Abdomen, Unterhautfettgewebe und Hoden, sowie Dunsung des Gesichts. Diese erwähnten Leichenveränderungen sind mit Prozessen an der Luft vergleichbar, allerdings verläuft die Fäulnis im Wasser gemäß Casper-Regel halb so schnell wie an der Luft. Eine wesentliche Fäulnis mit Gasbildung tritt erst bei Temperaturen von mehr als 5 °C auf. Nach der Bergung aus dem Wasser zeigen sich die Fäulnisprozesse dann aber innerhalb weniger Stunden rasch progredient, was die Bedeutung einer zeitnahen Zuführung zur Sektion unterstreicht. [55] Unter Wasser verläuft die Fäulnis an unbedeckten Stellen wie dem Gesicht schneller als an bedeckten Stellen wie dem Rumpf, wohingegen nach der Bergung der isolierende Effekt des Tauchanzugs die Verzögerung der Fäulnis durch Kühlung an Rumpf und Extremitäten verhindert. Die Haut von Wasserleichen kann zudem regional begrenzte rot-violette Verfärbungen durch farbstoffbildende Bakterien aufweisen [55]. Je nach Liegezeit kann es bei Wasserleichen zu einer Quellung und Runzelung der Haut an Fingern und Zehen, der sogenannten Waschhaut, kommen. Dieser Prozess beginnt bereits ab 15 min Wasserzeit [128]. Im weiteren Verlauf von Tagen bis Wochen kann sich die Oberhaut ablösen; Haare und Nägel sind ausziehbar [10 S. 157, 127, 128]. Die Waschhautbildung ist wie die Fäulnis temperaturabhängig [10 S. 157]. Zudem besteht eine Abhängigkeit von der Osmolarität. Somit nimmt die Waschhautbildung in Süßwasser einen anderen Entwicklungsverlauf als in Salzwasser [128]. Bei bekannter Wassertemperatur und Osmolarität kann aus der Progression dieser Phänomene orientierend die Mindestliegezeit einer Wasserleiche bestimmt werden [128].

Nach einem tödlichen Tauchunfall können Leichen je nach Todesursache tauchmedizinisch spezifische Befunde aufweisen. Eine *Cutis marmorata* kann beispielsweise ein Hinweis auf eine Dekompressionskrankheit sein [2].

In allen Meeresgewässern sind Taucher in geographisch unterschiedlicher Ausprägung durch Kontakt, Stiche und Bisse giftiger (Meeres-) Lebewesen

gefährdet, so dass solche Ereignisse bei der Inspektion bedacht werden sollten. Selbst wenn das Ereignis an sich nicht sofort tödlich war, kann es durch die Umstände oder den Schmerz zu einem Verlust der Selbstkontrolle gekommen sein. [5, 6, 112] Bei tödlichen Tauchunfällen, die in Gewässern mit giftigen Meerestieren stattfanden, sollte sorgfältig nach kleinsten Kontaktmarkern auf der Haut gesucht werden [61].

Akzidentelle Kollisionen von Tauchern mit motorisierten und nicht-motorisierten größeren oder kleineren Wasserfahrzeugen stellen ein großes Risiko dar. Insbesondere in hoch frequentierten Wassersportgebieten werden Taucherzeichen (Taucherflagge, Flagge Alpha), wenn sie überhaupt gesetzt wurden, häufig missachtet. Stumpfe Kollisionsverletzungen betreffen Kopf- und HWS-Bereich. Propellerkontakte verursachen tiefe, glattrandige, meist stark blutende Wunden und teilweise Amputationsverletzungen. Solche Kollisionsverletzungen sind für Taucher oft primär oder sekundär tödlich. Grundsätzlich ist nach Traumata zu suchen, die mit dem Unfallgeschehen in Verbindung stehen könnten. Hierbei sind ebenfalls insbesondere Kopf- und Halswirbelverletzungen zu nennen [6, 112]. Zu differenzieren sind Abschürfungen an Stirn, Handrücken sowie Streckseiten der Knie und Füße, die bei Wasserleichen in Gewässern mit Strömung durch die typische Treibhaltung in Bauchlage mit abgelenktem Kopf auftreten können [55, 10 S.157]. Dies gilt jedoch hauptsächlich für Todesfälle abseits des Gerätetauchens. Durch die schwere, meist auf dem Rücken befindliche Gerätschaft werden verunfallte Taucher häufig aus einer Rückenlage und in Kopftieflage geborgen. Allerdings bestimmt auch die in Tauchanzug und Jacket befindliche Luftmenge die Lage.

Gegebenenfalls sind an einem Körper, der einige Zeit unter Wasser gelegen hat, auch postmortale Veränderungen durch Tierfraß zu erkennen. Diese können sowohl in Form von Hautperforationen durch Insektenlarven als auch in Form von größeren Defekten durch Seeflöhe, Fische, Nagetiere oder Seevögel vorliegen. Tierfraß zeigt sich bei Tauchern aufgrund der Schutzbekleidung besonders oft im Gesicht, rund um Augen und Mund und an den Ohren. Derartige Läsionen weisen im Gegensatz zu vor dem Ableben entstandenen Verletzungen wie Abschürfungen oder Prellungen keine Blutungen in den darunterliegenden Gewebsschichten auf. [6, 55]

Bei der Inspektion des Kopfes sollte nach externen Zeichen von Barotraumata im Rahmen eines schnellen Abtauchens/Absinkens gesucht werden, insbesondere nach kleinen konjunktivalen Blutungen und Kompressionsmarken im Bereich der Maske. Barotraumata können wegweisend für die Rekonstruktion des Geschehens sein, da die genannten Effekte im Rahmen eines Absinkens ohne Druckausgleich im Rahmen einer Ohnmacht bei erhaltener Vitalität auftreten [6, 61 Kap. 51]. Gleiches gilt für Barotraumata der Ohren, so dass eine Untersuchung der Trommelfelle auf Perforationen und Einblutungen erfolgen sollte [2, 61 Kap. 51]. Bei Benutzung von Trockentauchanzügen kann ein Barotrauma der Haut durch Kompression des Anzugs auftreten [61]. Erbrochenes wird häufig nachgewiesen und kann ursächlich für den Unfall sein oder eine Folge anderer auslösender Faktoren [61 Kap. 51]. Zur differentialdiagnostischen Abklärung eines stattgehabten zerebralen Krampfanfalls sollten Zunge und Lippen auf Bissspuren untersucht werden [2, 6]. Ebenso sollten der Mund/Rachenraum auf Fremdkörper untersucht werden. Edmonds/Bennett beschrieben beispielsweise einen Kasus, bei dem eine verschluckte Zahnprothese den fatalen Prozess einleitete [61 Kap. 51].

Bei der Untersuchung von Hals und Thorax muss ein Tastbefund nach Gasknistern im Gewebe im Rahmen eines subkutanen Emphysems infolge eines Mediastinalemphysems nach Überdehnung der Lunge erhoben werden [2, 5, 112]. Wenn die Lungenschädigung bereits deutlich unter der Wasseroberfläche eingetreten ist, kann sich das subkutane Emphysem aufgrund der weiteren Gasausdehnung bei abnehmendem Druck sehr massiv mit monströsen Schwellungen im Schulter- und Halsbereich bis hinauf ins untere Gesicht zeigen. Auch postmortale Dekompressionsartefakte können ausgeprägte Emphyseme erzeugen. [61 Kap. 51]

Die Untersuchung des Abdomens kann bei tödlichen Tauchunfällen eine Auftreibung des Abdomens zeigen. Diese ist durch Zunahme von Gasvolumina im Gastrointestinaltrakt gemäß Boyle-Mariotte im Rahmen des Bergungsvorgangs bedingt. Die Gasvolumina sind bei Gerätetauchern teilweise auf das Schlucken von Luft im Rahmen des Ertrinkungstodes zurückzuführen. [61 Kap. 51]

Es bestehen nur wenige äußere Hinweise auf einen Ertrinkungstod. Von besonderer Bedeutung ist der Schaumpilz. Dieser ist zwar nicht beweisend für einen Ertrinkungstod, jedoch von hohem Beweiswert [55]. Er entsteht in den meisten Fällen eines Ertrinkungstodes sowohl in Süß- als auch in Salzwasser bei und nach Bergung der Leiche aus dem Wasser. Der Schaum besteht aus einer durch den agonalen Kampf aufgeschäumten Mischung aus Luft, Ertrinkungsflüssigkeit, Ödemflüssigkeit und Bronchialschleim, welcher im Rahmen des Ertrinkungsvorgangs verstärkt sezerniert wird. Der Muzingehalt des Surfactants gibt dem Schaumpilz eine ausgeprägte Stabilität, so dass er über Stunden bis Tage bestehen bleiben kann. Die Konsistenz wird in der Literatur als feinblasig und „rasierschaumartig“ beschrieben. Das Auftreten nach Bergung ist durch eine postmortale Verkleinerung des Lungenvolumens bedingt, so dass der Schaumpilz nach Bergung über eine gewisse Zeit anwachsen kann [55]. Bei geborgenen Leichen nach Tauchunfällen kann der Schaumpilz zum Teil erhebliche Größe erreichen, da sich das im Sekret enthaltene Gasvolumen gemäß des Boyle-Mariotte'schen Gesetz bereits bis zum Erreichen der Wasseroberfläche ausdehnt. Gelangt Flüssigkeit erst post mortem im umgebendem Medium Wasser in die Atemwege, kommt es im Rahmen der Bergung aus der Tiefe nicht zu einer ausgeprägten Schaumpilzbildung wie es bei Aspiration zu Lebzeiten mit agonalem Kampf der Fall ist [61 Kap. 51]. Im Gegensatz zum Ertrinkungs-Schaumpilz sind Schaumpilze anderer Genese grobblasig und instabil, wie etwa bei einem kardial bedingten Lungenödem. [55]

Bei tödlichen Tauchunfällen sind neben dem Ertrinkungs-Schaumpilz häufig blutige Abrinnsuren aus Mund- und Nasenostien zu beobachten. Sie sind Zeichen für ein Barotrauma im HNO-Bereich, dies zumeist im Bereich der Mittelohren und der Nasennebenhöhlen.

Ein weiteres äußeres Zeichen für einen Ertrinkungstod kann eine intensive Zyanose von Gesicht, Hals und Schultern sein. In der Literatur wird dieses Phänomen als unspezifisch beschrieben [55]. Bei Tauchern kann die Zyanose in diesem Bereich durch die lageabhängige Stauung bedingt sein, da tauchunfallbedingte Wasserleichen häufig in Kopftieflage vorgefunden werden. In den Fallbeispielen tödlicher Tauchunfälle im Hemmensee, bei denen Bildmaterial vorlag, war eine Zyanose von Gesicht, Hals und Schultergürtel in den meisten Fällen nachweisbar.

Wie in jedem forensischen Fall ist auch im Rahmen von tödlichen Tauchunfällen nach Hinweisen zu suchen, die auf Fremdeinwirkung deuten können.



Abb. 41/42. Links (41): Beispiel eines ausgeprägten Schaumpilzes nach Bergung aus 30 m Wassertiefe. Rechts (42): Zusätzlich zum Schaumpilz liegen blutige Abrinnsuren als Zeichen eines Barotraumas im HNO-Bereich vor.

Externe Untersuchung	Rechtsmedizin
Übersichts- und Detailaufnahmen zur Dokumentation vor und nach Abnahme von Ausrüstung und Entfernung medizinischer Utensilien	
Zeichen von Barotraumata im Kopfbereich <ul style="list-style-type: none"> ○ konjunktivale Blutungen ○ Kompressionsmarken ○ blutige Abrinnsuren aus Ohren, Mund, Nasenostien ○ Trommelfellperforation (Otoskopie) 	
Äußere Zeichen für einen Ertrinkungstod <ul style="list-style-type: none"> ○ Schaumpilz ○ Zyanose von Gesicht, Hals und Schultern (unspezifisch) 	
Hinweise für ein Anfallsleiden <ul style="list-style-type: none"> ○ Zungenbiss 	
Äußere Zeichen für eine Überdehnung der Lunge <ul style="list-style-type: none"> ○ Gasknistern bei Mediastinalemphysem 	
Untersuchung auf Traumata <ul style="list-style-type: none"> ○ Stiche/Bisse giftiger (Meeres-) Lebewesen ○ Kollisions- und Propellerverletzungen ○ Postmortale Traumata durch Treibhaltung ○ Tierfraß ○ Hinweise auf Fremdeinwirkung 	
Dokumentation von postmortalen Veränderungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Autolyse/Fäulnis ○ Mazeration ○ Verfärbungen durch farbstoffbildende Bakterien ○ Waschhaut 	

Tab. 36: externe Untersuchung

5.4.4 Sektion/Interne Besichtigung

Die Sektion (auch Obduktion, Leichenöffnung, innere Leichenschau) ist das Kernstück der rechtsmedizinischen Untersuchung und dient der definitiven Abklärung der Todesursache, der Diagnose von Grund- und Nebenerkrankungen des Verstorbenen und der Feststellung des Krankheitsverlaufs und des Sterbevorgangs [126]. Bei Sektionen von tödlichen Tauchunfällen handelt es sich aufgrund des per se nichtnatürlichen Todes um forensische Sektionen, die im behördlichen Auftrag erfolgen und in der Strafprozessordnung geregelt sind. Die Vorgehensweise für rechtsmedizinische (auch: forensische) Sektionen ist in einer Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin von 2017 festgehalten [8].

Die interne Untersuchung sollte leitliniengerecht mit Eröffnung der drei Körperhöhlen (Kopf-, Brust- und Bauchhöhle) erfolgen. Bei speziellen Fragestellungen sollte sie auf die Untersuchung des Wirbelkanals einschließlich Rückenmark und seinen Häuten oder um eine Präparation des muskuloskelettalen Systems ausgedehnt werden. [8] Diese Untersuchungen können beispielsweise beim Verdacht einer Dekompressionskrankheit eine Rolle spielen. Die Untersuchungen der Körperhöhlen sollten zudem mit der Beschreibung vorhandener oder nicht vorhandener Fremdinhalte und Messung der Volumina erfolgen, etwa bei Vorliegen von Gas, Blut oder Flüssigkeiten [8]. Die Organe sollten erst in situ, dann nach Entfernung aus dem Körper und einer Gewichtsbestimmung sorgfältig und komplett außerhalb des Körpers untersucht werden [111].

Bei tödlichen Tauchunfällen liegt der Fokus der internen Untersuchung auf Zeichen eines Ertrinkungstodes und Veränderungen, die durch Auswirkungen von Druck und Inertgasen auf den Körper entstanden sind. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf Gasansammlungen in den Körperhöhlen und den Gefäßen, sowie auf einen Pneumothorax, ein Emphysem und Bullae gelegt werden, welche durch spezielle Sektionstechniken detektiert werden können [109].

Zu beachten ist hierbei, dass jeder Körper, der unter Wasser komprimiertem Gas ausgesetzt war, post mortem Gas in den Gefäßen, im Herzen und diversen Geweben aufweisen kann, vor allem nach tiefen und/oder längeren Tauchgängen, nach schnellen Aufstiegen und bei höheren Umgebungstemperaturen. Grundsätzlich kommt es post mortem zum Gasaustritt aus den Geweben. Fäulnisgase bilden sich rasch und können die Beurteilung von Gasvolumina erschweren. Es gilt hierbei die gleichen Artefakte zu kennen und zu beachten wie bei der beschriebenen computertomographischen Auswertung. Die Ergebnisse der Sektion müssen zur Interpretation somit immer im Zusammenhang mit dem Tauchprofil interpretiert werden und mit den computertomographischen Befunden verglichen werden.

In der Vergangenheit gab es Empfehlungen, initiale Präparationen von kranialen und thorakalen Körperhöhlen in Immersion durchzuführen, um Gasvolumina im Herzen und in den Gefäßen nachzuweisen. Diese Empfehlungen wurden aus verschiedenen Gründen aufgegeben, unter anderem aus Gründen der Praktikabilität und aufgrund der eingeschränkten Sicht und Verletzungsgefahr bei Präparationen in Flüssigkeit [6, 61]. Lawrence/Cooke beschreiben die Durchführung einer Computertomographie vor der Sektion als zuverlässiger als die üblichen Präparationstechniken [6]. Mittlerweile haben sich neben der postmortalen Computertomographie bei internationalen Experten spezielle, im weiteren Verlauf erläuterte, Sektionstechniken etabliert, durch

die ein qualitativer und quantitativer Nachweis von Luftembolisation und der Ausschluss von Fäulnisgasen erfolgen können.

5.4.4.1 Untersuchung des Thorax

Bei der Untersuchung von Thorax und Thoraxorganen sind die zahlreiche Besonderheiten zu beachten.

5.4.4.1.1 Besonderheit Überdehnung („Barotrauma“) der Lunge/Luftembolie

Als Besonderheit bei der Sektion tödlich verunfallter Taucher ist zu beachten, dass ein sogenanntes Barotrauma der Lunge, besser ausgedrückt als Überdehnung der Lunge und präziser beschrieben als partielle Überdehnungen der Lunge (Air Trapping“), mit nachfolgend auftretenden arteriellen Atemgasembolien in vielen Fällen eine Rolle spielt. Bereits bei der Entfernung der Brustplatte sollte auf entweichendes Gas aus angeschnittenen Gefäßen und auf Gasblasen in den Brustwandgefäßen geachtet werden [5, 112].

Gemäß der Leitlinie zur rechtsmedizinischen Leichenöffnung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin [8] ist beim Verdacht einer Luftembolie (nicht nur nach Tauchunfällen, sondern auch iatrogen oder suizidal) eine spezielle Sektionstechnik anzuwenden. Die Leitlinie unterstreicht die Notwendigkeit eines möglichst zeitnahen Obduktionstermins. Ziel der Technik ist der „qualitative und quantitative Nachweis der Luftembolisation und der Ausschluss von Fäulnisgasbildung bzw. Artefakten“. Auch das prädiagnostische Screening mit bildgebenden Verfahren durch Computertomographie wird hervorgehoben. Zur Sicherung der Diagnose "Luftembolie" wird laut Leitlinie als erste Maßnahme an der Leiche die kardiale "Luftembolieprobe" durchgeführt: „Noch vor Eröffnung der Schädelhöhle, der Halsweichteildarstellung oder anderer Präparationsschnitte wird der Hautlängsschnitt unterhalb der Drosselgrube angesetzt und der Thorax vorsichtig und schonend gefenstert. Das Brustbein wird dabei nur bis zur 2. Rippe gelöst und dann quer durchtrennt. Nach Entfernung der unteren Dreiviertel des Brustbeines erfolgt eine knappe Spaltung des Perikards über der Herzbasis und der Herzbeutel wird bis zum Rand mit Wasser gefüllt, so dass das gesamte Herz von Wasser bedeckt ist. Unter Einsatz eines Aspirometers werden beide Herzkammern separat unterhalb der Wasserlinie mittels Aspirometernadel punktiert und die Luft bzw. das Gas bis zur vollständigen Entleerung des Ventrikels aspiriert. Die quantitative Messung der Ventrikelfüllung ist damit möglich. Zur qualitativen Bestimmung wird die Luft bzw. das Gas unter Luftabschluss asserviert und gaschromatografisch analysiert. Dafür wird ein speziell präpariertes - vollständig mit destilliertem Wasser aufgefülltes - head-space - Gefäß verwendet“. [8: „Nachweis einer Luftembolie“]

In Ländern wie Australien, Neuseeland und den USA haben sich regelmäßige und standardisierte rechtsmedizinische Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle bereits etabliert [2]. Einige in diesem Gebiet spezialisierte Untersucher beschreiben in der Literatur spezielle Verfahren zum Nachweis von Gasembolien im Herzen.

Caruso beschreibt sein Vorgehen in seinem Artikel „post-mortem - how to?“ wie folgt: Nach Eröffnung des Perikards und Nachweis, bzw. Ausschluss eines

Perikardergusses kann die Perikardhöhle mit Wasser gefüllt werden. Hierbei kann bereits die Perikardhöhle selbst grob auf ein Pneumoperikard untersucht werden. Im Anschluss wird ein Skalpell oder eine Nadel in den rechten und linken Ventrikel eingeführt. Wird eine Nadel benutzt, kann das Gas aspiriert und analysiert werden. Ist dies nicht geplant, ist der Gebrauch eines Skalpells leichter und empfohlen. [5]

Lawrence/Cooke berichten über ihr Verfahren in einem Review-Artikel über Sektionen bei tödlichen Tauchunfällen. Sie beginnen die Sektion mit der Luftembolieprobe und untersuchen die Leiche mit einem Polster unter den Schultern, um die Brust anzuheben. Somit kommt es zu Gasansammlungen im rechtsventrikulären Ausflusstrakt und der proximalen Aorta. Lawrence/Cooke weisen darauf hin, dass darauf geachtet werden muss, die Halsgefäße nicht zu verletzen. Sie müssen vor Eröffnung abgebunden werden, um einen späteren Nachweis von Gasblasen in den zerebralen Gefäßen möglich zu machen. Sie beschreiben das weitere Vorgehen wie folgt: Nach Entfernung des Sternums und Eröffnung des Perikards werden die vier Herzkammern mit Nadel und Spritze punktiert und das Gas aspiriert. Die Nadel wird dabei in die höchstmögliche Position in der jeweiligen Herzkammer gebracht. Alternativ kann das Gas mittels Wasserschloss gesammelt werden. Die Gasvolumina können anschließend mit den Befunden der Computertomographie in Korrelation gesetzt werden. Lawrence/Cooke weisen in ihrer Veröffentlichung darauf hin, dass sie keinen regulären Test auf einen Pneumothorax durchführen, da dieser auch mittels initialer Computertomographie nachgewiesen werden kann. [6]

5.4.4.1.2 Besonderheit Gasanalyse

Eine Analyse der mittels Aspirometernadel gewonnenen Gase kann wegweisend sein für die Gesamtinterpretation. Obwohl die Aussagekraft hoch ist, wird sie bisher selten durchgeführt [61 Kap. 51]. Dies gilt sowohl für das bei der Gasembolieprobe aus den Herzkammern gewonnene Gas, als auch für Gasansammlungen in anderen Geweben, Gefäßen oder Körperhöhlen. Die Zusammensetzung der Gase erlaubt Rückschlüsse auf die Pathogenese oder zum Ausschluss von Artefakten.

Gasvolumina, die ihre Ursache in einer Überdehnung der Lunge haben, zeigen eine Zusammensetzung entsprechend des geatmeten Atemgases, häufig Luft oder eine Mischung aus Stickstoff und Sauerstoff [7]. Zeigt das Gas aus der linken Herzkammer einen höheren Sauerstoffgehalt als das des rechten Herzens, ist die Wahrscheinlichkeit einer stattgehabten Luftembolie erhöht. [5, 112].

Gasvolumina im Magen entstehen durch Verschlucken von Atemgas, entweder im Rahmen des Ertrinkens oder vorab in Stresslagen. Sie spiegeln dann ebenso die geatmete Gasmischung wider.

Im Rahmen von Dekompressionsunfällen, allerdings auch bei postmortalen Dekompressionsartefakten, lassen sich außer dem geatmeten Inertgas auch große Mengen an Stickstoff und Stoffwechselprodukte aus den Geweben nachweisen. [7] Ein Beispiel hierfür ist Kohlenstoffdioxid.

Fäulnisgase zeigen sich in Form von faulig-riechenden, initial im Gastrointestinaltrakt, den Portalvenen, Lebervenen und in der Leber nachweisbaren

Gasen mit hohem Gehalt an Wasserstoff, Methan sowie Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff [6, 7, 61]. Der Sauerstoffgehalt ist hingegen gering [5].

Gasansammlungen durch Wiederbelebensmaßnahmen sind abhängig vom Sauerstoffanteil des Beatmungsgases [61 Kap. 51].

5.4.4.1.3 Ausschluss eines Pneumothorax

Bei der Eröffnung der Brusthöhlen ist der Nachweis/Ausschluss eines Pneumothorax empfohlen. Dieser ist nach Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin routinemäßig in Form einer "kleinen" Pneumothoraxprobe durchzuführen, indem die Interkostalmuskulatur parallel zu den Rippen im Bereich der vorderen Axillarlinie durchtrennt und bei Seite geschoben wird. Durch das freiwerdende Pleurafenster ist nach Inzision das Verhalten der Lunge zu beobachten [8]. Zu achten ist darauf, ob die Pleura parietalis und Pleura visceralis noch adhären sind, wenn die Pleurahöhle eröffnet wird. Trennen sich parietale und viszerale Pleura in diesem Moment, ist ein ante mortem entstandener Pneumothorax unwahrscheinlich [5, 112].

Besteht von vornherein der Verdacht auf einen Pneumothorax, kann die sogenannte "große" Pneumothoraxprobe ausgeführt werden, indem man im seitlichen Brustkorbbereich eine Hautweichteiltasche präpariert und mit Wasser füllt. Bei Vorliegen eines Pneumothorax steigen im Wasser nach Durchtrennung der Interkostalmuskulatur und der Pleura parietalis große Luftblasen empor [8]. Mit großvolumigen Kanülen, die in die zweiten Interkostalräume beidseits eingeführt werden, kann die entweichende Luft gefangen werden [5, 112]. Im Idealfall kann man das Volumen mit dem Luftembolieapparat messen und gaschromatografisch analysieren [8].

Pleuraergüsse können im Rahmen von tödlichen Tauchunfällen auftreten. Sie kommen generell häufig im Rahmen von Ertrinkungsunfällen jedweder Genese und nach Bergungen aus dem Wasser unabhängig von der Todesursache vor [5]. Sie werden bei der Pneumothoraxprobe mit abgeklärt.

5.4.4.1.4 Untersuchung der Lunge

Nach der Untersuchung von Mediastinum, Herz und den großen Gefäßen auf Gasansammlungen, insbesondere dem speziellen Verfahren zum Nachweis einer Luftembolie aber auch dem Ausschluss eines Mediastinalemphysems, sollte eine systematische Untersuchung aller thorakalen Organe durchgeführt werden [5, 8]. Vor der Entnahme der Brustorgane ist eine Beurteilung der Verhältnisse im Thorax notwendig [8]. Besonders eine eventuelle Ausdehnung der Lunge ist dabei von Interesse.

Die Lunge hat sowohl bei einem Ertrinkungstod als auch bei diversen tauchphysiologischen Ereignissen einen besonderen Stellenwert. Da bei der Mehrzahl der tödlichen Tauchunfälle die Todesursache ein Ertrinkungstod ist, hat der Nachweis äußerer und innerer Hinweise auf ein Ertrinken bei der Sektion große Bedeutung.

In der Literatur werden Todesfälle im Wasser in drei große Gruppen eingeteilt. Vennemann et al. unterteilen in Ertrinken als Tod durch massive Flüssigkeitsaspiration sowie in atypisches Ertrinken und den Badetod [55].

Unter atypischem Ertrinken beschreiben Vennemann et al. ein Vorliegen von Dysregulationen, die nicht durch das wässrige Milieu bedingt sind. Diese Gruppe ist bezüglich Ursachen und Ertrinkungsbefunden sehr heterogen. Beispiele sind Bewusstlosigkeit nach nervösem Schock durch Schmerz, Trommelfellperforation und Wasserkontakt mit dem Kehlkopf, Intoxikationen sowie natürliche Todesursachen wie Herzinfarkte und apoplektische Insulte. Je nach Ablauf können rudimentäre Ertrinkungsbefunde vorliegen. Bei vorzeitigem Bewusstseinsverlust ohne Wassereinatmung können Ertrinkungsbefunde vollständig fehlen. [55]

Der Badetod umfasst primär rhythmogene Synkopen, welche vor allem durch vagale Reflexe durch Wasserkontakt ausgelöst werden. Untersucht werden diesbezüglich eine Reihe von Reflexen, die vagale Synkopen auslösen können. Ein ausgeprägter Tauchreflex kann beispielsweise zu Bewusstlosigkeit und Herzrhythmusstörungen mit fatalem Ausgang führen. Prädisponierend für einen Badetod können kardiale Erkrankungen sein. Eine besondere Rolle spielen hier genetische Dispositionen wie beim Long QT-Syndrom, Brugada-Syndrom und weiteren Ionenkanalerkrankungen. Besonders bei tödlichen Tauchunfällen jüngerer Menschen ist dieser Aspekt besonders zu bedenken [55, 60].

Beim typischen Ertrinken läuft eine bestimmte Ertrinkungsagonie ab, die phänomenologisch einem Erstickungstod im Wasser entspricht. In der Literatur werden verschiedene Stadien unterschieden [9, 10, 55]. Der Ertrinkungsvorgang dauert etwa 3-5 min. Vor dem Untertauchen kommt es zur tiefen Inspiration (I). Bei Tauchunfällen entfällt dieses und gegebenenfalls auch das folgende Stadium II, da sich der Ertrinkende bereits unter Wasser befindet und sich erst mit Verlust seiner Atemgasversorgung in diese Ablaufkette einklinkt. Unter Submersion kommt es zunächst zum Atemanhalten mit dem Versuch, das Eindringen von Flüssigkeit in die Atemwege zu verhindern (II). Durch den steigenden Kohlenstoffdioxidpartialdruck entstehen zunehmend Dyspnoe und Atemzwang. Dieser starke Atemstimulus führt schließlich zur unwillkürlichen Aspiration und Verschlucken von Flüssigkeit. Hierbei kommt es zu einem manifesten Stimmritzenkrampf (III). Anschließend kommt es zu krampfhaften Atembewegungen und zur Bewusstlosigkeit. Ebenso treten tonisch-klonischen Erstickungskrämpfe bei Asphyxie auf (IV). Es folgen eine präterminale Atempause bei noch erhaltener Kreislauffähigkeit (V) und terminale Schnappatmung vor dem mechanischen Herzstillstand (VI).

Es besteht kein pathognomonischer Befund, der allein beweisend für ein Ertrinken ist [61 Kap. 51]. Die als Nachweis eines Ertrinkungstodes an der Lunge bekannten Befunde sind größtenteils Folgen eines ausgeprägten agonalen Kampfes im Rahmen der Dyspnoe und des Atemzwangs. Besondere Bedeutung kommt dabei den Zwerchfellkrämpfen gegen die bis zum Einsetzen der Bewusstlosigkeit fest geschlossenen Stimmritze zu. Hierbei entwickelt sich der Schaumpilz, der aus Luft, Ertrinkungsflüssigkeit und dem hypersekretierten stark eiweißhaltigen Surfactant besteht, welcher im Rahmen des agonalen Kampfes bei geschlossener Stimmritze aufgeschäumt wird [9 S. 142, 10]. Der Schaumpilz begünstigt die Lungenblähung durch einen Ventilmechanismus in den Bronchiolen, welcher eine Inspiration zulässt,

jedoch keine Expiration [59]. Das Vorhandensein dieses Schaums in den Bronchien hat hohen Beweiswert für einen Ertrinkungstod [55].

Bei starkem Stimmritzenkrampf kann der Nachweis einer Flüssigkeitsaspiration fehlen [10 S. 156]. Die Lunge ist dann oft massiv überbläht.

Der wegweisendste Obduktionsbefund mit ebenfalls hohem Beweiswert für einen Tod durch typisches Ertrinken ist das Emphysema aquosum, eine akute Lungenüberblähung in Folge der Aspiration von Wasser mit folgender Obstruktion der Atemwege und Stimmritzenkrampf. Begünstigt wird die Entstehung des Emphysema aquosums zudem durch den Ventilmechanismus des Schaumpilzes. Die Lunge zeigt sich maximal balloniert und füllt den Thorax auch nach dessen Eröffnung vollständig aus. Herz und Mediastinum sind typischerweise von den medialen Lungenrändern vollständig bedeckt. Beim Eindrücken des Lungengewebes zeigen sich beständige Impressionen durch den Elastizitätsverlust des Lungengewebes. Die Lunge hat bei der Palpation eine luftkissenartige knisternde Konsistenz. [10 S. 156, 55] Auch Abdrücke der Rippen können sich zeigen [6].

Überblähte Lungen, die das Herz bedecken und auf denen sich Abdrücke der Rippen zeigen, werden differentialdiagnostisch auch bei Status asthmaticus mit peripherem Air-Trapping, tiefer Aspiration von Erbrochenem und nach Wiederbelebungsversuchen mit Beatmung beobachtet [6]. Auch beim Emphysema aquosum können einzelne Lungenanteile ödematös sein [10].

Ein weiteres diagnostisches Kriterium von hohem Beweiswert für einen Ertrinkungstod sind Paltauf-Flecken. Es handelt sich dabei um bei forcierter Inspiration im Rahmen des agonalen Kampfes beim Ertrinken aufgetretene subpleurale Ekchymosen. Sie finden sich besonders in den Interlobärspalten und sind typischerweise bläulich bis fingernagelgroß und von verwaschener Kontur [10, 55].

Bei der Präparation zeigt sich eine Lunge nach Süßwasserertrinken gemäß Vennemann et al. sehr leicht mit einem Organgewicht von < 1000 g [55]. Bedingt ist dieser Effekt durch eine Absorption von Süßwasser in die Pulmonalgefäße [61 Kap. 51]. Die Schnittflächen der Lunge imponieren blass, es kommt zu wenig Flüssigkeitsaustritt und die erweiterten Ductus alveolares sind deutlich zu erkennen. Nach Salzwasserertrinken zeigt sich die Lunge deutlich schwerer als normal und ödematös, wenngleich ebenfalls stark emphysematös. [55] Die Lunge zeigt sich nach einem Ertrinkungstod teilweise rosa verfärbt durch Einblutungen und enthalten gelegentlich Sedimentpartikel oder marine Organismen in den Atemwegen [61 Kap. 51].

Ein Lungenödem kann bei der Sektion eines tödlichen Tauchunfalls häufig nachgewiesen werden und verschiedener Genese sein.

Allem voran tritt ein Lungenödem im Rahmen von Ertrinkungsunfällen auf. Das Ertrinken ist je nach Quelle bei 60-70 % immer noch die häufigste ursächliche Todesursache beim Tauchen [1, 12]. Beim Ertrinken kommt es zur Aspiration von mehr oder weniger viel Flüssigkeit. Durch daraus folgende Schädigung des Surfactants durch Auswaschung kommt es zur Destabilisierung der Alveolen und Ausbildung von Atelektasen mit Lungenversagen. Hierzu genügen oft schon geringe

Mengen an Flüssigkeit. Die folglich entstehende alveolokapilläre Schrankenstörung führt zum Lungenödem mit Austritt von eiweißreichem Sekret ins Interstitium und in Alveolen. Diese pathologischen Veränderungen finden sich auch beim Überleben eines Ertrinkungsunfalls und sind in der Regel rasch fortschreitend, so dass bei (zeitweise) Überlebenden eine fortschreitende Verschlechterung der respiratorischen Situation auftreten kann [1 Kap. 17, 10 S. 156].

In der Tauchmedizin ist das Lungenödem von Relevanz im Rahmen einer pulmonalen Dekompressionskrankheit, einem Unterdruckbarotrauma der Lunge und zunehmend in den Fokus geratend im Rahmen des tauchbedingten Lungenödems. Im Rahmen einer pulmonalen Dekompressionskrankheit kann es bei gestörtem Gasaustausch zwischen Alveolen und Gefäßkapillaren durch Gasblasen zu Atemnot, Husten und in sehr ausgeprägter Form zu einem Lungenödem bis hin zum ARDS kommen. Ein pulmonales Unterdruckbarotrauma kann beim Apnoetauchen auftreten (pulmonary barotrauma of the descent). Durch eine Komprimierung der Lunge beim Abtauchen auf ein Gasvolumen, das geringer als das Residualvolumen der Lunge ist, entsteht relativ zum hydrostatischen Druck ein Unterdruck in der Lunge, so dass dabei abhängig vom Druckgradienten Gewebeflüssigkeit und Blut kompensatorisch in Alveolarraum und Bronchiolen übertreten können. Ebenso kann es beim Apnoetauchen durch die Umverteilung von Blutvolumina in die thorakalen Gefäße zu einem hohen hydrostatischen Druck in den Lungenkapillaren mit nachfolgendem Lungenödem kommen [1 Kap. 8].

Unter dem Oberbegriff des immersionsbedingten Lungenödems (engl. IPE – immersion pulmonary edema) stehen das Lungenödem beim Schwimmen (SIPE – swimming induced pulmonary edema), das Unterdruckbarotrauma beim Apnoetauchen und das Taucherlungenödem (SDPE – scuba divers pulmonary edema). Auf das SDPE wurde bereits in Kapitel 3.8.4.2 genauer eingegangen. Die Ätiologie ist nicht eindeutig geklärt. Vermutet wird eine multifaktorielle Genese, wobei von zentraler Bedeutung ein Stressversagen der Luft-Blut-schranke bei erhöhtem hydrostatischem Druck in den Lungenkapillaren zu sein scheint. Das SDPE ist klinisch nicht von Lungenödem anderer Genese zu unterscheiden. Zudem ist es bei der Sektion schwierig, zwischen einem SDPE und Ertrinkungsflüssigkeit zu unterscheiden. Um ein SDPE als gesundheitliche Schädigung oder Todesursache zu diagnostizieren braucht es indirekte Hinweise. Die Befragung von Tauchpartnern kann wegweisend sein. Hinweise auf ein SDPE können die Beobachtung einer schnellen flachen Atmung oder der Wechsel auf eine alternative Gasversorgung sein, obwohl die Hauptversorgung gut funktioniert. Differentialdiagnostisch ist hier jedoch auch an ein Essoufflement zu denken. Husten, Zyanose oder Schaumbildung können Anzeichen für ein SDPE sein, ebenso das Auftreten der Symptomatik beim Aufstieg oder eine Anamnese von rezidivierendem Auftreten von SDPE-Symptomen in der Vergangenheit. [65, 89] Das SDPE ist in jedem Fall bei Bewusstlosigkeit und Todesfällen ohne anderweitige ausreichende Erklärung in Erwägung zu ziehen [110].

Die Unterscheidung zwischen verschiedenen Ursachen eines Lungenödems wird zusätzlich dadurch verkompliziert, dass sich nach einem Herzstillstand nach einiger Zeit bei einer normal hydrierten Person alle intravaskulären Drücke auf ungefähr 40 mmHg angleichen. In den Lungenkapillaren führt ein Druck von 40 mmHg zu einer Transsudation in die Alveolen. Bei normal hydrierten Verstorbenen ist bei der Sektion somit häufig ein Lungenödem zu finden. Ein Lungenödem kann zudem im Rahmen eines Herzlungenwiederbelebungsversuchs auftreten, da eine effiziente

Herzdruckmassage zu einem vermehrten Fluss aus dem rechten Herz in die Lungenkapillaren führt. Zudem entsteht bei Herzdruckmassage ein retrograder Fluss aus dem linken Atrium in die Lungenkapillaren. [65, 89, 94]

Ein Lungenödem kann auch auf Basis einer vorbestehenden, unter Immersion und Anstrengung verstärkten Vorerkrankung entstehen, beispielsweise bei einer Herzinsuffizienz [1 Kap.16].

Einen hohen Stellenwert bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle hat die Untersuchung auf ein pulmonales Barotrauma bei Überdehnung der Lunge. Die Lunge sollte insgesamt sorgfältig auf das Vorliegen von Bullae, Emphysemzeichen und Blutungen untersucht werden [112]. Hinweise für eine Überdehnung der Lunge sind aufgeblähte Lungenflügel, ein interstitielles Emphysem, subpleurale Bläschen und ein mediastinales Emphysem. Das Vorliegen eines Pneumothorax oder Pneumoperitoneums ist ebenfalls hinweisend. Eine Alveolarruptur ist gelegentlich mit punktförmigen intraalveolären Blutungen assoziiert. [61 Kap. 51] Es bestehen spezielle Präparationstechniken zur Darstellung pulmonaler Barotraumatata [2]. Die Lungen können zum Nachweis eines pulmonalen Barotraumas auf Luftlecks untersucht werden, indem sie im Wasser mit Luft gefüllt werden [6]. Im Lehrbuch „Diving and Subaquatic Medicine“ wird empfohlen, die Lunge mit komprimierter Luft oder Sauerstoff zu füllen und mittels einem Endotrachealtubus mit aufgeblasenem Cuff (25 mmHg) zu verschließen. Die Lunge sollte in einem durchsichtigen, wassergefüllten Behälter komplett eingetaucht und auf das Austreten von Luft untersucht werden. Mit einem wassergefüllten Messzylinder kann die austretende Luftmenge/Minute geschätzt werden. [61 Kap. 51] Lawrence/Cooke beschreiben zudem den Nachweis von pulmonalen Barotraumatata mit arterieller Gasembolie durch apikale Bullae in einer sonst unauffälligen Lunge. Sie empfehlen die Füllung der Lunge mit Formalin, was eine genaue Beurteilung auf apikale Bullae erlaubt [6]. Auch eine der Überdehnung der Lunge zugrundeliegende Vorerkrankung kann durch die Sektion detektiert werden. Die Lunge sollte auf Hinweise einer COPD oder eines chronischen Asthmas untersucht werden. Bei einem chronischen Asthma zeigen sich unter anderem eine vermehrte Exkretion von muzinösem Sekret, vermehrtes Auftreten von eosinophilen Leukozyten sowie eine Verdickung von Basalmembranen. Vor allem apikal können sich Bullae zeigen. [61 Kap. 51]

Eine schwere Dekompressionskrankheit der Lunge ist ein seltener Befund bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle. Bei der Sektion zeigt sich die Lunge schwer, kaum aufzublasen sowie angeschwollen und ausgedehnt durch Blut und intravaskuläre Gasansammlungen [61 Kap. 51].

5.4.4.1.5 Untersuchung des Herzens

Bei der Untersuchung des Herzens im Rahmen tödlicher Tauchunfälle sollte ein besonderer Fokus auf kardiale Ursachen gerichtet werden. Kardiale Ursachen sind bei tödlichen Tauchunfällen die Todesursache Nummer 2 nach Ertrinken bei zudem hoher Dunkelziffer. Auch Ertrinkungsunfällen liegt oft eine kardiale Ursache zugrunde. Gestärkt wird dieser Fakt auch durch den DAN Annual Diving Report 2019, welcher nach Abgabe dieser Dissertation veröffentlicht wurde und kurz vor Verteidigung dieser Dissertation vorlag. Gemäß des Reports von 2019 bestand ein kardiales Ereignis in 50% der gesundheitlichen Schädigungen und Todesursachen.

In 50% der Autopsien tödlicher Tauchunfälle wurde zudem eine höhergradige koronare Herzkrankheit als wahrscheinliche Todesursache gefunden. Zudem lagen in vielen Fällen eine Kardiomegalie, ein arterieller Hypertonus und ein metabolisches Syndrom vor. [129]

Auch aufgrund des wachsenden Anteils kardialer Ereignisse als Ursache tödlicher Tauchunfälle und des steigenden Alters der Population sollte sorgfältig nach kardiovaskulären Erkrankungen gesucht werden. [6, 112] Auch Herzmuskelerkrankungen sind von großer Relevanz. Insgesamt sollte aus tauchmedizinischer Sicht jedwede kardiale Veränderung, die sich negativ auf die Herzfunktion auswirken kann oder einen plötzlichen Herztod erklärt, abgeklärt werden. [6, 112]

Bei der Sektion ist auf Herzfehler wie Atrium- oder Ventrikelseptumdefekte zu achten, weil es zu paradoxen Luftembolien (Rechts-Links-Shunts von Inertgasbläschen) kommen kann. Im Rahmen der Sektion sollte somit ein Test auf ein persistierendes Foramen ovale erfolgen, ebenso wie die Untersuchung der Septen auf höhergradige Defekte. Ein offenes Foramen ovale kann bei der Entstehung von Dekompressionskrankheiten eine Rolle spielen.

In Fällen eines ungeklärten plötzlichen Todes (sudden death, SD) und somit auch bei vielen tödlichen Tauchunfällen besteht allgemein ein erhöhtes Abklärungsbedürfnis auf kardiale Erkrankungen, da in vielen dieser Fälle eine kardiale Genese vorliegt (sudden cardiac death, SCD). Pathophysiologisch kommt es bei einem SCD zu einem plötzlichen Verlust der organisierten elektrischen Aktivität des Herzens mit hämodynamischem Kollaps. Die Ursachen des SCD ändern sich mit dem Alter. Bei älteren Menschen stellt die koronare Herzkrankheit die häufigste Ursache des SCD dar. In der Altersgruppe bis 40 Jahre liegen hingegen meistens strukturelle Herzkrankheiten/Kardiomyopathien wie die hypertrophe Kardiomyopathie (HCM), dilatative Kardiomyopathie (DCM), arrhythmogen rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) sowie angeborene Herzfehler, Koronaranomalien, Infektionen (Myokarditis) oder genetische Arrhythmiesyndrome vor. Letztere beinhalten die Long QT-Syndrome, die katecholaminerge polymorphe Kammertachykardie, das Brugada-Syndrom und das Short QT-Syndrom. Für die Abklärung von Arrhythmiesyndromen und einiger Kardiomyopathieformen sind spezielle genetische Tests im Rahmen einer molekularen Autopsie notwendig, auf die in Kapitel 5.6.4 genauer eingegangen wird. [126]

2021 wurde ein von mehreren Fachgesellschaften (DGK, DGPK, GfH, DGP, DGRM) erarbeitetes Konsensuspapier für die postmortale molekulargenetische Untersuchung bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesursachen herausgegeben. Das Konsensuspapier enthält auch Empfehlungen zur makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung des Herzens bei Fällen von SCD und ergänzt die bestehende Leitlinie zur rechtsmedizinischen Leichenöffnung der DGRM von 2017. Die vollständige Untersuchung des Herzens im Rahmen einer Sektion umfasst gemäß Konsensuspapier bei Annahme eines SCD eine postmortale Stufendiagnostik aus radiologischer Diagnostik, klassischer makroskopischer Autopsie, mikroskopischer Histologie und Immunhistochemie sowie chemisch-toxikologische und infektionspathologische Analysen. Wird nach Ausschluss nichtkardialer Todesursachen ein SCD angenommen, erfolgt eine umfangreiche kardiopathologische Untersuchung. Die makroskopische Untersuchung beinhaltet die

Analyse von Herzgewicht, Kammerwanddicken und Klappenumfängen sowie eine Untersuchung von Koronargefäßen, Perikard/Epikard und Myokard sowie des Endokards inklusive der Herzklappen. Bei palpatorischem Verdacht auf eine koronare Herzkrankheit werden die Koronararterien entnommen, fixiert und in Scheiben zur mikroskopischen Beurteilung lamelliert. Auch von makroskopisch unauffälligen Koronargefäßen wird jeweils eine Probe aus jeder Koronararterie mikroskopisch analysiert. Das Herz wird weiterhin im Kurzachsenschnitt transversal mittventrikulär durchtrennt und die Kavitäten und Wände in 1 cm-Schichten morphologisch beurteilt. Es wird empfohlen, Frischmaterial aus beiden Ventrikeln bei - 80°C zu asservieren. Für weitere histologische und mikroskopische Untersuchungen sollten 8 - 10 repräsentative transmurale Gewebstücke (ca. 2 cm²) aus dem rechten Ventrikel, der Herzbasis, der Herzspitze, sowie der Vorder-, Lateral- und Hinterwand und des Septums des linken Ventrikels entnommen werden. Empfohlen wird eine Fixierung in Formalin und Einbettung in Paraffin innerhalb von 24 h [126] Auf die mikroskopische Untersuchung des Herzens wird in Kapitel 5.4.4.6 (Histologie) genauer eingegangen.

War der Verstorbene Träger eines kardialen Implantates (Herzschrittmacher, Event-Recorder, ICD) sollten die Daten zum Todeszeitpunkt durch einen ausgebildeten Facharzt ausgelesen und somit der zum Todeszeitpunkt vorliegende Herzrhythmus bestimmt werden [126].

Im Rahmen eines Ertrinkungstodes kann makroskopisch häufig eine Dilatation des rechten Ventrikels als Folge einer Volumenüberlastung der zentralen Venen nachgewiesen werden [112].

5.4.4.2 Untersuchung des Abdomens

Die V. cava inferior und die Aorta descendens sollten auf Gasblasen, der Gastrointestinaltrakt auf Einblutungen und Infarkte durch Emboli bei einer arteriellen Gasembolie oder durch eine DCS untersucht werden. Ein Pneumoperitoneum kann auf ein pulmonales Barotrauma hinweisen. [61 Kap. 51] Der Nachweis von Wasser im Magen stellt ein Zeichen für Ertrinken dar [6]. Als Nachweis eines Ertrinkungstodes reicht dies jedoch nicht aus, weil das Wasser auch postmortal in den Magen gelangen kann. Hingegen hat das Wydler-Zeichen hohen Beweiswert für ein Ertrinken. Hierbei handelt es sich um den Nachweis einer Schichtung des wässrigen Mageninhaltes in drei Phasen nach Umfüllen in ein durchsichtiges Gefäß. Von oben nach unten schichten sich weißlicher Schaum, wässrige Flüssigkeit und feste Bestandteile. [10, 55] Auch der Nachweis von Ertrinkungsflüssigkeit im Dünndarm ist ein Hinweis für einen Ertrinkungstod [10]. Als weiteres diagnostisches Kriterium mit hohem Beweiswert für ein Ertrinken gelten Sehrt-Magenschleimhautrisse, die als Folge starker Überdehnung des Magens durch beträchtliche Mengen von Schaum und Ertrinkungsmedium speziell auch in Kombination mit Erbrechen auftreten können. Sie sind häufig an der kleinen Krümmung lokalisiert. [10, 55] Ein weiterer, wenngleich eher unspezifischer, Hinweis auf einen Tod unter Wasser in Asphyxie ist die Blutstauung parenchymatöser Organe bei entspeicherter Milz [55].

5.4.4.3 Untersuchung von Hals, Kopf und Gehirn

Bei der Kopfsektion steht die Suche nach zerebralen Luftembolien im Mittelpunkt. Bei der Inzision der Kopfhaut, der Eröffnung des Schädels oder der Präparation des Halses kann es zum intravasalen Eintritt von Luftblasen kommen und zu Fehldiagnosen führen. Das tauchmedizinische Standardwerk „Diving and Subaquatic Medicine“ von Edmonds empfiehlt diesbezüglich bei allen Fällen, bei denen keine postmortale Computertomographie zur Verfügung steht, eine Kraniotomie und Halspräparation unter Wasser durchzuführen, um den artifiziellen Eintritt von Luft in die Gefäße zu verhindern. Werden Gasblasen in den Hirngefäßen gesehen, sollten sie in situ abgelichtet werden oder aber nach einer Ligatur der Halsgefäße und deren Durchtrennung proximal der Ligatur. [61 Kap. 51] Weil für tödliche Tauchunfälle eine postmortale Computertomographie standardmäßig durchgeführt werden sollte, sind die zum Teil komplizierten Verfahren mittlerweile zu vernachlässigen. Um zu verhindern, dass Luft artifiziell in die intrakraniellen Gefäße eindringt, wenn im Rahmen der Eröffnung des Kopfes negativer intravasaler Druck entsteht, sollten die hirnersorgenden Gefäße jedoch in jedem Fall auf Höhe des Halses zunächst mit Ligaturen versehen werden [5, 111]. Dies gilt vor allem dann, wenn die Thoraxeröffnung vor der Schädelöffnung erfolgt [6, 112].

Als signifikant für eine Gasembolie beschreibt Caruso Nachweise von Gasbläschen in der A. basilaris, den Vertebralarterien und dem Circulus Willisii [5, 112]. Die Gefäße der Großhirnhemisphären sollten jedoch ebenfalls auf Gasblasen untersucht werden. Die Form der Gasblasen im Rahmen einer Luftembolie ist dabei im Gegensatz zum Auftreten von postmortalen Gasblasen eher länglich anstatt rund, was durch die Tendenz größerer intravasaler Gasvolumina zur Konfluenz erklärt ist [5].

Neben dem Ausschluss von Luftembolien ist bei der Kopfsektion auch der Ausschluss von zerebralen Erkrankungen von großem Interesse. In einigen Fällen tödlicher Tauchunfälle fanden sich als Ursache zerebrovaskuläre Ereignisse oder maligne Neoplasien [5].

Im Rahmen von Ertrinkungstodesfällen zeigt sich häufig eine hypoxisch bedingte massive Hirnschwellung.

Bei der Gehirnsektion hängt die Schnittführung im Wesentlichen von der Fragestellung ab. Zur Korrelation mit computertomografischen Befunden sind laut Leitlinie horizontale Schnitte besser geeignet als Frontalschnitte. In Fällen von längerer Zeit überlebten hypoxischen Hirnschäden und bei Autolyse- und Fäulniszuständen kann es notwendig sein, das Gesamthirn in toto zu fixieren und erst im gehärteten Zustand zu untersuchen [8].

Lawrence/Cooke beschreiben, dass sich in manchen Fällen von arteriellen Gasembolien nach pulmonalem Barotrauma kleine perivaskuläre Blutungen unklarer Signifikanz im Hirnstamm am Boden des IV. Ventrikels zeigen. Die minimale Zeit, in der das Gehirn in Formalin fixiert werden soll, liegt bei 48 h in 20 % Formalin, damit optimale Bedingungen zur neuropathologischen Untersuchung vorliegen. [6]

Weiter sollte eine Untersuchung auf Traumata an Kopf und Hals stattfinden. Das Os temporale mit den Mastoidzellen sowie das Mittelohr haben eine besondere

Bedeutung in der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle. Als Folge eines Barotraumas kann es zu Einblutungen kommen. Eine Pathologie in diesem Bereich kann ein Auslöser des Tauchunfalls gewesen sein, beispielsweise bei einer Perforation des Trommelfells mit konsekutiver Gleichgewichtsstörung oder schmerzbedingt eingeschränkter Handlungsunfähigkeit. Auch ein Mittelohrbarotrauma oder Innenohrschäden durch Barotraumatata in Form von Einblutungen oder Rupturen/Fisteln des runden Fensters oder als Folge einer Dekompressionskrankheit können durch Orientierungsstörungen ursächlich für fatale Unfälle sein. Otoskopisch sollte auf Trommelfelldefekte und Flüssigkeit im Mittelohr untersucht werden. [61 Kap. 51] Die Leitlinie für rechtsmedizinische Leichenöffnung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin besagt, dass die Mittelohren in bestimmten Fällen eröffnet werden müssen [8]. Lawrence/Cooke beschreiben diesbezüglich, dass die Mittelohren entfernt und in Formalin fixiert werden können. Ein Serienschnitt kann dann Schäden an Mittel- und Innenohr zeigen. Ggf. empfiehlt sich hier die Konsultation eines HNO-Arztes. [6] Lawrence/Cooke erläutern, dass sie sich in der Praxis, wenn keine anderen Hinweise für ein signifikantes Problem an Mittel- oder Innenohr bestehen, auf eine otoskopische Begutachtung beschränken, weisen jedoch darauf hin, dass dadurch Mittel- oder Innenohrschäden übersehen werden können [6]. Edmonds empfiehlt die histologische Untersuchung des Os temporale, des Ohrs und des Mastoids durch einen spezialisierten Arzt (Anm.: HNO) oder Pathologen [61 Kap. 51]. Auch die Nasennebenhöhlen sollten eröffnet werden [8]. Eine Untersuchung auf das Vorliegen von Blutungen, Sekret und Flüssigkeiten sollte stattfinden. Vennemann et al. nennen als Hinweise für ein Ertrinken den Nachweis von Ertrinkungsflüssigkeit in der Keilbeinhöhle (Svechnikov-Zeichen), sowie Einblutungen in die Cellulae mastoideae, wenngleich diese Zeichen einen niedrigeren Beweiswert haben als die bisher genannten [55].

Finden sich bei der Sektion Verätzungen der oberen und auch unteren Atemwege, sollte mit dem technischen Sachverständigen Rücksprache gehalten werden, ob bei dem Tauchgang ein Rebreather-Tauchgerät verwendet wurde. Verätzungen der Atemwege können bei Flutung des Atemkalkbehälters auftreten. Die Aspiration der stark alkalischen Mischung aus Wasser und Atemkalk (im Taucherjargon sogenannter „caustic cocktail“) kann zu Verätzungen führen. [118]

5.4.4.4 Untersuchung des muskuloskelettalen Systems

Als Hinweis auf einen Ertrinkungstod gelten auch subfasziale Einblutungen in der Halsmuskulatur, insbesondere im M. sternocleidomastoideus, sowie in der Rückenmuskulatur [55]. Diese Rhexis-Einblutungen sind im Rahmen eines ausgeprägten agonalen Kampfes zu werten. Untersuchungen von Knochen und Gelenken nach Zeichen einer Dekompressionskrankheit spielen bei tödlichen Tauchunfällen eine untergeordnete Rolle, denn morphologische degenerative Veränderungen dort sind Folgen über viele Jahre laufender chronischer Prozesse (dysbare Osteonekrose).

5.4.4.5 Untersuchung des Rückenmarks

Bei Hinweisen auf das Vorliegen einer spinalen Dekompressionskrankheit als Mitursache des tödlichen Tauchunfalls kann die Sektion auf eine Untersuchung des

Rückenmarks und seiner Häute erweitert werden. Die Leitlinie zur rechtsmedizinischen Leichenöffnung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin empfiehlt eine Untersuchung des Rückenmarks bei speziellen Fragestellungen [8]. Inertgasblasen im spinalen Kapillarsystem können zu Inflammation, Infarkten und bisweilen sehr ausgeprägten Ödembildungen im Rückenmark führen [61 Kap. 51]. Caruso gibt an, dass sich Läsionen vor allem in der weißen Substanz im Bereich des mittleren Drittels des Rückenmarks zeigen [112]. Nach Entnahme von Gehirn, Thorax- und Bauchorganen kann es zu Gasblasen im venösen Plexus der Wirbelsäule kommen, welche nicht als eine DCS fehlinterpretiert werden dürfen [61 Kap. 51]. Eine Untersuchung des Rückenmarks kann auch einen Nachweis beeinträchtigender neurologischer Grunderkrankungen erbringen, falls durch die allgemeine Anamnese der Verdacht besteht.

5.4.4.6 Histologie

Gemäß Leitlinie zur rechtsmedizinischen Leichenöffnung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin sollte in allen Sektionsfällen die Entnahme von Organproben (Gehirn, Herz, Lunge, Leber, Niere, Milz, Bauchspeicheldrüse, Hypophyse, Schilddrüse, Nebenniere, Knochenmark) zur histologischen Untersuchung erfolgen [8]. Dies gilt auch bei tödlichen Tauchunfällen. Makroskopisch nicht nachweisbare Veränderungen können in der histologischen Untersuchung gesehen werden, so dass abhängig von den Sektionsbefunden histologische Zusatzuntersuchungen insbesondere von Herz, Lunge, Leber und zentralem Nervensystemhirn erforderlich sein können [111].

In einigen tauchmedizinischen Veröffentlichungen wird auf histologische Besonderheiten hingewiesen. Lawrence/Cooke beschreiben, dass in Fällen, bei denen der Tod durch Gasembolien im Rahmen des tödlichen Tauchunfalls nicht sofort eintrat, signifikante Veränderungen im Herzen und zentralen Nervensystem nachgewiesen werden konnten, etwa in Form von kleinen Infarktarealen im Hirn oder im Rückenmark [6]. In sehr akuten Todesfällen liegen diese Befunde meist nicht vor. Caruso/Edmonds beschreiben, dass im Rahmen einer Dekompressionskrankheit mittels Histologie Gewebnekrosen um die Inertgasblasen nachzuweisen sind, was eine Differenzierung zu postmortalen Dekompressionsartefakten möglich machen kann [7].

Vennemann et al. beschreiben typische histomorphologische Veränderungen von Ertrinkungslungen in Süß- bzw. Salzwasser. Bei der Ertrinkungslunge in Süßwasser finden sich typischerweise ein obstruktives zentrilobuläres Emphysem und ausgeprägte Grade der Gitterfaserzerstörung. Zudem zeigt sich ein ausgeprägter areolärer Wechsel in Form eines diskontinuierlichen Blutgehalts der azinären Strukturen, was als wichtiges vitales Zeichen der Ertrinkungslunge im Süßwasser gilt. Die Ertrinkungslunge im Salzwasser zeigt eine villöse Transformation mit Abschnürung von Epithelien und Freilegung der Basalmembran. In deutlich geringerem Maße zeigt sich auch hier ein areolärer Wechsel. [55]

Histologische Untersuchungen am Herzen und der Lunge können zur Differenzierung zwischen Vorerkrankungen und akuten Ereignissen beitragen.

Histologische Untersuchungen am Herzen können ggf. zur Differenzierung zwischen Vorerkrankungen und akuten Ereignissen beitragen. Das Konsensuspapier der DGK, DGPK, GfH, DGP und DGRM für die postmortale molekulargenetische Untersuchung bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesursachen empfiehlt das im Folgenden beschriebene Vorgehen für die mikroskopische Untersuchung des Herzens. Die entnommenen, Formalin-fixierten und Paraffin-eingebetteten Gewebeproben aus dem Herzen werden mit Hämatoxylin/Eosin- und Masson-Trichrom-Färbung angefärbt und untersucht. Bei Verdacht auf Amyloidose oder Glykogenspeichererkrankungen sind zusätzliche Gewebefärbungen mit Kongorot bzw. PAS nötig. Auch elektronenmikroskopische Untersuchungen können je nach Fragestellung nötig sein. Bei makroskopischen Auffälligkeiten an Aorta, Herzklappen oder Perikard erfolgen weitere mikroskopische Untersuchungen. Bei Verdacht auf eine Myokarditis in den Routinefärbungen können zur weiteren Differenzierung der zellulären Infiltrate immunhistochemische Färbungen nötig sein. Bei positiven Befunden ist eine ergänzende molekularpathologische Untersuchung zur spezifischen Erregerdiagnostik sinnvoll, insbesondere auf kardiotope Viren. Bei spezifischen Kardiomyopathiebefunden kann die Einbindung eines ausgebildeten Kardiopathologen sinnvoll sein. Das Konsensuspapier empfiehlt eine anschließende molekulare Autopsie in Fällen von SCD ohne makroskopisch oder mikroskopisch erfassbare Ursache (siehe Kapitel 5.6.4). [126]

Edmonds et al. beschreiben Auffälligkeiten bei der Sektion eines fatalen SDPE mit Veränderungen im linken Ventrikel, die histologischen Veränderungen bei der Takotsubo - Kardiomyopathie entsprechen [94]. Die Takotsubo-Kardiomyopathie wird von einigen Autoren als potentieller Auslöser eines SDPE diskutiert, weswegen nach typischen Veränderungen gesucht werden sollte [64, 94, 101]. In dem von Edmonds et al. beschriebenen Fall wird über histologische Veränderungen in Form von fokalen Nekrosen, inflammatorischen Veränderungen und Kontraktionsbändern vor allem im linken Ventrikel berichtet. Kammal et al. berichten 2015 in einer Publikation über pathomorphologische und rechtsmedizinische Aspekte der Takotsubo-Kardiomyopathie ebenfalls über typische Veränderungen. Auffällige Sektionsbefunde bei einer Takotsubo-Kardiomyopathie können demnach eine Herzhypertrophie mit ausgeprägter Abrundung der Herzspitze, Gerinnsel im Trabekelwerk sowie unterschiedlich alte fokal auftretende Nekrosen des Myokards sein. Es zeigt sich ein „buntes Nebeneinander“ von Infarzierungen, Vernarbungen und hämorrhagischen Arealen. Histologisch zeigen sich - den Beschreibungen von Edmonds entsprechend - lymphomonozytäre Infiltrate, Makrophagen und Kontraktionsbandnekrosen. Kammal et al. beschreiben zudem die ubiquitäre Fragmentierung von Myozyten (panzelluläre Läsion), die von der Ausbildung pathologischer Banden bis zur granulären Zerstörung reicht, sowie das Auftreten einzelner Banden von 10-20 hyperkontrahierten Sarkomeren in der Nähe von Glanzstreifen. Eine weitere histopathologische Veränderung ist die endokardiale Myoelastofibrose. Kammal et al. betonen die Wichtigkeit, bestimmte Befundkonstellationen zu erkennen und in der Zusammenschau mit der Vorgeschichte die korrekte Todesursache zu verifizieren. Aufgrund einer potenziellen genetischen Disposition hat die Diagnosestellung auch für Angehörige eine Bedeutung. [100]

Sektion/Innere Untersuchung/Histologie	Rechtsmedizin
Untersuchung von Thorax/Thoraxorganen	
Untersuchung auf thorakale Gasembolien durch Überdehnung der Lungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Entweichen von Gas aus angeschnittenen Gefäßen ○ Untersuchung von Mediastinum, Herz und großer Gefäße auf Gasansammlungen ○ Kardiale Luftembolieprobe ○ Gaschromatografische Analyse 	
Ausschluss eines Pneumothorax/Pleuraergüssen <ul style="list-style-type: none"> ○ „Kleine Pneumothoraxprobe“ ○ „Große Pneumothoraxprobe“ ○ Gaschromatografische Analyse ○ Ausschluss von Pleuraergüssen 	
Beurteilung der Thoraxorgane <ul style="list-style-type: none"> ○ Verhältnisse der Thoraxorgane in situ ○ Ausdehnung der Organe ○ Untersuchung der Organe ex situ makroskopisch und histologisch (Organgewicht, Pathologien sowie Inflammation, Infarkte und Ödembildung durch Inertgasblasen) ○ Hinweise auf Vorerkrankungen 	
Untersuchung auf einen Ertrinkungstod (typisches Ertrinken) <ul style="list-style-type: none"> ○ Schaumpilz in Form von Luft, Ertrinkungsflüssigkeit und dem hypersekretierten stark eiweißhaltigen Bronchial- und Alveolaresekret in den Atemwegen ○ Emphysema aquosum ○ Paltauf-Flecken ○ Hämorrhagien der Lungen 	
Untersuchung auf ein Lungenödem (unspezifisch)	
Untersuchung auf eine Überdehnung der Lunge mit pulmonalem Barotrauma <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorliegen von aufgeblähten Lungen, interstitiellem Ödem, subpleuralen Bläschen, Mediastinalemphysem, Bullae, Emphysemzeichen und Blutungen ○ Vorliegen eines Pneumothorax oder Pneumoperitoneums ○ Vorliegen einer Alveolarruptur ○ Untersuchung auf Gasaustritt in Immersion ○ Spezielle Lungenpräparation zur Barotrauma-Darstellung 	
Untersuchung des Herzens + erweiterte kardiopathologische Untersuchung bei SCD <ul style="list-style-type: none"> ○ Atrium- oder Septumdefekte, offenes Foramen ovale ○ Kardiovaskuläre Erkrankungen ○ Herzklappenpathologien ○ Herzmuskelerkrankungen ○ Myokarditiszeichen, ggf. + Immunhistochemie/Infektionspathologie ○ Ggf. Abfrage eines kardialen Implantates (Schrittmacher, ICD) ○ Dilatation des rechten Ventrikels als Hinweis auf Ertrinkungstod 	

Tab. 37: Sektion/Interne Besichtigung (Teil 1)

Sektion/Innere Untersuchung/Histologie	Rechtsmedizin
Untersuchung des Abdomens	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Untersuchung auf Gasblasen in V. cava inferior und Aorta descendens ○ Einblutungen/Infarkte durch Emboli bei AGE/DCS ○ Vorliegen eines Pneumoperitoneums als Hinweis auf ein pulmonales Barotrauma ○ Sehrt-Schleimhautrisse, Wydler-Zeichen und Ertrinkungsflüssigkeit im Dünndarm als Zeichen als Hinweis auf einen Ertrinkungstod ○ Blutstauung parenchymatöser Organe bei entspeicherter Milz als Hinweis auf Asphyxie unter Wasser 	
Untersuchung von Hals, Kopf und Gehirn	
<p>Untersuchung auf zerebrale Luftembolien (nach Ligatur der Halsgefäße)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Signifikant: Nachweise von Gasbläschen in der A. basilaris, den Vertebralarterien und dem Circulus Willisii ○ Weniger signifikant: Nachweise von Gasbläschen in den Gefäßen der Großhirnhemisphären ○ Histologie: Inarktareale/Nekrosen bei arteriellen Gasembolien mit subakut letalem Verlauf, ggf. perivaskuläre Blutungen im Hirnstamm am Boden des IV. Ventrikels als Zeichen einer Gasembolie 	
Untersuchung auf vorbestehende zerebrale Erkrankungen	
Untersuchung auf eine hypoxisch bedingte Hirnschwellung	
Untersuchung auf Traumata an Hals und Kopf	
<p>Untersuchung des Os temporale, Mastoidzellen und Mittelohr auf Barotraumata</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Otoskopie auf Trommelfellperforation, Einblutungen, Flüssigkeit im Mittelohr ○ Eröffnung der Mittelohren und des Mastoids mit makroskopischer und mikroskopische Beurteilung (Einblutungen, Rupturen) 	
<p>Untersuchung der Nasennebenhöhlen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorliegen von Blutungen, Sekret und Flüssigkeiten als Hinweise auf ein Barotrauma ○ Svehnikov-Zeichen als Hinweis auf einen Ertrinkungstod 	
Untersuchung des muskuloskelettalen Systems	
<ul style="list-style-type: none"> ○ subfasziale Einblutungen in der Hals- und Rückenmuskulatur als Hinweis auf einen Ertrinkungstod 	
Untersuchung des Rückenmarks	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Untersuchung auf Inflammation, Infarkte und Ödembildung im spinalen Kapillarsystem durch Inertgasblasen 	

Tab. 38: Sektion/Interne Besichtigung (Teil 2)

5.4.5 Toxikologie

Die Leitlinie zur rechtsmedizinischen Leichenöffnung weist auf die Notwendigkeit hin, in allen Fällen eine Entnahme von Blutproben aus peripheren Gefäßen (Femoralblutproben) für Alkohol-, Drogen- und genetische Untersuchungen sowie die Asservierung von Urin und Mageninhalt durchzuführen [8]. Bleibt nach Abschluss der Sektion die Todesursache unklar, sind gemäß Leitlinie Entnahmen von Organproben von Leber, Niere und Muskulatur sowie von Körperflüssigkeiten (Glaskörper, Mageninhalt, Herzblut, Galle, Urin, Liquor) für ein toxikologisch-chemisches Gutachten oder den eventuellen Nachweis von Stoffwechselstörungen erforderlich [8]. Haarproben sollten analysiert werden, wenn der Verdacht auf einen längerfristigen Rauschmittelkonsum besteht [8]. Oehmichen et al. empfehlen toxikologische Routineuntersuchungen für alle tödlichen Tauchunfälle [2].

Aus tauchmedizinischer Bewertung sollte das toxikologische Gutachten zumindest die Untersuchung von Blut aus verschiedenen Entnahmestellen, von Urin, Mageninhalt, Leber- und Fettgewebe umfassen. Getestet werden sollten routinemäßig die Spiegel von Alkohol, gängigen Drogen und ggf. Medikamentenspiegel, wenn die Anamnese die Einnahme potenziell sedierender Medikamente hergibt. Bei Vorliegen einer positiven Anamnese auf Diabetes oder Nierenerkrankungen sowie bei Vermutung einer Dehydratation oder Hyperthermie im Rahmen der zum Tode führenden Kausalkette kann die Entnahme von Glaskörperflüssigkeit mit Untersuchung der Konzentrationen von Elektrolyten, Glukose, Kreatinin und Harnstoff weiterführend sein. [5, 112]

Die Bestimmung der postmortalen Kohlenmonoxidkonzentration im Blut ist Bestandteil des toxikologischen Gutachtens, um die Möglichkeit einer Atemgaskontamination auszuschließen [2, 5, 6]. Tödliche Tauchunfälle durch Kohlenstoffmonoxidvergiftung sind zwar selten, treten jedoch immer wieder auf. Hinweisend auf eine Kohlenstoffmonoxidvergiftung ist der klassische Befund einer kirschroten Verfärbung von Organen und Blut. Bei erhöhtem Kohlenstoffmonoxidspiegel im Leichenblut ist die technische Atemgasanalyse obligatorisch. [112]

Toxikologische Untersuchung	Rechtsmedizin
<ul style="list-style-type: none"> ○ Entnahme von Femoralblutproben sowie Herzblut für Alkohol-, Drogen- und genetische Untersuchungen ○ Asservation von Urin und Mageninhalt ○ Entnahme von Organproben von Leber, Niere und Muskulatur, Haaren sowie von weiteren Körperflüssigkeiten (Glaskörper, Herzblut, Galle, Liquor) für spezielle Fragestellungen ○ Routinemäßige Testung des Blutalkoholspiegels und auf gängige Drogen ○ Bestimmung von Medikamentenspiegeln bei entsprechender Anamnese ○ Routinemäßige Bestimmung der postmortalen Kohlenmonoxidkonzentration 	

Tab. 39: Sektion/Zusatzuntersuchungen

5.4.6 Genetische Tests/molekulare Autopsie

Trotz Sektion und toxikologischer und histologischer Untersuchung bleibt ein relevanter Anteil von ungefähr einem Drittel der plötzlichen Todesfällen (SD, SCD) unaufgeklärt („negative Autopsie“, „mors sine materia“). Das Herz ist in diesen Fällen makroskopisch und mikroskopisch unauffällig. Das Konsensuspapier der DGK, DGPK, GfH, DGP und DGRM für die postmortale molekulargenetische Untersuchung bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesursachen enthält Expertenempfehlungen zur Notwendigkeit, Indikation und Durchführung einer sogenannten molekularen Autopsie im Rahmen einer Todesursachenerklärung. Der Anteil genetisch bedingter Todesursachen ist besonders in Fällen junger plötzlich Verstorbener hoch, jedoch auch bei bis zu 60-jährigen relevant. Unter einer molekularen Autopsie versteht man die postmortale molekulargenetische Untersuchung von Erbmaterial, zumeist DNA aus Blut und Gewebe, auf das Vorliegen von krankheitsspezifischen Genmutationen mit dem Ziel einer postmortalen Aufklärung der Todesursache bei SD/SCD. Die molekulare Autopsie kann auch zur Verdachtsbestätigung einer erblichen kardialen Erkrankung führen. Der krankheitsverursachende Defekt kann in einem signifikanten Anteil identifiziert werden. Bei einem Drittel der Autopsie-negativen Fälle eines SD kann ein seltenes Arrhythmiesyndrom bereits durch molekulargenetische Untersuchungen auf die Hauptgene für das Long QT-Syndrom und die katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie post mortem gefunden werden. Die Kenntnis einer genetischen Ursache hat abgesehen für die postmortale Aufklärung der Todesursache große Relevanz für biologisch verwandte Familienmitglieder. Durch frühzeitige und präventive Diagnostik können weitere fatale Ereignisse bei biologisch Verwandten verhindert werden. [126]

Ionenkanalerkrankungen stehen zunehmend im Fokus der Forschung. Es bestehen zahlreiche genetische Tests zum Nachweis von Ionenkanalerkrankungen. Die Anzahl von nachgewiesenen und bestimmten Krankheitsbildern zuzuordnenden Mutationen steigt stetig. Wenn der Verdacht auf eine Ionenkanalerkrankung als Ursache eines tödlichen Tauchunfalls besteht, sollte postmortal eine molekulargenetische Abklärung erfolgen. Ein Verdacht besteht beispielsweise bei tödlichen Tauchunfällen jüngerer Taucher ohne anderweitige Erklärung und nach Ausschluss technischer Ursachen oder anderweitiger gesundheitlicher Ursachen. Anamnestisch hinweisend sind rezidivierender Schwindel, Palpitationen, stattgehabte Synkopen oder Krampfanfälle sowie Synkopen, Todesfälle in jungen Jahren, Badeunfälle, ungeklärte Unfalltodes- oder Verkehrsunfälle in der Familie. [71] Allein für das Long QT-Syndrom (LQTS) wurden über 600 Mutationen in mindestens 17 Genen gefunden. Die häufigsten Subtypen sind das LQTS-1 (KCNQ1-Gen), das LQTS-2 (KCNH2-Gen) und das LQTS-3 (SCN5A-Gen). Eine katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT) kann mittels genetischer Testung nachgewiesen werden (RYR2-Gen) [71,72]. Ebenso bestehen für das Brugada-Syndrom (SCN5A-Gen) und das Short-QT-Syndrom (SQTS) ebenfalls Möglichkeiten zur genetischen Untersuchung und Identifizierung verantwortlicher Mutationen. In Einzelfällen, in denen ein Verdacht auf eine Ionenkanalerkrankung besteht, ist die Rücksprache mit einem wissenschaftlich engagierten Humangenetiker sinnvoll, um das individuelle Procedere festzulegen. [72] Dies gilt auch für Einzelfälle, in denen Untersuchungsergebnisse und Familienanamnese auf eine erbliche Kardiomyopathie hinweisen. Typische Genmutationen wurden bisher für die hypertrophe und hypertroph obstruktive Kardiomyopathie (HCM/HOCM), einige Formen der dilatativen Kardiomyopathie

(DCM), die linksventrikuläre „non-compaction“ Kardiomyopathie (LVNC), die arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) sowie einige Formen der restriktiven Kardiomyopathie (RCM) identifiziert.

In manchen Ländern wie beispielsweise Australien haben sich genetische Tests bei tödlichen Tauchunfällen unklarer Ursache bereits etabliert. Auch in Spanien sprechen sich Experten für eine genetische Testung bei tödlichen Tauchunfällen mit einer Bewusstlosigkeit unklarer Genese aus [110]. In Deutschland besteht nun durch das 2021 veröffentlichte Konsensuspapier für die postmortale molekulargenetische Untersuchung bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesursachen erstmals eine detaillierte Handlungsempfehlung. Kernpunkt des Konsensuspapiers ist die Aussage, dass im Falle eines Todes ohne hinreichende Erklärung eines Neugeborenen, Kindes, Jugendlichen oder jungen Erwachsenen vor dem 40. Lebensjahr (im Einzelfall auch später) eine Sektion mit entsprechender Materialerfassung für eine molekulare Autopsie erfolgen sollte. Allgemein sollten bei Fällen von SD vor dem 40. Lebensjahr eine Sektion sowie nach Einwilligung eines Totensorgeberechtigten eine Materialasservierung (Blutprobe, geeignetes Gewebe, isolierte DNA, Formalin-fixierte und Paraffin-eingebettete Gewebeprobe) erfolgen (Klasse IC-Empfehlung). Das Material sollte frühzeitig gewonnen werden und möglichst wenig autolytisch sein. Ideal ist frisches kryokonserviertes Gewebe. Es sollte zudem eine umfassende retrospektive Anamneseerhebung in Bezug auf Vorerkrankungen, Synkopen, plötzlichen Herztod, Krampfanfälle oder ungeklärte Unfälle erfolgen (Klasse IC-Empfehlung), bei der ein Genetiker bei der Erstellung eines Familienstammbaums und Identifikation der meist autosomal-dominanten, seltener rezessiv vererbten oder de novo auftretenden Erkrankungen hilfreich sein kann. Bei Vorhandensein eines kardialen Implantates sollte eine Implantatabfrage erfolgen (Klasse IC-Empfehlung). Bei Autopsie-negativen Fällen von SCD, speziell bei Vorliegen eines SADS (Sudden arrhythmic death syndrome) vor dem 40. Lebensjahr sollten eine kardiologische Untersuchung von biologisch Verwandten bezüglich einer kardialen Erkrankung mit Disposition zum plötzlichen Herztod erfolgen (Klasse IC-Empfehlung). Bei Autopsie-positiven Fällen, in denen die Ursache nachgewiesen werden konnte, sollten die biologisch Verwandten gezielt auf die entsprechende Erkrankung untersucht werden (Klasse IC-Empfehlung). Selbiges gilt für eine molekulare positive Autopsie mit Nachweis der speziellen Mutation im Indexfall. Die Untersuchung sollte in einem multidisziplinärem Team aus Kardiologie, Genetik, Psychologie und Rechtsmedizin/Pathologie erfolgen. Bei Autopsie-negativen Todesfällen vor dem 40. Lebensjahr sollte gemäß Konsensuspapier eine kardiopathologische Untersuchungen erfolgen (Klasse IC-Empfehlung). Zudem sollte bei weiterhin unklarer Ursache als letzter Punkt der rechtsmedizinischen Stufendiagnostik (Radiologische Diagnostik, Makroskopie, Mikroskopie, Immunhistochemie, chemisch toxische Analyse) eine molekulare Autopsie durchgeführt werden (Klasse IIaC-Empfehlung). Die Indikation bzw. Empfehlung zur Durchführung einer molekularen Autopsie wird im Rahmen der Sektion durch den Rechtsmediziner gestellt. Vor der molekularen Autopsie ist die Einwilligung eines Totensorgeberechtigten notwendig sowie ggf. die Freigabe des Leichnams durch die Staatsanwaltschaft. [126] Sämtliche Empfehlungen für das Vorgehen bei Fällen von SD/SCD vor dem 40. Lebensjahr sind auch und vor allem auf tödlichen Tauchunfälle übertragbar, da Effekte wie Immersion, Kälte und Anstrengung kardiale Ereignisse triggern können. Die Dunkelziffer kardialer Ereignisse bei tödlichen Tauchunfällen ist hoch. In Kapitel 3.8.2.2. wurde bereits genauer auf den hohen Stellenwert von

Immersion und körperlicher Belastung als Trigger von LQTS 1 und CPVT eingegangen.

SD/SCD bei einem Erwachsenen bis zum 40. Lebensjahr ohne hinreichende Erklärung	
↓	
Rechtsmedizinische Untersuchung	
Stufenschema	Zusätzliches Vorgehen
Radiologische Bildgebung	Materialerfassung für molekulare Autopsie
Sektion (makroskopisch/ mikroskopisch)	Retrospektive (Familien)anamnese
Ggf. Immunhistochemie	Untersuchung von Familienmitgliedern
Chemisch-toxikologische Analyse	Kardiopathologische Untersuchung mit erweiterter mikroskopischer Histologie
Ggf. Implantatabfrage	
Weiterhin Autopsie-negativ	Hinweise auf genetische Erkrankung
↓	
Molekulare Autopsie	

Tab. 40: Empfohlenes Vorgehen bei einem tödlichen Tauchunfall mit SD/SCD bei Erwachsenen bis zum 40. Lebensjahr orientierend am Konsensuspapier der DGK, DGPK, GfH, DGP und DGRM für die postmortale molekulargenetische Untersuchung bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesursachen.

Genetische Untersuchung/molekulare Autopsie	Rechtsmedizin
Bei entsprechender Anamnese, V.a. Arrhythmiesyndrom oder erbliche Kardiomyopathie, SD/SCD bei tödlichen Tauchunfällen	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Materialerfassung für molekulare Autopsie möglichst frühzeitig ○ Geeignetes Material: Blutprobe, frisches Herzgewebe, isolierte DNA, Formalin-fixierte und Paraffin-eingebettete Gewebprobe ○ Begleitend Familienanamnese/Untersuchung von Familienmitgliedern ○ Postmortale molekulargenetische Untersuchung auf genetische Arrhythmiesyndrome/Kardiomyopathien (gezielt oder ungezielt mit hochparalleler DNA- Sequenzierungsmethode) 	
Gängige Arrhythmiesyndrome und Kardiomyopathien und entsprechende Hauptgene mit einer Sensitivität > 10%	
Long QT-Syndrom (LQTS)	KCNQ1, KCNH2, SCN5A
Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT)	RYR2
Brugada Syndrom	SCN5A, SCN10A
Short QT-Syndrom	Kein Hauptgen
Frühe Repolarisationsstörung (ERS)	Kein Hauptgen
Hypertrophe und hypertroph obstruktive Kardiomyopathie (HCM/HOCM)	MYBPC3, MYH7
Dilatative Kardiomyopathie (DCM)	TTN, LMNA, MYH7, MYBPC3
Linksventrikuläre „non-compaction“ Kardiomyopathie (LVNC)	MYH7
Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC)	PKP2, DSG2, DCS2

Tab. 41: Sektion/Zusatzuntersuchungen. Hauptgene [72,126]

5.4.7 Abschließende Beurteilung der rechtsmedizinischen Untersuchung

Nach der Sektion wird in der Regel zunächst ein vorläufiges Gutachten abgegeben. Hierin haben die Obduzenten die Befunde in ihrer Gesamtheit zu interpretieren; dabei sollte auch der Bezug zu den bereits bekannt gewordenen Ermittlungsdaten hergestellt werden. [8]

Die endgültige rechtsmedizinische Beurteilung eines tödlichen Tauchunfalls stellt eine Herausforderung dar. Sie führt ohne einen interdisziplinären Informationsaustausch mit dem technischen Sachverständigen, einem Tauchmediziner und den Ermittlern leicht zu falschen Schlussfolgerungen [7, 61 Kap. 51]. Der Rechtsmediziner muss Besonderheiten und Limitierungen der Sektionsergebnisse bei tödlichen Tauchunfällen ebenso kennen wie die typischen Artefakte. Nur so können Fehlinterpretationen vermieden werden. [111] Mit großer Wahrscheinlichkeit werden in den meisten Fällen Hinweise für einen Ertrinkungstod vorliegen, denn Ertrinken stellt den größten Ursachenanteil tödlicher Tauchunfälle. In der Gesamtbeurteilung muss jedoch immer erörtert werden, welche auslösenden Faktoren, Schädigungsmechanismen und insbesondere gesundheitlichen Schädigungen zum (Ertrinkungs-)Tod geführt haben. [111, 112] Hierfür ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Ermittlern und technischem Sachverständigen unbedingt erforderlich. Im Brennpunkt steht die akkurate Auswertung des Tauchcomputerprofils [5, 6, 7] und weiterer aufgezeichneter Daten, die in die Beurteilung Einzug finden müssen.

Hohen Beweiswert für einen Ertrinkungstod haben ein feinblasiger Schaumpilz vor Mund und Nase, weißlich schaumiger Inhalt in den Bronchien, ein Emphysema aquosum mit Bedeckung von Herz und Mediastinum, eine knisternde luftkissenartige Konsistenz des Lungengewebes, bleibende Impressionen des Lungengewebes durch Fingerdruck und Rippen, Paltauf-Flecken, das Wydler-Zeichen und Sehrtschleimhautrisse. Niedrigeren Beweiswert haben das Svechnikov-Zeichen und Einblutungen in die Cellulae mastoideae, sowie subfasziale Blutungen der Hals-/Rückenmuskulatur. Unspezifische Zeichen sind eine entspeicherte Milz bei ansonsten Blutfülle der parenchymatösen Organe. [55, 112]

Hinweisend auf ein pulmonales Barotrauma können ein subkutanes Emphysem, ein Mediastinalemphysem oder ein Pneumothorax sein [111]. Die Diagnose einer arteriellen Gasembolie bei pulmonalem Barotrauma basiert häufig vor allem auf der Kenntnis des Tauchprofils. Ohne einen schnellen Aufstieg ist eine arterielle Gasembolie unwahrscheinlich [111, 112]. Allerdings ist sie aufgrund von lokal gefangenen Luftmengen oder pathologischen Veränderungen auch bei völlig unauffälligen Aufstiegen möglich. Der tatsächliche Nachweis einer arteriellen Gasembolie und die Beurteilung von Gasansammlungen bei der Sektion tödlicher Tauchunfälle sind aufgrund der zahlreichen möglichen Artefakte (Fäulnisgase, postmortale Dekompressionseffekte, iatrogene Eingriffe) erschwert. Zudem können arterielle Gasembolien, Dekompressionskrankheit und Artefakte in Kombination auftreten. Ein gutes Verständnis tauchphysiologischer Phänomene ist wichtig, um falsche Annahmen zu vermeiden. [6,7] Die CT- und Sektionsergebnisse müssen in Relation zu den Zeitintervallen zwischen einerseits dem Tauchunfall und dem Ableben des Verunfallten und andererseits dem Tod und der Sektion gesetzt werden [61 Kap. 51]. Die postmortale Computertomographie ist für die Differentialdiagnose intravasaler Gasvolumina ergänzend zur Sektion die Methodik der Wahl und zugleich

aufgrund der hohen Sensitivität für Nachweise von Gasblasen in Bezug auf die Beurteilung herausfordernd [6, 7]. Wegweisend kann sein, dass Gasblasen durch Dekompressionskrankheit ursprünglich venös nachzuweisen sind, Gasblasen durch Luftembolien nach Überdehnung der Lungen vor allem arteriell. Gasblasen im Circulus Willisii und den Arterien der Hirnbasis sind signifikanter für eine Gasembolie als die der Hemisphären oder Sinusvenen. Gasansammlungen, die vor allem im linken Herzen vorliegen, sprechen ebenfalls für eine Gasembolie. [5] Postmortale Dekompressionsartefakte treten venös und arteriell auf. Traumata und intravenöse Eingriffe führen oft zu lokalen Ansammlungen von Gas. Fäulnisgase beginnen im gastrointestinalen Trakt, speziell in der Leber, den Leber- und Portalvenen. Hierbei handelt es sich in allen Fällen um die Ursprünge der Gasblasen, da diverse Prozesse zu Umverteilungen der Gasansammlungen führen können [7]. Im Rahmen der Sektion sollten Gasansammlungen mit einer Aspirometernadel eingefangen, das Volumen und die Zusammensetzung gaschromatografisch analysiert werden [6, 7, 8]. Die Analyse des Gases kann für die Diagnosestellung wegweisend sein [6, 7]. Gasansammlungen nach Überdehnung der Lungen zeigen eine Zusammensetzung die dem verwendeten Atemgas entspricht, ebenso wie die freie Luft im Magen. Im Rahmen von Dekompressionsunfällen, lassen sich vermehrt Stickstoff und Stoffwechselprodukte aus den Geweben wie Kohlenstoffdioxid nachweisen. Dies gilt jedoch erschwerend auch für postmortale Dekompressionsartefakte [6, 7]. Fäulnisgase zeigen sich in Form von faulig-riechenden Gasen mit hohem Gehalt an Wasserstoff, Methan sowie Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff [6, 7, 61]. Wegweisend ist der Zeitpunkt, an dem die Gasblasen aufgetreten sind. Artefakte durch Fäulnis benötigen meist über 24 h bis sie nachweisbar sind [7]. Durch Lungenüberdehnung ausgelöste Gasembolien, Pneumothorax, Mediastinal- und Subkutanemphysem zeigen sich unmittelbar. Gasbläschen bei Dekompressionskrankheit bilden sich bei Lebenden bis auf extreme Fälle meist subakut mit einer Progression über mehrere Stunden. Gleichermaßen bilden sich postmortale Dekompressionsartefakte. [61 Kap. 51] Lawrence/Cooke beschreiben in einer Veröffentlichung über Sektionen bei tödlichen Tauchunfällen die Kriterien, anhand derer sie die Diagnose einer Lungenüberdehnung mit arterieller Gasembolie stellen: Schnelles Auftauchen mit anschließender Bewusstlosigkeit, unerfahrener Taucher/Tauchschüler, schwierige Situation wie Panik, eine „low on air“- oder „out of air“-Situation, Auftrieb durch überfüllte Tarierjackets oder abgelegte Gewichte, Aufzeichnung eines schnellen Aufstiegs durch einen Tauchcomputer, computertomographischer Nachweis von Gas im linken Herzen und Circulus Willisii, Koronararterien und Arterien der Retina sowie ein Pneumomediastinum oder Subkutanemphysem, Nachweise von Gas im linken Ventrikel oder Hirngefäßen sowie eine geringe Wahrscheinlichkeit von Artefakten durch Fäulnis oder postmortale Dekompression [6]. Die Dekompressionskrankheit führt ausgesprochen selten zum sofortigen Tod. Sie ist ohne einen längeren, tiefen Tauchgang unwahrscheinlich. Die Kenntnis über das exakte Tauchprofil ist zur Beurteilung eines Kasus unverzichtbar.

Bereits vorhandene, durch Immersionseffekte möglicherweise aggravierte Grunderkrankungen müssen ausgeschlossen werden, hier im Besonderen kardiovaskuläre Ereignisse und pulmonale Erkrankungen wie Asthma oder eine COPD, Diabetes und neurologische Erkrankungen.

Bestehen bei der Interpretation Unklarheiten oder Fragen zu pathophysiologischen Aspekten des Tauchens, kann es hilfreich sein, einen Tauchmediziner zu konsultieren [6, 10 S. 148]. Eine Beurteilung des Kasus durch einen versierten

tauchmedizinischen Spezialisten kann von unschätzbarem Wert sein. Edmonds und Caruso empfehlen jeweils, dass Tauchmediziner bei tödlichen Tauchunfällen für eine Zusammenarbeit bereit sein und idealerweise bei der Sektion anwesend sein sollten [61, 111]. Edmonds empfiehlt, dass keine endgültige Schlussfolgerung aus den Sektionsergebnissen gezogen werden sollte, bis sämtliche Informationen bezüglich Anamnese und technischer Analyse vorliegen und eine Gesamtbeurteilung durch den Tauchmediziner erfolgt ist.

Das rechtsmedizinische Gutachten beinhaltet das Obduktionsergebnis, die Vorgeschichte, die Todesursache und die Todesart sowie eine Beurteilung und Schlussfolgerung. Unter einem gesonderten Punkt sind alle bis zum Zeitpunkt der Sektion bekannt gewordenen Angaben bezüglich der dem tödlichen Tauchunfall direkt vorangegangenen Zeit, den Todesumständen, der Auffindesituation, der technischen Analyse sowie der bekannte oder vermutliche Unfall- oder Tathergang zu dokumentieren. Asservate und Hinweise auf Zusatzuntersuchungen sollten genannt werden. Erklärtes Ziel muss sein, der Staatsanwaltschaft für ihre weitere Ermittlungsarbeit ein Maximum an Erkenntnissen zur Verfügung zu stellen. [8]

Abschließende Beurteilung	Rechtsmedizin
<p>Hinweise für einen Ertrinkungstod</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Hoher Beweiswert: feinblasiger Schaumpilz vor Mund und Nase, weißlich schaumiger Inhalt in den Bronchien, Emphysema aquosum mit Bedeckung von Herz und Mediastinum, knisternde luftkissenartige Konsistenz des Lungengewebes, bleibende Impressionen des Lungengewebes durch Fingerdruck und Rippen, Paltauf-Flecken, Wydler-Zeichen, Sehrt-Schleimhautrisse ○ Niedriger Beweiswert: Svechnikov-Zeichen, Einblutungen in die Cellulae mastoidea, subfasziale Blutungen der Hals-/Rückenmuskulatur ○ Unspezifisch: entspeicherte Milz bei ansonsten Blutfülle der parenchymatösen Organe 	
<p>Hinweise für eine Lungenüberdehnung mit arterieller Gasembolie</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnelles Auftauchen mit anschließender Bewusstlosigkeit, unerfahrener Taucher/Tauchschüler, schwierige Situation wie Panik, eine „low on air“- oder „out of air“-Situation, Auftrieb durch überfüllte Tarierjackets oder abgelegte Gewichte, Aufzeichnung eines schnellen Aufstiegs durch einen Tauchcomputer, computertomographischer Nachweis von Gas im linken Herzen und Circulus Willisii, Koronararterien und Arterien der Retina sowie ein Pneumomediastinum oder Subkutanempysem, Nachweise von Gas im linken Ventrikel oder Hirngefäßen sowie eine geringe Wahrscheinlichkeit von Artefakten durch Fäulnis oder postmortale Dekompression 	
<p>Besondere Beachtung weiterer gängiger tauchmedizinischer Befunde, gesundheitlicher Schädigungen und Todesursachen bei tödlichen Tauchunfällen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Barotrauma von Nasennebenhöhlen, Mittel-/Innenohr oder Mastoid ○ Pulmonales Barotrauma ohne arterielle Gasembolie, Pneumothorax ○ Taucherlungenödem/SDPE ○ Dekompressionskrankheit 	

Tab. 42: Abschließende Beurteilung der rechtsmedizinischen Untersuchung

Abschließende Beurteilung	Rechtsmedizin
<p>Beurteilung des topographischen Verteilungsmusters von Gasblasen, der Gasanalyse und Abgrenzung zu postmortalen Dekompressionsartefakten</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Arterielle Gasembolie: Gasblasen initial arteriell, besonders spezifisch: Vorliegen im linken Herzen, Circulus Willisii, Arterien der Hirnbasis, Gaszusammensetzung entspricht der des verwendeten Atemgases, unmittelbarer Nachweis von Gasblasen ○ Dekompressionskrankheit: Gasblasen initial venös, Gaszusammensetzung enthält vermehrt Stickstoff und Stoffwechselprodukte wie Kohlenstoffdioxid, Auftreten subakut mit einer Progression über mehrere Stunden ○ Postmortale Dekompressionsartefakte: venös und arteriell, Gaszusammensetzung wie bei Dekompressionskrankheit, Auftreten subakut mit einer Progression über mehrere Stunden ○ Fäulniskase: initial im gastrointestinalen Trakt, speziell in der Leber, den Leber- und Portalvenen, Gaszusammensetzung enthält hohe Anteile von Wasserstoff, Methan, Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff und ist faulig riechend, Auftreten meist nach > 24 h je nach Temperatur ○ Traumata/ Punktionen: initial lokale Ansammlungen von Gas ○ Gasansammlungen durch Wiederbelebensmaßnahmen: abhängig vom Sauerstoffanteil des Beatmungsgases 	
<p>Beurteilung von vorliegenden Grunderkrankungen und Akutereignissen für den Ablauf des tödlichen Tauchunfalls insbesondere</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Rhythmogene Ereignisse bei kardialen Vorerkrankungen ○ Kardiovaskuläre Ereignisse ○ Herzmuskelerkrankungen ○ Pulmonale Erkrankungen wie Asthma und COPD ○ Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus ○ Neurologische Erkrankungen, v.a. Epilepsie ○ Intoxikationen (Alkohol, Drogen, Medikamente/Sedativa) 	
<p>Beurteilung von vorliegenden Traumata für den Ablauf des tödlichen Tauchunfalls</p>	
<p>Abschließende Beurteilung der CT-/Sektionsbefunde unter Berücksichtigung folgender Informationsquellen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Technisches Gutachten/Rücksprache mit dem technischen Sachverständigen ○ Auswertung des Tauchcomputerprofils ○ Allgemeine, tauchgangsspezifische Anamnese, insbesondere die medizinische Vorgeschichte und Substanzanamnese ○ Rücksprache mit einem Tauchmediziner, gemeinsame Gesamtbewertung 	
<p>Rechtsmedizinisches Gutachten</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Obduktionsergebnis, Vorgeschichte, Todesursache, Todesart, Beurteilung und Schlussfolgerung ○ Angabe zugrunde liegender Informationen, Asservate und Zusatzuntersuchungen 	

Tab. 42: Abschließende Beurteilung der rechtsmedizinischen Untersuchung (Fortsetzung)

6. Ergebnisse und Diskussion

Die Daten aus den Fallakten der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee zwischen 1994 und 2018 wurden unter zwei Aspekten ausgewertet.

Die Auswertung der epidemiologischen Daten erfolgte zum Einen in Bezug auf Alter, Geschlecht, verwendete Ausrüstung, maximale Tauchtiefe, Tiefe bei Auftreten von relevanten Problemen, Zertifizierung/Brevetierung, Atemgas, Buddy-Status und häufigste Auslöser, Schädigungsmechanismen, gesundheitliche Schädigungen und Todesursachen. Der hohe Stellenwert einer epidemiologischen Erfassung und Beschreibung von tödlichen Tauchunfällen wurde in der Literatur mehrfach hervorgehoben. Die erhobenen Daten helfen Organisationen im Bereich von Tauchausbildung und Tauchsicherheit, Empfehlungen und Leitlinien zu erarbeiten, um zukünftig ähnliche fatale Ausgänge zu vermeiden.

Zudem kann eine epidemiologische Datenerfassung zeigen, wo und in welchem Rahmen die Ermittlungsarbeit zu verbessern ist, um international empfohlenen Standards folgend eine hochqualitative Abklärung tödlicher Tauchunfälle zu erzielen. Die Fallbeispiele tödlicher Tauchunfälle im Hemmoorsee wurden im Abschnitt 4 aus tauchmedizinischer Sicht erörtert. Es erfolgte eine Auswertung der erhobenen Daten aus den polizeilichen Ermittlungsakten unter dem Aspekt der für eine Klärung eines tödlichen Tauchunfalls notwendigen Informationen und Untersuchungen gemäß aktueller Literatur. Die in dieser Dissertation beschriebenen Fallbeispiele zeigen beispielhaft den problematischen Umgang mit tödlichen Tauchunfällen und die teilweise sehr lückenhafte Informationserhebung in Deutschland. Eine Veröffentlichung zur rechtsmedizinischen Untersuchung tödlicher Tauchunfälle in Deutschland von Oehmichen et al. erbrachte bereits eine deutschlandweit sehr inhomogene Datenerfassung, vor allem in Bezug auf relevante Aspekte wie die Krankenvorgeschichte, die genauen Umstände des Todeseintritts, die Auffindesituation, die Untersuchung der Tauchausrüstung und die technische Analyse. Auch das technische Vorgehen bei der Obduktion und in Bezug auf besondere Zusatzuntersuchungen wie Luftembolieproben und Pneumothoraxproben, Abgrenzung eines Gasemphysems durch schnelle Dekompression zu postmortalen Dekompressionsartefakten, spezielle Lungenpräparation zur Darstellung eines Barotraumas sowie Histologie, Toxikologie und Serologie zeigte sich sehr uneinheitlich, da Sektionen tödlicher Tauchunfälle relativ selten sind bei zugleich komplexen Fragestellungen unter Berücksichtigung von tauchphysiologischen und gerätetechnischen Aspekten. [2] Auch für die tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee (1994-2018) ließ sich ein ausgesprochen uneinheitliches Vorgehen und eine inhomogene Datenerfassung aufzeigen. Hierbei ist zu beachten, dass eine Kategorie in dieser Dissertation auch dann als „erfasst“ gewertet wurde, wenn nur unvollständige Angaben innerhalb der Kategorie vorlagen. Nur für Fälle, in denen für eine Kategorie keinerlei Angaben vorlagen, wurde diese als negativ („nicht erfasst“) bewertet. Bei weiterer Unterteilung der Kategorien hätte sich die Inhomogenität in Bezug auf das Datenmaterial noch deutlicher gezeigt, allerdings auf Kosten der Übersichtlichkeit.

Für jeden Fall vollständig erhoben wurden die **allgemeinen Angaben zur Person**. Die Alters- und Geschlechtsverteilung der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee entspricht dabei denen anderer aktueller Veröffentlichungen. Frauen sind in Relation zu ihrem Anteil beim Sporttauchen bei den Todesfällen deutlich unterrepräsentiert.

Casadesús berichtet über einen Anteil weiblicher Verunfallter von 20 % [110]. Oehmichen et al. berichteten über eine Rate von 13,3 %, der DAN Annual Diving Report 2018 von 12 % [2, 12]. Bei den hier untersuchten, im Hemmoorsee tödlich verunfallten, Tauchern betrug die Rate der weiblichen Verunfallten 12 %.

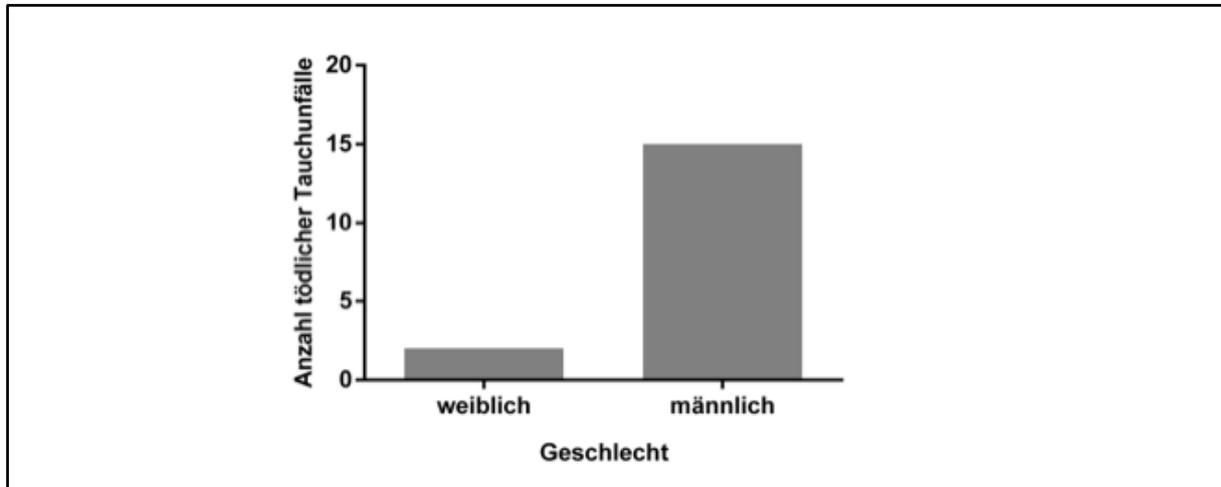


Abb. 43: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf das Geschlecht.

Der DAN Annual Diving Report von 2018 zeigt eine Häufung von zwei Dritteln aller Todesfälle in einer Altersgruppe > 50 Jahre [12]. Ebenso geben Casadesús et al. auch eine Häufung in der Altersgruppe von 50-69 Jahren an [110]. DAN Annual Diving Reports aus früheren Jahren (z. B. 1989) beschrieben ebenfalls Häufungen bei den > 50-Jährigen, jedoch war eine zweite Altersgruppe (20-24-jährige) überrepräsentiert. Eine Erklärung für die Häufungen wurde einerseits in vermehrten kardiovaskulären Grunderkrankungen bei der älteren Gruppe und andererseits vermehrter Risikofreudigkeit und Unerfahrenheit bei den jüngeren gesehen [2, 12]. Die Daten der Verunfallten im Hemmoorsee zeigen ebenfalls eine Häufung bei Tauchern > 50 Jahren. Eine zweite Häufung zeigt sich bei jüngeren Tauchern in der Altersspanne von 30-39 Jahren. Passend zu der Entwicklung der Verteilungen in den DAN Annual Diving Reports wurden die in jüngeren Jahren (< 30 Jahre) verunfallten Taucher eher zu Beginn der Datenerfassung ab 1994 verzeichnet. Ab 2011 wurden ausschließlich tödliche Tauchunfälle > 54 Jahre verzeichnet. Zu untersuchen wäre, ob dies mit einer verminderten Risikofreudigkeit zusammenhängt oder mit einer demographischen Entwicklung innerhalb des Tauchsports hin zu einem höheren Altersdurchschnitt.

Obwohl sie von erheblichem Interesse waren, zeigten sich die dokumentierten Angaben zur **allgemeinen Anamnese** in der Mehrzahl der Fälle in den polizeilichen Ermittlungsberichten ausgesprochen lückenhaft. Die medizinische Vorgeschichte wurde in 10 Fällen (59 %) nicht erhoben. In den Fällen, für die eine medizinische Vorgeschichte erhoben wurde, basierten die Daten häufig allein auf Angaben der Angehörigen und/oder Tauchpartner. In zwei Fällen wurde zur Erhebung der medizinischen Vorgeschichte ein behandelnder Arzt kontaktiert. In einem Fall ergaben sich die Vorerkrankungen aus den Angaben auf der Tauchtauglichkeitsbescheinigung. In den sieben Fällen (41 %), für die Angaben zur medizinischen Vorgeschichte bestanden, wurden in drei Fällen Vorerkrankungen durch Angehörige verneint. In jeweils einem Fall wurden ein Malignom, eine

Herzmuskelerkrankung sowie Asthma bronchiale, ein arterieller Hypertonus und eine unklare Bewusstlosigkeit angegeben. In Fall 11 wurde angeblich ein Jahr zuvor eine Tauchtauglichkeitsuntersuchung durchgeführt, das Ergebnis wurde nicht weiter ermittelt, so dass dieser Punkt für Fall 11 als „nicht erhoben“ gewertet wurde. Eine Substanzanamnese wurde in keinem Fall erhoben. Angaben zur Tauchtauglichkeit wurden in den meisten Fällen (59 %) nicht dokumentiert. In zwei Fällen (12 %) lag eine Bescheinigung nach GTÜM-Kriterien vor, in zwei Fällen (12 %) eine Bescheinigung nach ausländischem GTÜM-Äquivalent und in drei Fällen (18 %) wurde die Bescheinigung nicht nach GTÜM-Kriterien ausgestellt.

Angaben zur Brevetierung und Taucherfahrung lagen mit 15 Fällen (88 %) und somit überwiegend vor. Informationen zu speziellen Fragestellungen in Bezug auf einen stattgehabten Leistungsknick, auffällige Lebensumstände, Stress, Suizidalität oder besondere Charaktereigenschaften wie eine besondere Risikobereitschaft wurden selten (6 Fälle, 35 %) dokumentiert. In vier Fällen wurden besondere Charaktereigenschaften dokumentiert, in einem Fall ein möglicher rechtlicher Konflikt in finanziellen Angelegenheiten. In einem weiteren Fall wurde gezielt nach psychischem Stress und Suizidalität gefragt.

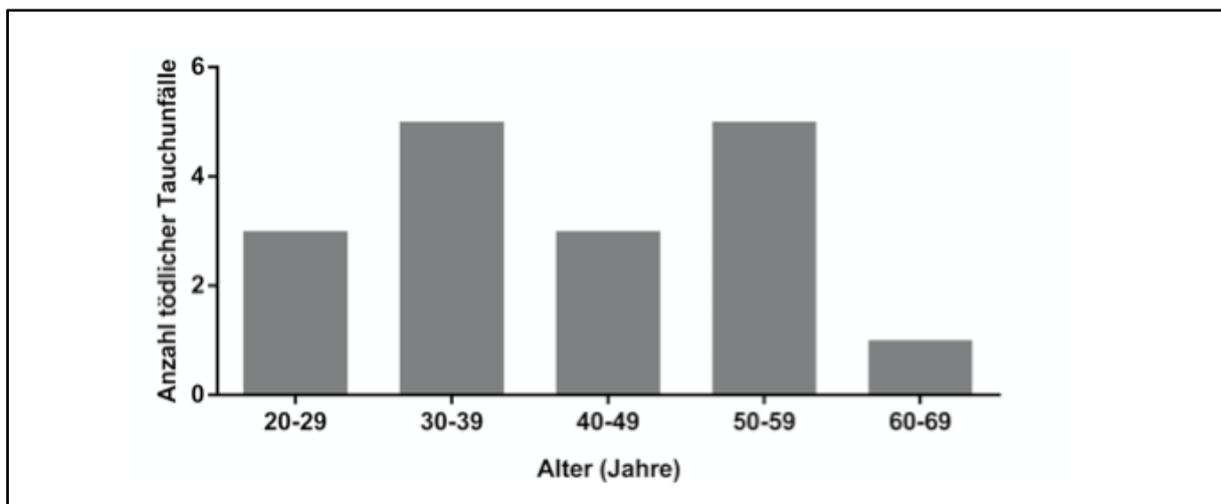


Abb. 44: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf das Alter.

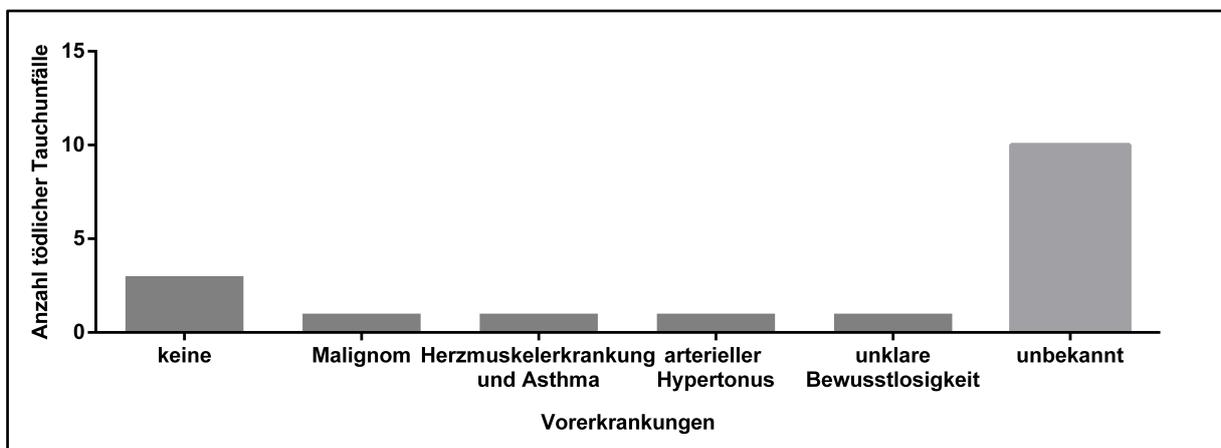


Abb. 45: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf die medizinische Vorgeschichte.

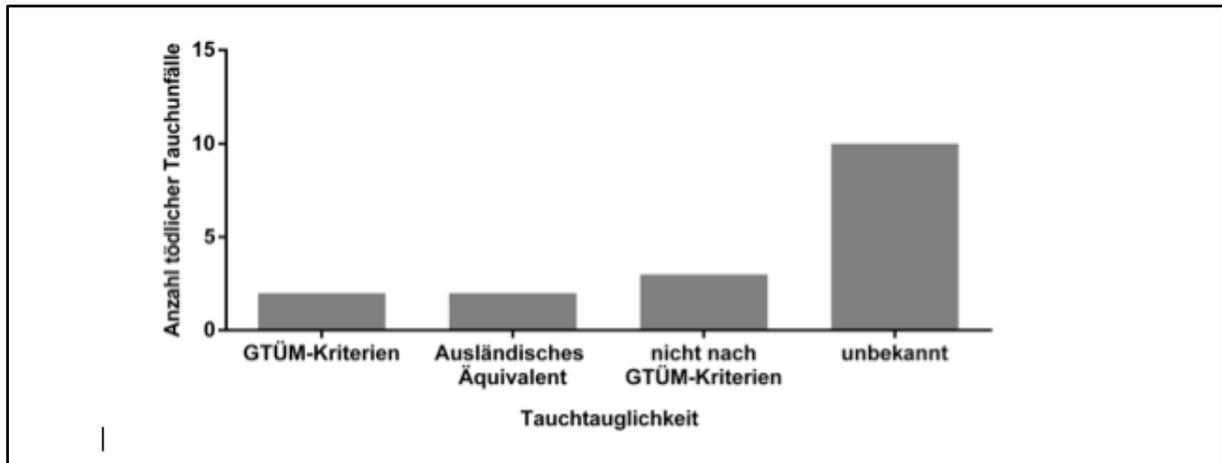


Abb. 46: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf das Vorliegen einer Tauchtauglichkeitsbescheinigung.

Fall	Alter	M/W	Med. Vorgeschichte	Substanz-anamnese	Brevet/ Erfahrung	Tauchtauglichkeit	Spezielle Fragen
1	25	M	-	-	+	-	(+)
2	32	M	-	-	+	-	(+)
3	32	M	+	-	+	+	-
4	28	M	-	-	-	-	-
5	26	W	-	-	+	-	-
6	66	M	+	-	+	+	-
7	44	M	-	-	+	-	-
8	43	M	-	-	-	-	-
9	37	M	-	-	(+)	-	-
10	35	M	-	-	+	-	(+)
11	30	M	+	-	+	-	-
12	40	W	+	-	+	+	(+)
13	54	M	-	-	+	+	-
14	59	M	-	-	+	+	-
15	56	M	+	-	+	+	-
16	55	M	+	-	+	-	(+)
17	59	M	+	-	+	+	(+)

Tab. 43: Allgemeine Anamnese und erhobene Informationen bei der Ermittlung der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee (1994-2018). Begrifflichkeiten: Angabe des Alters in Jahren. M = Männlich, W= weiblich. + = Daten erhoben. - = keine Daten erhoben. (+) = teilweise Daten erhoben.

Im Hemmoorsee kam es im Untersuchungszeitraum zu tödlichen Tauchunfällen in allen Kategorien möglicher Zertifizierung. Caruso beschreibt, dass unerfahrenere Taucher und Tauchsüler in Bezug auf schwere Tauchunfälle überrepräsentiert sind [5]. Pacher beschreibt hingegen eine Häufung von Männern mit steigender Gefährdung für einen tödlichen Tauchunfall mit zunehmender Erfahrung [116]. Im DAN Annual Diving Report 2018 wird eine Häufung bei Tauchsülern und technischen Tauchern beschrieben bei ansonsten mit der Höhe der Zertifizierung steigender Inzidenz von tödlichen Tauchunfällen [5]. Die untersuchten Fälle im Hemmoorsee zeigen eine geringe Verteilung in den Bereichen unerfahrener Taucher und technischer Taucher (OWD/AOWD zusammen 18%, Technisches Tauchen in einem Fall, 6%). Hingegen besteht entsprechend den Beschreibungen von Pacher und teilweise dem DAN Annual Diving Report 2018 eine Häufung bei höherwertigen Zertifizierungen wie dem Rescue Diver und dem Master Diver (zusammen 29%). Zu erklären ist diese Häufung hochwahrscheinlich durch die höhere Risikobereitschaft auf Basis einer tatsächlichen oder vermeintlichen umfassenden Ausbildung und Taucherfahrung. Zum Erhalt dieser höheren Zertifizierungen sind in der Regel

mehrere Specialties, eine Weiterbildung in Bezug auf Selbstrettung und Rettung anderer, sowie eine Mindestanzahl von Tauchgängen erforderlich (z. B. PADI Master Diver: 50 Tauchgänge). Viele Taucher höherer Brevetierungen verfügen tatsächlich über fundierte Erfahrung, jedoch besteht bei vielen Tauchern auch der Trend, in kurzer Zeit möglichst viele Specialties und Brevetierungen zu erreichen, so dass es zur Diskrepanz zwischen einer hohen Brevetierung mit theoretischem Wissen und der hierzu komplementären tatsächlichen Taucherfahrung kommt. Auf Basis eines hohen Selbstbewusstseins in Bezug auf die Taucherfahrung kann es so zu Selbstüberschätzungen und Überforderung in Situationen kommen, für die ein Taucher theoretisch ausgebildet ist, dem es aber an praktischer Erfahrung mangelt. Viele der tödlichen Tauchgänge im Hemmoorsee sind allein aufgrund der Kaltwasserbedingungen, der häufig erstrebten Tauchtiefe jenseits von 30 m, der Sichtverhältnisse und der besonderen Begebenheiten, wie denen des Rüttlers, hochanspruchsvolle Tauchgänge mit möglichen Komplikationen durch unerwartete Angst, Stress und Panik, Stickstoffnarkose, Essoufflement und Orientierungsverlust, für deren Bewältigung eine fundierte, langjährige Erfahrung nötig ist. Oehmichen et al. beschreiben in ihrer Analyse tödlicher Tauchunfälle mehrere Fälle von hochqualifizierten Tauchern und sogar Tauchlehrern, die aufgrund erhöhter Risikobereitschaft, Rekordsucht oder alkoholisiert verunfallten [2].

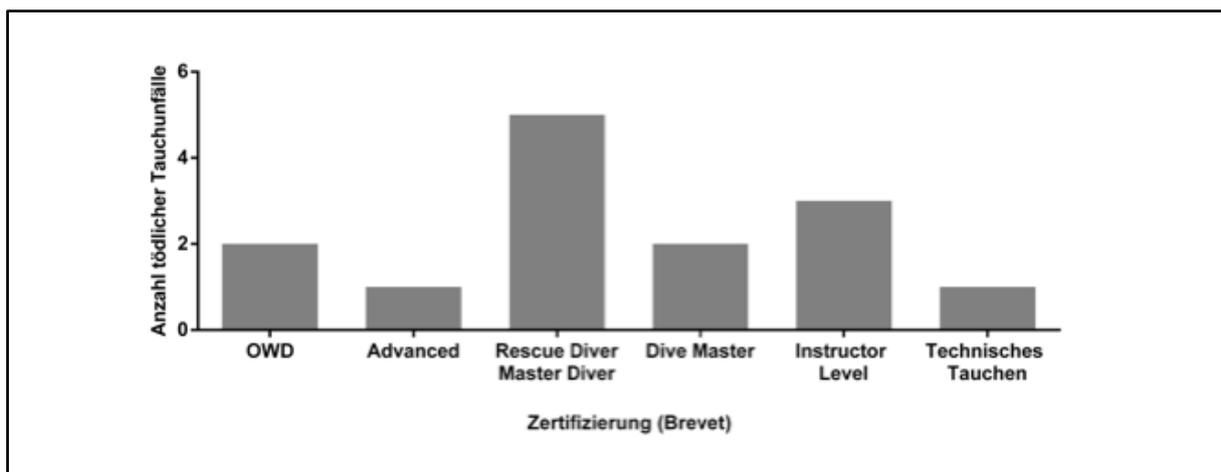


Abb. 47: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf die Zertifizierung. $n = 14$; Zertifizierung in drei Fällen unbekannt.

Oehmichen et al. weisen auf ein vermehrtes Auftreten von Doppel-Todesfällen hin [2]. Ein Problem des Tauchpartners (z. B. technischer Defekt, gesundheitliches Problem, Selbstüberschätzung/Leichtsinn) oder ein Rettungsversuch des Tauchpartners kann einen Taucher auch selbst in Gefahr bringen. Die analysierten Tauchunfälle im Hemmoorsee erbrachten einen einzigen Doppeltodesfall, allerdings wurden in mehreren Fällen leichtere und schwerere nicht fatal endende Tauchunfälle bei den Tauchpartnern der tödlich verunfallten Taucher beschrieben, etwa durch schnelles Auftauchen im Rahmen der Rettungsmaßnahmen.

Die **tauchgangsspezifische Befragung** enthielt in den meisten Fällen detailliertere Informationen als die allgemeine Anamnese, zeigte sich in der Erfassung jedoch ebenfalls uneinheitlich. Zur Vergleichbarkeit in Bezug auf die Informationserfassung wurden die Fälle auf das Vorliegen von Informationen in acht wichtigen Kategorien des in dieser Dissertation entwickelten standardisierten Untersuchungsablaufs

überprüft: Verhältnisse vor Ort, Befinden des Verunfallten vor dem Tauchgang, Art und Ziel des Tauchgangs, verwendete Ausrüstung, Angaben zum Atemgas, Angaben zur Tauchgruppe, Angaben zum Tauchplatz sowie die Rekonstruktion des Tauchgangs. Nur selten lagen vollständige Angaben zu allen Unterpunkten der Kategorien vor. Lagen für eine Kategorie unvollständige Angaben vor, wurde er dennoch für die Statistik als positiv (Daten vorliegend) gewertet. In Fällen, in denen für eine Kategorie keinerlei Angaben vorlagen, wurde diese als negativ bewertet.

In den meisten Fällen (88 %) konnte eine Befragung der Tauchpartner mehr als 60 % der im Idealfall zu erhebenden Informationen für die tauchspezifische Befragung erbringen. In zwei Fällen waren die Informationen mit 40 % der im Idealfall zu erhebenden Informationen knapp.

Fall	Alter	M/W	Verhältnisse vor Ort	Befinden vor TG	Art und Ziel des TG	Verwendete Ausrüstung
1	25	M	(+)	-	+	-
2	32	M	+	-	+	(+)
3	32	M	(+)	(+)	+	(+)
4	28	M	(+)	-	+	(+)
5	26	W	(+)	(+)	+	(+)
6	66	M	(+)	(+)	+	(+)
7	44	M	-	-	-	-
8	43	M	(+)	-	-	(+)
9	37	M	(+)	(+)	+	(+)
10	35	M	(+)	-	-	-
11	30	M	-	-	-	(+)
12	40	W	(+)	(+)	+	(+)
13	54	M	+	(+)	+	(+)
14	59	M	+	(+)	+	(+)
15	56	M	+	(+)	+	(+)
16	55	M	(+)	(+)	+	(+)
17	59	M	(+)	-	+	(+)

Fall	Alter	M/W	Angaben Atemgas	Angaben zur Gruppe	Angaben Tauchplatz	Rekonstruktion des Tauchgangs
1	25	M	-	+	(+)	+
2	32	M	-	+	(+)	+
3	32	M	-	+	(+)	+
4	28	M	+	(+)	(+)	+
5	26	W	-	+	(+)	+
6	66	M	+ (Art)	+	(+)	+
7	44	M	-	+	(+)	+
8	43	M	-	+	(+)	+
9	37	M	+ (Art)	+	(+)	(+)
10	35	M	-	+	(+)	(+)
11	30	M	-	+	(+)	+
12	40	W	-	+	(+)	(+)
13	54	M	+ (Ort)	+	(+)	+
14	59	M	+ (Ort)	+	(+)	+
15	56	M	+ (Art)	+	(+)	(+)
16	55	M	+ (Ort)	+	(+)	(+)
17	59	M	-	+	(+)	+*

Tab. 44: Tauchgangsspezifische Befragung und erhobene Informationen bei der Ermittlung der tödlichen Tauchunfälle im Hemmorseer (1994-2018). Datenerhebung mittels polizeilicher Ermittlungsberichte. Begrifflichkeiten: Angabe des Alters in Jahren. M = Männlich, W= weiblich. + = Daten lagen vor. (+) = Daten lagen unvollständig vor. - = es lagen keine Daten vor. In der Spalte „Rekonstruktion“: (+) Diskrepanzen in Aussagen * nur rudimentäre Angaben wegen Inanspruchnahme des Aussageverweigerungsrechts.

In allen Fällen wurden Befragungen von Tauchpartnern und Zeugen vor Ort durchgeführt, um den Ablauf des Geschehens unter Wasser zu rekonstruieren. In einem Fall ließ sich der Ablauf aufgrund der Inanspruchnahme des Aussageverweigerungsrechts des Tauchpartners nicht zufriedenstellend rekonstruieren. In fünf Fällen (29 %) lagen Diskrepanzen bei unterschiedlichen Zeugenaussagen oder zwischen Zeugenaussage und Tauchprofil vor, die genauerer Abklärung bedurft hätten, um den Ablauf eindeutiger rekonstruieren zu können. Wünschenswert wäre bei Diskrepanzen in den Aussagen mehrerer Tauchpartner oder Ungereimtheiten in den Aussagen eines Tauchpartners eine genauere Befragung zum Verhältnis von Verunfalltem und Partnern. Eine Mitschuld oder ein Fremdverschulden ist anderweitig schwer zu detektieren.

Wenig detailliert waren die Angaben in Bezug auf die Verhältnisse vor Ort, welche oft nicht oder unvollständig dokumentiert wurden. In nur 24 % der Fälle lagen Informationen zu Wetterbedingungen, Wassertemperatur und Sicht unter Wasser vor. In 65 % waren die Informationen unvollständig und in 12 % lagen keine Informationen vor.

Informationen zum Befinden des Verunfallten vor dem Tauchgang mit dem Fokus auf Übermüdung, Stress, Anstrengung sowie psychische Auffälligkeiten, Genuss toxischer Substanzen in den Stunden vor dem Tauchgang und Tauchprofile vorangegangener Tauchgänge wurden in neun Fällen (53 %) in mindestens einem der genannten Punkte erhoben. In drei Fällen bestanden Angaben zum direkten Befinden. In einem Fall wurde berichtet, dass eine ruhige Vorbereitung stattfand. In drei Fällen wurde von Stress oder Überhitzung berichtet. In fünf Fällen (29 %) wurde nach Alkoholkonsum gefragt. Dieser kann von Relevanz sein, zumal Oehmichen et al. in einer Studie zu tödlichen Tauchunfällen in Deutschland bei 13 % der untersuchten Tauchunfälle eine Alkoholkonzentration über 0,1 Promille nachweisen konnten [2]. Der DAN Annual Diving Report 2018 berichtet über einen Anteil von Alkohol an den Auslösern bei tödlichen Tauchunfällen von 3 % [12]. In welchem Maße Alkohol bei den Hemmoor-Fällen von Relevanz war, kann nicht erhoben werden, da nur in zwei Fällen eine Blutalkoholkonzentration gemessen wurde. In beiden Fällen lag kein erhöhter Blutalkoholspiegel vor.

Art und Ziel des Tauchgangs wurden in den meisten Fällen (76 %) erhoben.

Große Defizite ergaben sich in der Erfassung der verwendeten Ausrüstungsteile. In drei Fällen (18 %) findet die Ausrüstung überhaupt keine Erwähnung. In den restlichen Fällen (82 %) werden Ausrüstungsteile in der tauchspezifischen Befragung oder in der Dokumentation der Leichenschau erwähnt, allerdings unvollständig. In einem der jüngeren Fälle wurde von den Ermittlern eine Checkliste zur Erhebung von Daten verwendet und Ausrüstungsteile auf dieser gelistet, was zu einer Erfassung der meisten Ausrüstungsteile einschließlich Angabe von Herstellern und Typenbezeichnungen führte. Auch diese Liste ist jedoch nicht vollständig. Wichtige, für den Ablauf des Tauchunfalls relevante Informationen zur Ausrüstung wie vorhandene oder fehlende Kaltwassertauglichkeit im Sinne zweier separater Atemregler ergaben sich teilweise aus den Zeugenaussagen des Bergungsteams oder aus der technischen Analyse, wurden in der Regel jedoch nicht direkt erfragt. Von einem Laien im Bereich des Tauchens kann Kenntnis über die einzelnen Bestandteile einer Tauchausrüstung selbst bei Sporttauchausrüstungen und erst recht nicht bei den noch komplizierteren Rebreathern sicherlich nicht vorausgesetzt

werden. Umso wichtiger ist die Orientierung der Ermittler an einem standardisierten Untersuchungsablauf und die frühzeitige Rücksprache mit einem Sachverständigen.

Bei den Tauchunfällen im Hemmoorsee im Untersuchungszeitraum dieser Dissertation wurde in 12 % der tödlichen Tauchunfälle ein Rebreather verwendet. Diese Quote entspricht dabei der des DAN Annual Diving Report 2018, in dem die tödlichen Tauchunfälle, bei denen mit einem Rebreather getaucht wurde, ebenfalls einen Anteil von 12 % hatten. Interessant ist, dass in keinem der Fälle eine Ausrüstung verwendet wurde, die für ein technisches Tauchen geeignet gewesen wäre, obwohl in drei Fällen (18 %) Tiefen von 40-49 m, in vier Fällen (24 %) Tiefen von 50-69 m und in einem Fall (6 %) eine Tiefe von 60 m erreicht wurden. Nach Vorgabe der Tauchbasis Kreidesee sind Tauchgänge in Tiefen ab 45 m nur mit Trimix erlaubt [11] und fallen somit in den Bereich des technischen Tauchens mit spezieller Ausrüstung und alternativen, stickstoffreduzierten Atemgasen. In nur einem Fall lag eine Zertifizierung als technischer Taucher vor, beim Unfalltauchgang wurde allerdings ein Rebreather nur mit Luft als Diluentgas verwendet.

Passend zu der in Bezug auf Taucherfahrung, Sporttauchausrüstung mit Luft als Atemgas und Auftreten von Inertgaseffekten kritischen Tiefe ab 30 m zeigte sich bei den tödlichen Tauchunfällen im Hemmoorsee ein gehäuftes Auftreten von Problemen auf einer Tiefe von 30-39 m und somit bei 38 % der Fälle, bei denen die Tiefe bei Auftreten der Probleme bekannt war. In Bezug auf die maximal erreichte Tiefe zeigt sich für die Hemmoor-Fälle ein sprunghafter Anstieg von Fällen tödlicher Tauchunfälle ab einer maximal erreichten Tiefe von 30-39 m. 86 % der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee mit bekannter maximal erreichter Tauchtiefe lagen bei mehr als 30 m.

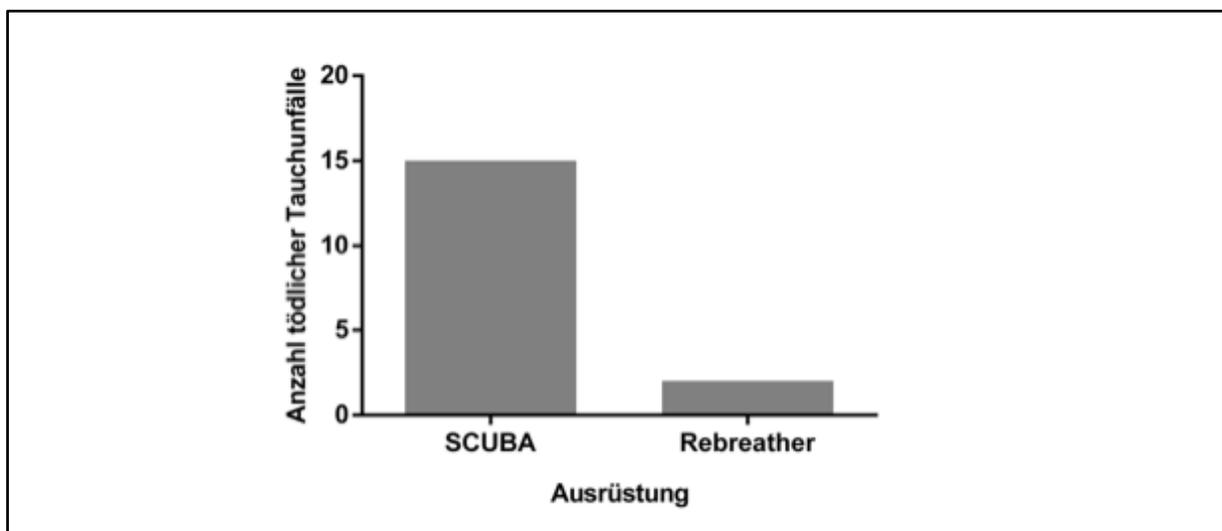


Abb. 48: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf die verwendete Ausrüstung.

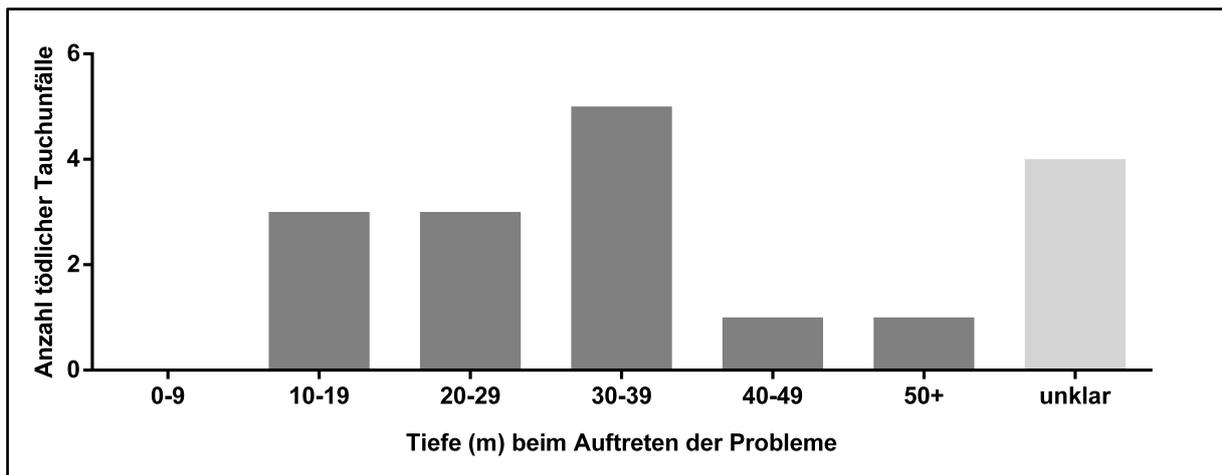


Abb. 49: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf die Tiefe bei Auftreten der Probleme.

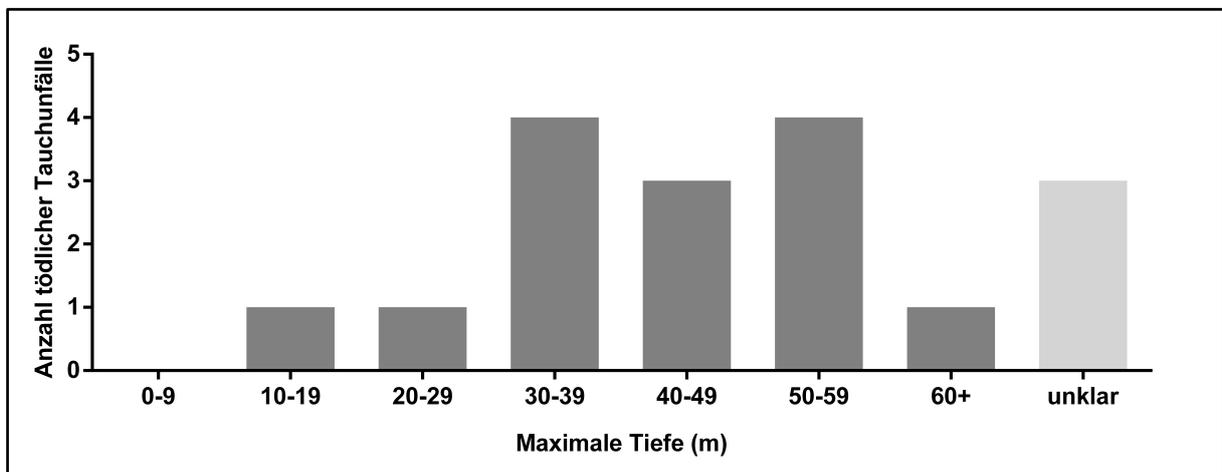


Abb. 50: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf die maximale Tiefe des Tauchgangs. Nicht berücksichtigt in Bezug auf die Maximaltiefe: Absinken auf den Grund nach Eintreten der Bewusstlosigkeit

Große Defizite in der Befragung gab es in Bezug auf das verwendete Atemgas und den Ort der Flaschenfüllung. In 10 Fällen (59 %) findet das Atemgas in der tauchspezifischen Befragung keine Erwähnung. In drei Fällen (18 %) wurde das verwendete Atemgas bei der tauchspezifischen Befragung dokumentiert, allerdings ohne Angabe des Ortes der Flaschenfüllung. In nur einem Fall wurden zugleich Ort der Flaschenfüllung und Art des Atemgases dokumentiert.

In einem Fall ergeben sich indirekt Hinweise auf die Verwendung von Pressluft, da in der Zeugenaussage von „Luft“ gesprochen wird. Das verwendete Atemgas ergab sich in fünf Fällen im Verlauf der Ermittlung indirekt aus Beschreibungen der Untersucher der Tauchausrüstungen (2 Fälle) oder aus der direkten Atemgasanalyse (3 Fälle). In den insgesamt zehn Fällen, in denen Befragung oder technische Untersuchung Anhalt auf das Atemgas ergaben, wurde Pressluft verwendet. Hinweise auf die Verwendung anderer Atemgase wie Nitrox oder Trimix ergaben sich in keinem der untersuchten Fälle. In drei Fällen (18 %) wurde zwar nicht das Atemgas, aber der Ort der Flaschenfüllung festgehalten. In den meisten Fällen (76 %) wurde jedoch nicht nach dem Ort der Flaschenfüllung gefragt. Gerade dieses

Detail kann jedoch in Verbindung mit einer Gasanalyse von großer strafrechtlicher Relevanz sein, etwa wenn Kohlenstoffmonoxid oder andere Verunreinigungen nachgewiesen werden können.

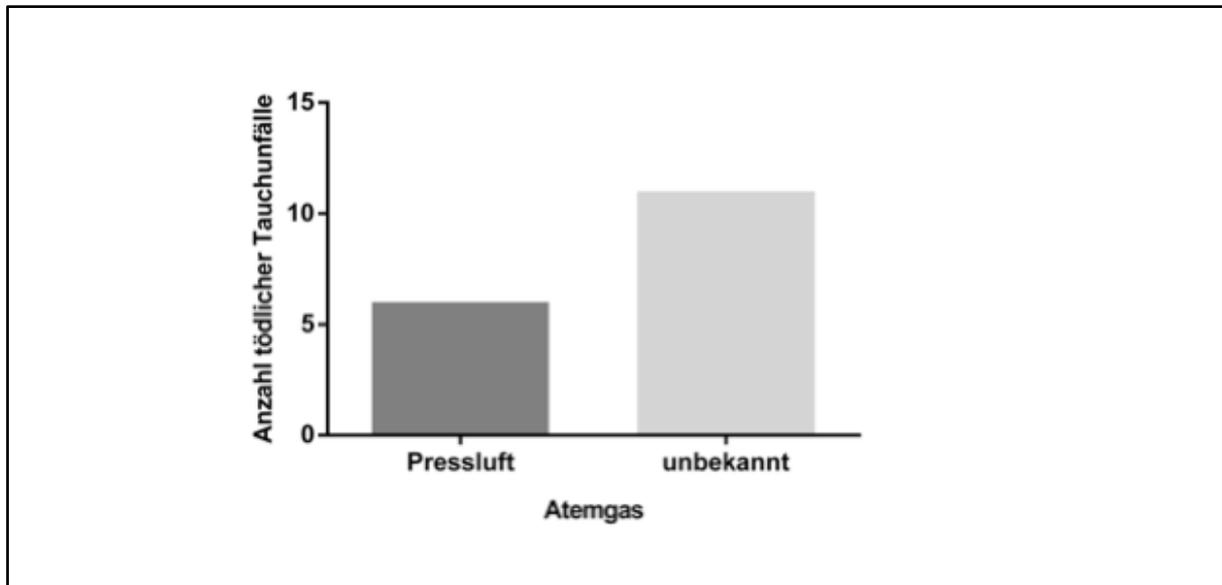


Abb. 51: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf das verwendete Atemgas.

Angaben zur Tauchgruppe oder zum Tauchpartner lagen in allen Fällen vor. In den meisten Fällen lagen Angaben über die gemeinsame Taucherfahrung oder die Brevetierung der Partner vor. Lediglich in einem Fall wird der Tauchpartner ohne weitere Angaben erwähnt. In keinem Fall wurde ein Solotauchgang durchgeführt, wengleich sich der Verunfallte in Fall 10 während des Tauchgangs möglicherweise aus ungeklärten Gründen von seiner Tauchgruppe absetzte und sich der Verunfallte in Fall 17 zwar formell einer Tauchgruppe anschloss, jedoch etwas abgesetzt und ohne zugeteilten Buddy tauchte. Der DAN Annual Diving Report 2018 berichtet über einen Anteil von Solotauchgängen an tödlichen Tauchunfällen von 8 % [12]. Dass bei den tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee kein reiner Solotauchgang verzeichnet wurde, ist sicherlich auf das Verbot von Solotauchgängen durch die Tauchbasis zurückzuführen. In den untersuchten Fällen kam es in einem Fall zum unbemerkten Verlust des Verunfallten, in 11 Fällen (65 %) kam es zum Verlust des Verunfallten durch das zum Tode führende Ereignis. Zwei Verunfallte konnten vom Tauchpartner bewusstlos an die Oberfläche gebracht werden, eine Verunfallte wurde bei Bewusstsein an die Oberfläche gebracht und verstarb danach noch vor Verlassen des Wassers. In zwei Fällen bestand Unklarheit über Zeitpunkt und Ablauf des Verlusts.

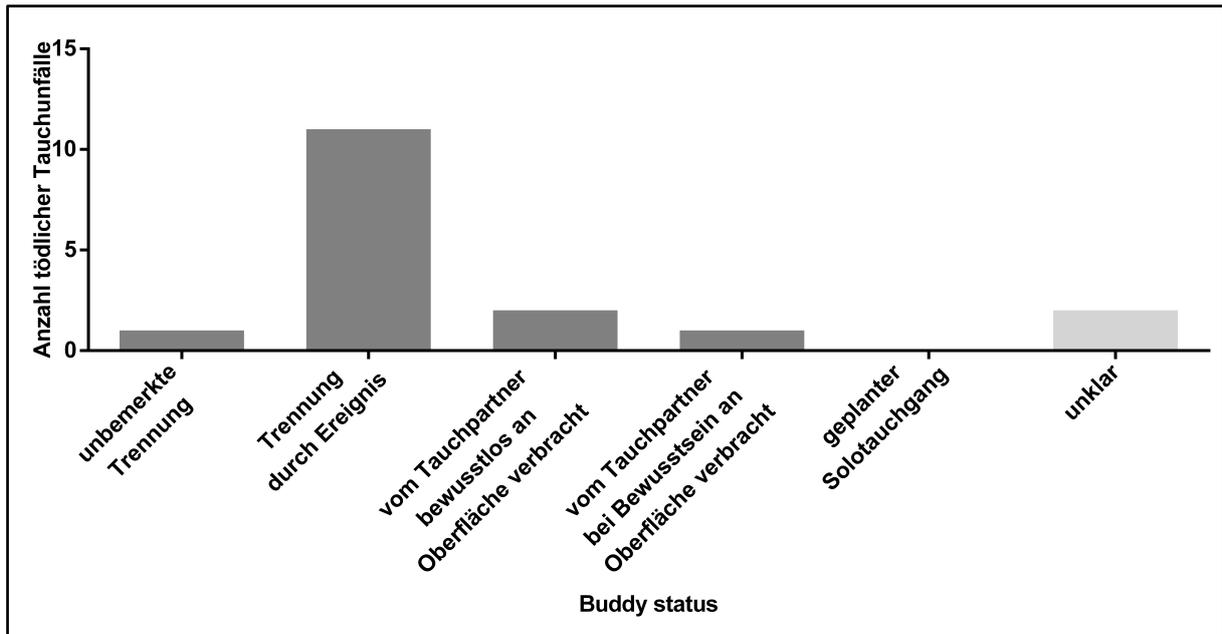


Abb. 52: Tödliche Tauchunfälle im Hemmensee 1994-2018. Verteilung in Bezug auf den Buddy Status = bemerkter oder unbemerkter Verlust des Verunglückten durch Tauchpartner, bzw. Verbringung des Verunfallten an die Oberfläche bei Bewusstsein/bei Bewusstlosigkeit.

In allen Fällen wurde der Tauchplatz dokumentiert, jedoch wurden in keinem Fall vollständige Informationen darüber erhoben, ob dem Verunfallten der Tauchplatz bekannt war oder welche besonderen Gefahren der Tauchplatz birgt. Vereinzelt ergab sich die Besonderheit des Tauchplatzes aus den Zeugenaussagen zum Geschehen rund um den Unfall oder zu den Bergungsmaßnahmen.

Bezüglich der **Bergung** zeigte sich das Datenmaterial ebenfalls sehr inhomogen. Teilweise bestanden keine Angaben zur Bergung (18 %). In einem Fall (6 %) lagen sehr detaillierte Angaben vor, die den überwiegenden Anteil der für den standardisierten Untersuchungsablauf angegebenen Fragen klären konnten. In den meisten Fällen (76 %) wurden einzelne Angaben zur Bergung dokumentiert, variierend von groben Angaben bis zu detaillierten Berichten mit wichtigen Hinweisen zur Ausrüstung und zum Bergungsort. In letzteren Fällen geschah die Bergung meist durch professionelle Rettungs-/Bergungstaucher, z. B. der DLRG, mit fundiertem Wissen. Die Angaben beschränkten sich meist jedoch auf das Vorfinden des Verunfallten unter Wasser. Der Bergungsprozess an sich fand kaum Erwähnung. Die Dokumentation des Vorgehens nach Bergung an Land, insbesondere der Ersthelfermaßnahmen, erfolgte selten. In 41 % der Fälle wurden die Maßnahmen an Land nicht dokumentiert. In den übrigen 59 % der Fälle wurden Ersthelfermaßnahmen und Maßnahmen durch den Rettungsdienst, meist in Form von Wiederbelebungsversuchen, angegeben. In keinem Fall fand sich dabei die Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen in der Ermittlungsakte. Nur in einem Fall wurde die Lage der Zugänge dokumentiert. Eine genaue Erfassung der Maßnahmen durch Ersthelfer und Rettungsdienst kann von Relevanz zur Differenzierung von Gasansammlungen durch dysbare Erkrankungen und zu Dekompressionsartefakten sein und ist somit von großer Wichtigkeit. Eine Befragung des Rettungsteams lag in keinem der Fälle vor; das teilweise der Akte beiliegende Notarztprotokoll enthielt in der Regel nicht alle diesbezüglich relevanten Informationen.

Fall	Alter	M/W	Bergung des Tauchers	Geborgener Taucher
1	25	M	(+)	-
2	32	M	(+)	-
3	32	M	(+)	-
4	28	M	(+)	(+)
5	26	W	(+)	(+)
6	66	M	(+)	(+)
7	44	M	-	(+)
8	43	M	(+)	(+)
9	37	M	(+)	-
10	35	M	(+)	(+)
11	30	M	-	-
12	40	W	-	(+)
13	54	M	(+)	-
14	59	M	(+)	-
15	56	M	(+)	(+)
16	55	M	+	(+)
17	59	M	(+)	(+)

Tab. 45: Erhobene Informationen bezgl. Bergung und Maßnahmen nach der Bergung des Verunfallten an Land; tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee (1994-2018). Datenerhebung mittels polizeilicher Ermittlungsberichte. Begrifflichkeiten: Angabe des Alters in Jahren. Angabe des Geschlechts: M = Männlich, W= weiblich. + = Daten lagen vor. (+) = Daten lagen unvollständig vor. - = es lagen keine Daten vor.

In Bezug auf die kriminalistische Befundaufnahme vor Ort zeigte sich wie auch in Bezug auf die Befragung eine sehr inhomogene Datenerfassung. Eine **polizeiliche Leichenschau** fand in den meisten Fällen (88 %) mehr oder weniger detailliert statt. In einem Fall wurde die Leichenschau gemäß Ermittlungsakte durchgeführt, wurde jedoch nicht weiter beschrieben. In einem Fall blieb es unklar, ob eine Leichenschau durchgeführt wurde. Die Dokumentationen zur Leichenschau enthielten in der Regel wichtige Hinweise in Bezug auf die Todesursache oder perimortale Verletzungen wie das Vorliegen eines Schaumpilzes und/oder blutige Abrinnsuren. Eine Fotodokumentation der Leiche bei der kriminalistischen Befundaufnahme erfolgte in 59 % der Fälle. Eine Foto-Dokumentation der Ausrüstungsteile fand seltener (35 % der Fälle) und wenn nur unvollständig statt. So wie die Befragung zur verwendeten Ausrüstung wie weiter oben erwähnt lückenhaft blieb, fand die deskriptive Auflistung von Ausrüstungsteilen nur in wenigen Fällen statt. In 47 % der Fälle wurden einzelne Ausrüstungsteile gelistet, nur in einem Fall (6 %) weitgehend alle Ausrüstungsteile. Besondere Defizite zeigten sich in schriftlicher und bildlicher Dokumentation bezüglich des Umgangs mit Flaschenventilen und Dokumentation der durchgeführten Veränderungen zum Transport (Restdruck, Umdrehungen), was in keinem Fall stattfand. Für die technische Analyse und die Gasanalyse ist dieser Punkt jedoch ausgesprochen relevant.

Fall	Alter	M/W	Leichenschau	Fotodokumentation Leiche/Ausrüstung	Auflistung Ausrüstung
1	25	M	+	+	-
2	32	M	+	(+) Leiche	-
3	32	M	+	+	(+)
4	28	M	+	-	-
5	26	W	+(keine Angaben)	(+) Ausrüstung	-
6	66	M	+	(+) Leiche	-
7	44	M	?	-	-
8	43	M	+	(+) Leiche	-
9	37	M	+	-	(+)
10	35	M	+	(+) Leiche	(+)
11	30	M	+	-	(+)
12	40	W	+	-	(+)
13	54	M	+	+	(+)
14	59	M	+	+	(+)
15	56	M	+	+	(+)
16	55	M	+	(+) Leiche	-
17	59	M	+	-	+

Tab. 46: Kriminalistische Befundaufnahme vor Ort bei der Ermittlung der tödlichen Tauchunfälle im Hemmensee (1994-2018) . Datenerhebung mittels polizeilicher Ermittlungsberichte. + = Daten lagen vor. (+) = Daten lagen unvollständig vor. - = es lagen keine Daten vor.

Eine **technische Analyse der Ausrüstung** wurde zwar in 71 % der Fälle durchgeführt, allerdings in keinem einzigen Fall durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen. In 83 % der Fälle, bei denen eine technische Analyse durchgeführt wurde, erfolgte ein alleiniges „Gutachten“ durch Mitarbeiter/Inhaber der Tauchbasis Kreidesee oder einer ortsansässigen Tauchbasis. Die Ermittler konnten durch diese Hilfsbereitschaft und ihr Wissen sicherlich einen wertvollen Zugewinn an Informationen erhalten, jedoch blieb die Analyse der Ausrüstung unvollständig, da wichtige technische Untersuchungen nur durch spezielle Geräte und mit einer speziellen Ausbildung durchführbar sind, die einem öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zur Verfügung stehen: Funktions- und Leistungsfähigkeitstests von Atemreglern unter realen Umgebungsbedingungen, Untersuchungen von Rebreathern, Berechnung der tauchtiefenabhängigen Auf- und Abtriebsverhältnisse, Funktions- und Dichtigkeitstests von Auftriebskörpern. Eine technische Analyse durch Taucher vor Ort oder Mitarbeiter einer Tauchbasis ist kritisch zu sehen, weil ein eventueller Interessenkonflikt nicht ausgeschlossen werden kann. Ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger muss nachweislich objektiv und unabhängig sein [113]. Bereits der Verdacht auf einen Interessenkonflikt führt über einen Befangenheitsantrag zu einem Entzug des Gutachterauftrages vor Gericht. In Fällen, bei denen etwa die Flaschenfüllung über die lokale Tauchbasis erfolgt, Leihmaterial vergeben wurde oder ein Ausbildungsverhältnis bestand, ist ein Interessenkonflikt automatisch gegeben, wenn ein Mitarbeiter der Tauchbasis Stellung zum Geschehen nimmt. Bei einer Untersuchung eines tödlichen Tauchunfalls durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen ist zudem gewährleistet, dass der Untersucher nachweislich über überdurchschnittliche Sach- und Fachkenntnisse verfügt, die zur ordnungsgemäßen Durchführung der Untersuchung erforderlichen Gerätschaften besitzt und regelmäßig Weiterbildungen besucht hat. [113] Wegen dieser Anforderungen und der allgemeinen Vereidigung braucht ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger bei Gerichtsverhandlungen nicht gesondert vereidigt zu werden. Er sagt formal immer unter Eid aus. Für den in Bezug auf das Tauchen meist unerfahrenen Ermittler vor Ort und die Staatsanwaltschaft bedeutet die Hinzuziehung eines solchen Sachverständigen, dass von vornherein von einer hohen

Glaubwürdigkeit seiner Aussagen ausgegangen werden kann. Die Glaubwürdigkeit eines hilfsbereiten Tauchers/Tauchbasismitarbeiters vor Ort spontan korrekt einschätzen zu können liegt für die Ermittler hingegen im Bereich des Unmöglichen.

In 17 % der für diese Dissertation analysierten Fälle, bei denen eine technische Analyse durchgeführt wurde, erfolgte diese durch einen Mitarbeiter einer Firma für Tauch- und Beatmungstechnik, so dass eine gewisse Unabhängigkeit gewährleistet wurde und zumindest einige technische Untersuchungen wie die Überprüfung von Einatemwiderständen der Atemregler unter simulierter Tauchtiefe sowie die Dichtprüfung und Befüllungszeit des Tariermittels durchgeführt werden konnten. Auch eine **Atemgasanalyse** wurde durchgeführt. Eine Atemgasanalyse wurde insgesamt nur in vier Fällen (24 %) durchgeführt, in zwei Fällen (12 %) von der Firma für Tauch und Beatmungstechnik und in zwei weiteren (12 %) durch den Inhaber einer Tauchbasis.

In beiden Fällen, in denen die Atemgasanalyse und die technische Untersuchung der Ausrüstung durch die Firma für Tauch- und Beatmungstechnik durchgeführt wurden, erbrachte die technische Analyse auffällige Befunde. In einem Fall lag die Luftlieferleistung des Atemreglers unter der vorgeschriebenen Norm und das Atemgas zeigte bezüglich der Luftfeuchte einen erhöhten Wert. Im anderen Fall ergab die Atemluft einen erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt und der Lungenautomat zeigte Einatemwiderstände weit oberhalb des von der DIN-Norm geforderten Grenzwertes. Dass bereits in diesen einzigen beiden Fällen, in denen eine weiterführende Analyse durchgeführt wurde, mehrere auffällige Befunde erhoben wurden, betont den Stellenwert der technischen Analyse eindrucksvoll. In vielen Fällen kann die technische Analyse wichtige Informationen in Bezug auf mögliche Auslöser, Schädigungsmechanismen und verstärkende Faktoren liefern.

Besonders hervorzuheben ist, dass in den beiden Fällen, in denen ein Rebreather verwendet wurde, keine technische Analyse erfolgte, obwohl gerade deren Handhabung besondere Risiken birgt, fehleranfällig ist und ein umfangreiches Training und eine intensive Wartung erforderlich sind. In einem Fall handelte es sich bei dem Rebreather um ein Leihgerät, so dass technische Mängel für zukünftige Nutzer fatal sein könnten und die technische Analyse umso wichtiger gewesen wäre.

Das **Tauchprofil** ist vor allem vor der Fragestellung eines schnellen Aufstiegs für die Bewertung der Sektionsbefunde von Bedeutung, ebenso im Falle eines unklaren Verbleibs des Verunfallten nach Trennung von der Tauchgruppe. Eine Analyse des Tauchprofils des Tauchcomputers des Verunfallten fand in 60 % der Fälle statt, in denen ein Tauchcomputer vorhanden war. In zwei Fällen war der Verunfallte nicht im Besitz eines Tauchcomputers. Wie bei der Analyse der Tauchausrüstung fand die Tauchcomputeranalyse in keinem Fall durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen statt. Die Auslesung und Interpretation der Daten erfolgte zumeist durch Mitarbeiter/Inhaber der Tauchbasis Kreidesee oder einer ortsansässigen Tauchbasis. Durch ihre Mithilfe konnten in einigen Fällen hilfreiche Informationen gewonnen werden. Wie bei der technischen Auswertung enthält eine Stellungnahme selbst von erfahrenen und technisch versierten Tauchern jedoch nicht die Ausführlichkeit, Objektivität und Unabhängigkeit einer Untersuchung durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen und sollte deshalb in Hinblick auf mögliche Interessenkonflikte vermieden werden. In einem Fall erfolgte die Auswertung des Tauchprofils durch einen Angehörigen, dem Diskrepanzen

zwischen der Zeugenaussage des Tauchpartners und dem Tauchprofil aufgefallen waren.

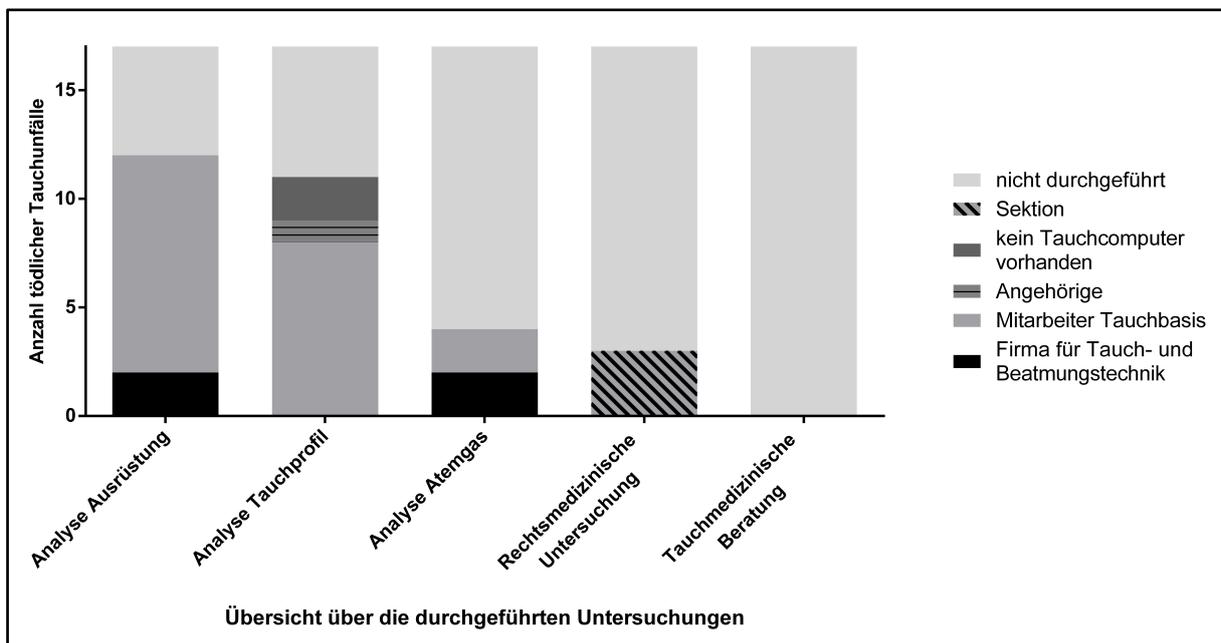


Abb. 53: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen bei den tödlichen Tauchunfällen im Hemmorsee (1994-2018). Analyse Ausrüstung: In einem Fall wurde die technische Analyse sowohl von einem Mitarbeiter einer Tauchbasis als auch einer Firma für Tauch- und Beatmungstechnik durchgeführt. Für die Grafik gewertet wurde in diesem Fall die höherwertige, da unabhängige und technisch umfangreichere Untersuchung durch die Firma für Tauch- und Beatmungstechnik.

Fall	Alter	M/W	Analyse Ausrüstung	Analyse Tauchprofil	Analyse Atemgas	Sektion	Tauchmed. Beratung
1	25	M	(+) FTB	kein TC	+ FTB	+	-
2	32	M	(+) FTB (+MTB)	(+) MTB	+ FTB	-	-
3	32	M	(+) MTB	(+) MTB	-	-	-
4	28	W	-	-	-	-	-
5	26	M	(+) MTB	kein TC	-	-	-
6	66	M	(+) MTB	-	-	-	-
7	44	M	(+) MTB	-	-	-	-
8	43	M	(+) MTB	(+) MTB	-	-	-
9	37	M	-	(+) MTB	-	-	-
10	35	M	-	-	-	-	-
11	30	M	(+) MTB	(+) MTB	(+) MTB	-	-
12	40	W	-	(+) EXT	-	-	-
13	54	M	(+) MTB	(+) MTB	-	-	-
14	59	M	(+) MTB	(+) MTB	(+) MTB	-	-
15	56	M	(+) MTB	-	-	-	-
16	55	M	(+) MTB	(+) MTB	-	+	-
17	59	M	-	-	-	+	-

Tab. 47: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen bei den tödlichen Tauchunfällen im Hemmorsee (1994-2018) gemessen an den notwendigen Komponenten bei Ermittlungen tödlicher Tauchunfälle nach internationaler Expertenmeinung. [5, 6, 7, 111]; Datenerhebung mittels polizeilicher Ermittlungsberichte. Begrifflichkeiten: Angabe des Alters in Jahren. Angabe des Geschlechts: M = Männlich, W = weiblich. Analyse Ausrüstung/Analyse Tauchprofil/Analyse Atemgas: (+) = Analyse erfolgt, jedoch nicht durch öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen. FTB= Firma für Tauch-/Beatmungstechnik. MTB= Mitarbeiter einer Tauchbasis. EXT = externe Auslesung durch Verwandte.

In nur drei Fällen (18 %) wurde die Leiche des tödlich verunfallten Tauchers zur **Sektion** verbracht. Mit Verweis auf die im Kapitel 3 („Häufige Ursachen tödlicher Tauchunfälle“) erörterten zahlreichen und komplexen gesundheitlichen Schädigungen, die durch die tauchphysiologischen Besonderheiten entstehen können, und häufige direkte Todesursachen wie beispielsweise die arterielle Gasembolie ist diese Quote nicht zu tolerieren. Sie zeigt beispielhaft und eindrucksvoll die noch vorherrschenden Mängel in der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle in Deutschland. Die Sektion hat für die Untersuchung tödlicher Tauchunfälle einen prominenten Stellenwert und sollte in jedem Fall durchgeführt werden. Das Zeitintervall vom Unfall bis zur Sektion betrug in einem Fall einen Tag, in einem Fall vier Tage und in einem Fall fünf Tage. Somit lag das Zeitintervall in nur einem Drittel der Fälle im empfohlenen Zeitrahmen von 24 h.

Defizite für die Untersuchung von tödlichen Tauchunfällen bestehen auch in Bezug auf die rechtsmedizinischen Zusatzuntersuchungen. Eine postmortale **Computertomographie** wurde nur in einem von zwei Fällen durchgeführt, für die diese Untersuchung zur Verfügung gestanden hätte. Regulär eingesetzt wird die postmortale CT ungefähr seit 2008. Ein weiterer tödlicher Tauchunfall aus dem Hemmoorsee, bei dem eine Sektion durchgeführt wurde, lag somit zeitlich weit vor der Einführung einer postmortalen Computertomographie in der Rechtsmedizin. **Zusatzuntersuchungen** im Sinne von Luftembolieproben werden in keinem der drei Sektionsberichte erwähnt. Eine **toxikologische Zusatzuntersuchung** mit Bestimmung u.a. des Blutalkoholspiegels wurde in zwei von drei Fällen durchgeführt.

Fall	Alter	M/W	CT	Zusatzuntersuchungen (Luftembolieproben)	Toxikologie/Serologie
1	25	M	nicht vorhanden	-	+
16	55	M	-	-	+
17	59	M	+	-	-

Tab. 48: Übersicht über die Verwendung der rechtsmedizinischen Zusatzverfahren zur Klärung tödlicher Tauchunfälle im Hemmoorsee (1994-2018). Daten aus polizeilichen Ermittlungsberichten.

Die Anforderung einer **tauchmedizinischen Unterstützung** wurde für die tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee im Untersuchungszeitraum gemäß Aktenlage für keinen der Fälle erwähnt. Lediglich das rechtsmedizinische Gutachten von Fall 17 enthält in der Zusammenfassung Angaben, die auf fundiertes Wissen in Bezug auf die Verwendung eines Rebreathers schließen lassen. Ob dieses durch den Untersucher selbst oder einen hinzugezogenen Experten vorlag, bleibt unklar.

Die tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee wurden in Kapitel 4 dieser Dissertation unter tauchmedizinischen Aspekten reevaluiert. Für jeden Fall wurden Auslöser, Schädigungsmechanismus, gesundheitliche Schädigung und Todesursache festgelegt, soweit dies auf der Basis der vorliegenden Daten möglich war. Vorgegangen wurde dabei gemäß der gängigen Praxis für die Bewertung der tödlichen Tauchunfälle in den DAN Annual Diving Reports. Für diese erfolgt die Festlegung der genannten Faktoren auf den Ergebnissen von Sektion, Tauchprofil, Zeugenaussagen, technischer Analyse der Tauchausrüstung des Atemgases sowie der Einschätzung des tauchmedizinischen Reviewers [12, 13]. Einen Überblick über die Auswertung der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018 liefert Tabelle 49.

Fall	Alter	M/W	Auslöser	Schädigungsmechanismus	Gesundheitliche Schädigung	Todesursache
1	25	M	Orientierungslosigkeit und Einschluss	Essoufflement	Bewusstlosigkeit	Ertrinken
2	32	M	Inadäquates Atemgas	Tiefenrausch	Orientierungs-/ Handlungsunfähigkeit	Ertrinken
3	32	M	Tarierproblem	Out of air	Asphyxie	Ertrinken
4	28	M	Verfangen	Out of air	Asphyxie	Ertrinken
5	26	W	Multipl Ungenügende Tauchgangsplanung Überforderung	Essoufflement	Bewusstlosigkeit	Ertrinken
6	66	M	Gesundheitliche Vorschädigung	Out of air	Hypoxie	Kardiales Akutereignis
7	44	M	Immersionseffekte	Vor-/Nachlast-Erhöhung	Kardiale Belastung	Kardiales Akutereignis
8	43	M	Technisches Problem	Kopftieflage an Oberfläche	Asphyxie	Ertrinken
9	37	M	Unklar	Out of air	Asphyxie	Ertrinken
10	35	M	Unklar	unklar	Unklar	Ertrinken
11	30	M	Unklar	Panik, Entfernen des Atemreglers	Asphyxie	Ertrinken
12	40	W	Gesundheitliche Vorschädigung	Unklar	Unklar	Kardiales Akutereignis
13	54	M	Unklar	Out of air	Hypoxie	Ertrinken
14	59	M	Unklar	Unklar	Unklar	unklar
15	56	M	Technisches Problem	Essoufflement	Bewusstlosigkeit	Ertrinken
16	55	M	Unklar	Out of air	Hypoxie	Ertrinken
17	59	M	Technisches Problem mit Rebreather	Hypoxie oder Hyperkapnie	Bewusstlosigkeit	Ertrinken

Tab. 49: Übersicht über wahrscheinliche Auslöser, Schädigungsmechanismen, gesundheitliche Schädigungen und Todesursachen nach retrospektiver Analyse der Tauchunfälle im Hemmoorsee (1994-2018) anhand der Informationen aus polizeilichen Ermittlungsakten.

Die häufigsten **Auslöser** waren technische Probleme in drei Fällen (18 %), sowie eine gesundheitliche Vorschädigung in 2 Fällen (12 %). Für 35 % der Fälle bleibt der Auslöser unklar, weil zu wenig Hinweise für eine Rekonstruktion vorlagen oder deutliche Widersprüche bestanden. In jeweils einem Fall lagen folgende Auslöser vor: Orientierungslosigkeit/Einschluss, inadäquates Atemgas, Problem mit Tarierung, Verfangen, ungenügende Tauchgangsplanung, Immersionseffekte. Die häufigsten Auslöser der tödlichen Tauchunfälle im Hemmoorsee bringen ähnliche Ergebnisse wie im DAN Annual Diving Report 2018, in dem die häufigsten Auslöser ebenfalls technische Probleme (15 %) und gesundheitliche Vorschädigungen (15 %) waren [12].

Die häufigsten **Schädigungsmechanismen** waren eine out of air-Situation (35 %, sechs Fälle) und ein Essoufflement (18 %, drei Fälle). In 18 % der Fälle blieb der Schädigungsmechanismus aufgrund mangelnder Hinweise unklar. In jeweils einem Fall lagen als Schädigungsmechanismus Tiefenrausch, Vor-/Nachlasterhöhung, Kopftieflage an Wasseroberfläche, Entfernen des Atemreglers und Hypoxie/Hyperkapnie vor. Der DAN Annual Diving Report 2018 gibt ebenfalls Probleme mit dem Atemgas als häufigsten Schädigungsmechanismus an (12 %). Als zweithäufigster Schädigungsmechanismus wird mit 9% Panik genannt. Panik wurde in dieser Dissertation nicht als eigenständiger Auslöser oder Schädigungsmechanismus gewertet, da es in den meisten Fällen begleitend und verstärkend zu Panik kam, jedoch der Grund der Panik als Auslöser/Schädigungsmechanismus gewertet wurde. Ein schneller Aufstieg, welcher im DAN

Annual Diving Report 2018 mit 9 % der dritthäufigste Schädigungsmechanismus ist, konnte keinem der Hemmoor-Fälle sicher als Schädigungsmechanismus zugeordnet werden. Dennoch ist ein schneller bzw. Notaufstieg in der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle unbedingt zu beachten und abzuklären. Frühere Studien zeigten, dass schnelle Aufstiege mit arteriellen Gasembolien durch pulmonales Barotrauma eine häufige, einigen Studien zufolge sogar die zweithäufigste, Ursache für tödliche Tauchunfälle darstellen [6, 12, 13, 28, 109, 110].

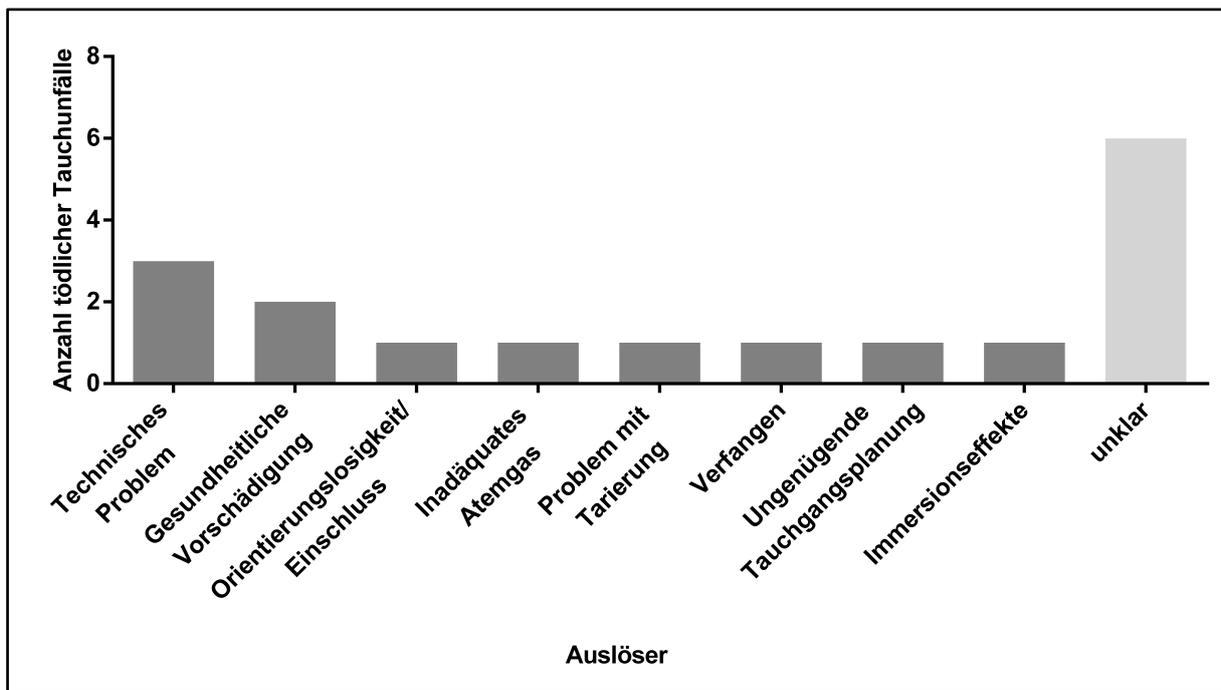


Abb. 54: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018: Auslöser

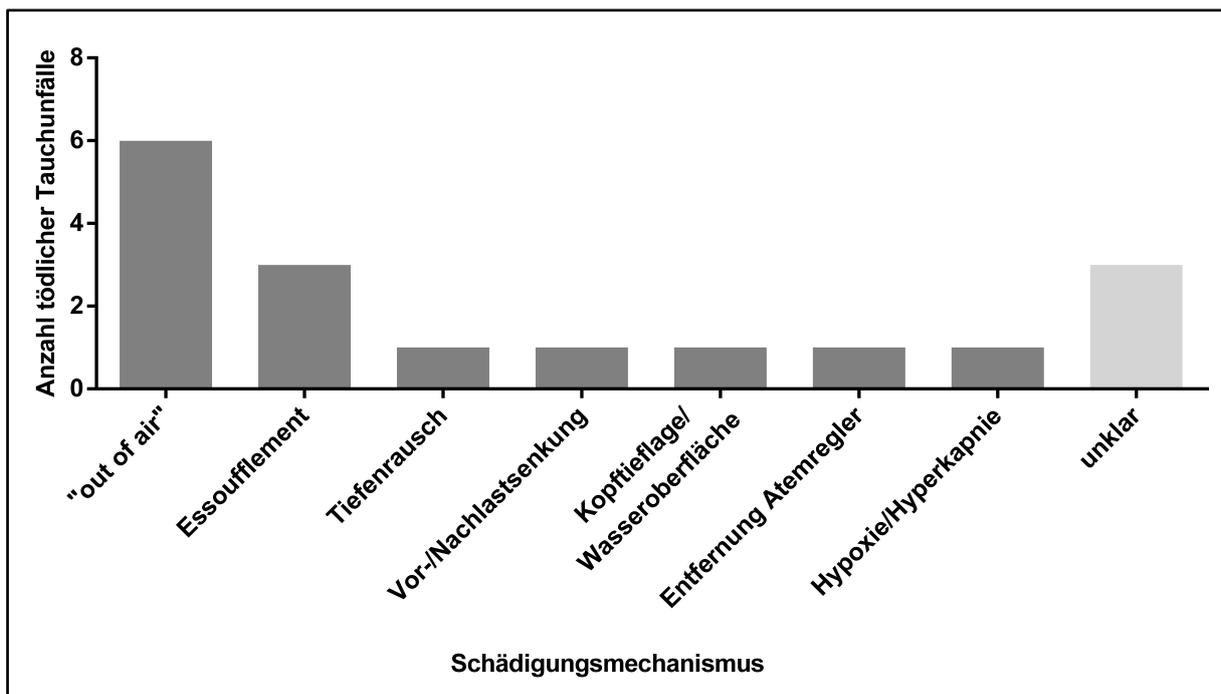


Abb. 55: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018: Schädigungsmechanismen

Die häufigsten zum Tode führenden **gesundheitlichen Schädigungen** waren eine Asphyxie/Hypoxie (47 %, 8 Fälle) und eine Bewusstlosigkeit (24 %, 4 Fälle). In 18 % der Fälle blieb die gesundheitliche Schädigung unklar. In jeweils einem Fall lag die gesundheitliche Schädigung in kardialer Belastung und Orientierungslosigkeit/ Handlungsunfähigkeit. Die häufigste **Todesursache** war auch für die Verunfallten im Hemmoorsee Ertrinken (76 %, 13 Fälle), die zweithäufigste Todesursache mit drei Fällen (18 %) ein akutes kardiales Ereignis. In einem Fall blieb die Todesursache unklar. In den DAN Annual Diving Reports der letzten Jahre war Ertrinken ebenfalls die Haupttodesursache, die zum Tode führende gesundheitliche Schädigung war in den meisten Fällen eine Bewusstlosigkeit oder ein akutes kardiales Ereignis [12, 13]. Auch diesbezüglich lassen sich somit Parallelen zwischen der Statistik der tödlichen Tauchunfällen im Hemmoorsee und den DAN Annual Diving Reports stellen.

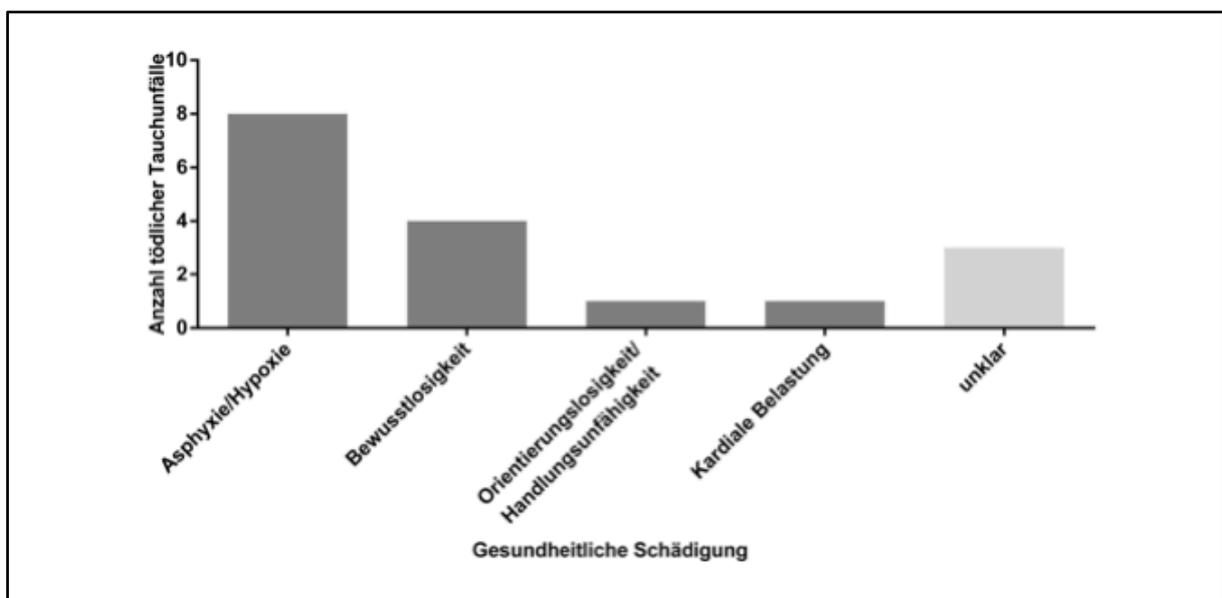


Abb. 56: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018: gesundheitliche Schädigungen.

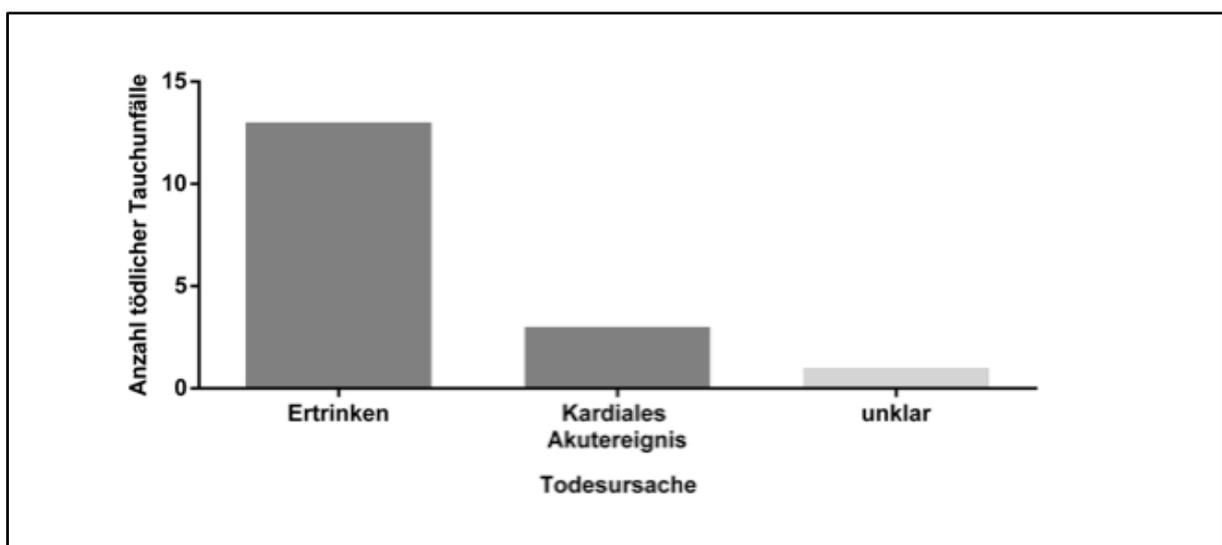


Abb. 57: Tödliche Tauchunfälle im Hemmoorsee 1994-2018: Todesursachen.

Das inhomogene Vorgehen von Ermittlern und Rechtsmedizinern in den untersuchten Fällen ist sicherlich auf die Unsicherheit und Unerfahrenheit der Beteiligten in Bezug auf die Thematik zurückzuführen. Von Ermittlern und Rechtsmedizinern kann nicht erwartet werden, dass sie sich ohne weitere fachliche Unterstützung in der komplexen Thematik zurechtfinden. Umso wichtiger sind die frühzeitige interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Orientierung an etablierten Untersuchungsstandards. In einigen Ländern ist es schon vor vielen Jahren gelungen, tödliche Tauchunfälle mit einheitlichen Dokumentationsbögen zu erfassen, sowie regelmäßige und standardisierte rechtsmedizinische Untersuchungen durchzuführen, etwa in Australien, Neuseeland und den USA [2]. Dies ist für tödliche Tauchunfälle in Deutschland unbedingt anzustreben.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der interdisziplinären Zusammenarbeit wären Ermittlungsgruppen, deren Mitglieder im Falle eines tödlichen Tauchunfalls benachrichtigt werden. In einigen Ländern mit hoher Tauchsportaktivität wurden solche Ermittlungsgruppen bereits etabliert. Koca et al. berichten in einem Artikel über die Evaluation tödlicher Tauchunfälle in der Türkei, dass im Falle eines tödlichen Tauchunfalls eine Ermittlungsgruppe aus Küstenwache, Polizei, Strafverfolgungsbehörde, Staatsanwaltschaft, Rechtsmedizin und Tauchverbänden aktiviert wird [109]. Sehr genaue Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle mit intensivem interdisziplinärem Einsatz finden auch in Australien statt. Da die Strafverfolgung international sehr unterschiedlich organisiert ist, ist eine Übertragung der Abläufe auf Deutschland nicht uneingeschränkt möglich. Nach den aus den Fallbeispielen dieser Dissertation gewonnenen Erkenntnissen und in Orientierung an internationalen Publikationen ist es empfehlenswert, in Regionen mit Tauchsportaktivität, beispielsweise an den Küsten und in der Nähe großer Seen, regionale Ermittlungsteams zu bilden. Weil die polizeilichen Ermittler als erstes Kenntnis über einen tödlichen Tauchunfall erhalten, sollte durch sie eine frühzeitige Benachrichtigung der beteiligten Instanzen erfolgen. Idealerweise sollten feste Ansprechpartner definiert sein, da dies einen schnellen und interdisziplinären Ablauf begünstigt. Empfehlenswert ist ein schriftlich fixierter Algorithmus für die regionalen Ermittlungsbehörden, der Ansprechpartner und Erreichbarkeiten enthält. Die beteiligten Instanzen erhalten frühzeitig Kenntnis über die Basisinformationen, können sich jeweils vorbereiten und im weiteren Verlauf Informationen austauschen und sich gegenseitig bei Rückfragen und Fragen zum weiteren Vorgehen beraten. Für die Ermittler kann die Benachrichtigung der Instanzen eine frühzeitige Unterstützung ihrer Tätigkeit bedeuten, was die Qualität von Befragung und Beweismittelsicherung erheblich steigern und dem Ermittler Sicherheit für ein unbekanntes Themengebiet geben kann. Empfehlungen aus der Literatur besagen, dass die beteiligten technischen und medizinischen Untersucher Kenntnis über das Tauchen, die Tauchphysik und Tauchphysiologie haben und im Idealfall ausgewiesene Experten sein sollten [6, 109, 111]. Für den technischen Bereich sollte der Untersucher deshalb zwingend ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger sein. Von den die Sektion durchführenden Rechtsmedizinern kann auf den erwähnten Gebieten zumeist keine fundierte Kenntnis erwartet werden. Deswegen ist die enge Zusammenarbeit mit einem Tauchmediziner zur Beurteilung der Ergebnisse nachdrücklich anzuraten. Idealerweise sollte bereits vor der Sektion eine Rücksprache erfolgen, worauf im Besonderen zu achten ist. Der Sektionsbefund sollte unter tauchmedizinischen Aspekten gemeinsam diskutiert werden.

Die Vermittlung eines Tauchmediziners in Deutschland ist über das Schiffahrtmedizinische Institut der Marine in Kronshagen (ab 2024 in Hamburg) möglich (0431-54091441, schiffmedinstm@bundeswehr.org). Entweder erfolgt eine Beratung direkt durch einen Taucherarzt des Schiffahrtmedizinischen Instituts oder es kann ein ortsnaher Experte vermittelt werden.

An der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle beteiligt und in den Algorithmus aufgenommen werden sollten somit die zuständige Polizeidienststelle, die Staatsanwaltschaft, das rechtsmedizinische Institut (idealerweise ein spezialisierter Mitarbeiter), ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger und ein Tauchmediziner.

Zuständige Polizeidienststelle
Ermittlungen vor Ort, Befragungen, Zeugenaussagen, erste Leichenschau
Staatsanwaltschaft
Ermittlungsverfahren
Rechtsmedizinisches Institut, idealerweise spezialisierter Mitarbeiter
Sektion
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
Technisches Gutachten
Tauchmediziner
Beratende Funktion in tauchmedizinischen Fragen

Tab. 50: An der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle zu beteiligende Instanzen

Eine weitere Maßnahme zur Unterstützung einer qualifizierten Ermittlungsarbeit vor Ort kann in Schulungsmaßnahmen bestehen. Polizeireviere in Gegenden mit hohem Tauchsportaufkommen und/oder regelmäßigen Tauchunfällen sollten in regelmäßigen Abständen Schulungen für den Umgang mit tödlichen Tauchunfällen, sowie tauchphysikalischen und tauchmedizinischen Grundlagen erhalten, weil ihr Urteil als erste Untersuchungsinstanz wegbahnende Konsequenzen für den gesamten Untersuchungsablauf hat. Ebenso sollten rechtsmedizinische Zentren in solchen Regionen spezielle Fortbildungen für ihre Mitarbeiter anbieten.

Das gemeinsame Ziel der Ermittlungsgruppe sollte sein, eine umfassende, interdisziplinäre und hochqualifizierte Aufklärung der tödlichen Tauchunfälle zu erreichen, durch die Erkenntnisse der Fälle weitere fatale Ereignisse zu verhindern und bei Fremdverschulden die Basis für eine Strafverfolgung zu liefern.

Anzustreben ist zudem eine zentrale Dokumentation tödlicher Tauchunfälle zur Verfolgung demographischer Entwicklungen und Risikominimierung für zukünftige Fälle, so wie es in den USA der Fall ist [2]. Jahresstatistiken könnten diesbezüglich Untersucher tödlicher Tauchunfälle, Tauchorganisationen und die Öffentlichkeit informieren und zu präventiven Maßnahmen führen.

7. Zusammenfassung/Conclusion

7.1 Zusammenfassung

Die Todesursache bei tödlichen Tauchunfällen ist meistens Ertrinken. Hierbei ist jedoch nach dem eigentlichen auslösenden Ereignis zu suchen, das zum Ertrinken und zum Tod geführt hat. Tauchunfälle müssen somit in ihrem Hergang systematisch analysiert und rekonstruiert werden.

Eine große Rolle für die Rekonstruktion der Ereignisse spielen die genaue Anamnese der medizinischen Vorgeschichte inklusive Substanzanamnese, die Befragung in Bezug auf Taucherfahrung und Tauchtauglichkeit, die Verhältnisse vor Ort, das Befinden des Tauchers vor dem Tauchgang, die Tauchgangsplanung, die verwendete Ausrüstung und das verwendete Atemgas, die Tauchgruppe, den Tauchplatz und den tatsächlichen Ablauf. Unentbehrlich ist zudem eine systematische Untersuchung der Tauchausrüstung, des Tauchprofils und der Atemgase durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen. Zudem ist in allen Fällen tödlicher Tauchunfälle, die per se eine nicht natürliche Todesursache darstellen, unbedingt eine Sektion erforderlich. Ohne Sektion und das Erheben spezieller medizinischer Befunde ist die Todesursache bei Tauchunfällen nicht zufriedenstellend zu klären. Sektionen sind somit regelmäßig zu fordern und standardisiert durchzuführen, anders als es in der Vergangenheit erfolgt ist. Neben bestimmten an die Thematik angepassten Sektionstechniken und toxikologischen Untersuchungen sollten vor allem die postmortale Bildgebung durch eine Computertomographie, sowie die Bewertung des Tauchprofils die rechtsmedizinische Praxis bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle komplettieren. Idealerweise sollte zudem eine tauchmedizinische Beratung der in die Untersuchung involvierten Instanzen stattfinden.

Für diese Dissertation erfolgte eine Auswertung von tödlichen Tauchunfällen im Hemmoorsee (Landkreis Cuxhaven, Niedersachsen) anhand von polizeilichen Ermittlungsberichten und Obduktionsberichten. Untersucht wurden siebzehn Tauchunfälle mit tödlichem Ausgang in den Jahren von 1994 bis 2018. Das Untersuchungsmaterial und der Untersuchungsumfang erwiesen sich dabei als außerordentlich inhomogen. Einige Akten enthielten umfangreiches Material, in anderen Fällen lag nur ein kurzer polizeilicher Bericht vor. In Bezug auf die allgemeine Anamnese erfolgte zumeist eine unvollständige Erfassung. Die medizinische Vorgeschichte wurde in mehr als der Hälfte der Fälle nicht erhoben, die Substanzanamnese in keinem Fall. Angaben zur Brevetierung und Taucherfahrung lagen überwiegend vor. Hingegen wurden Angaben zur Tauchtauglichkeit in mehr als der Hälfte der Fälle nicht dokumentiert. Informationen zu speziellen Fragestellungen (Leistungsknick, Lebensumstände, Stress, Suizidalität, besondere Charaktereigenschaften, Risikobereitschaft) wurden selten dokumentiert. Die tauchgangsspezifische Befragung enthielt insgesamt detailliertere Informationen als die allgemeine Anamnese, war jedoch ebenfalls uneinheitlich. Für acht wichtige Kategorien der tauchgangsspezifischen Befragung (Verhältnisse vor Ort, Befinden vor dem Tauchgang, Art und Ziel des Tauchgangs, verwendete Ausrüstung, Angaben zum Atemgas, Angaben zur Tauchgruppe, Angaben zum Tauchplatz, Rekonstruktion des Tauchgangs) lagen selten vollständige Angaben vor, obwohl in allen Fällen Befragungen von Tauchpartnern und Zeugen vor Ort durchgeführt wurden.

Besondere Defizite lagen in der Erfassung der Verhältnisse vor Ort, dem Befinden vor dem Tauchgang, der verwendeten Ausrüstungsteile und des verwendeten Atemgases. Bezüglich der Bergung zeigte sich das Datenmaterial ebenfalls sehr inhomogen variierend von groben Angaben bis zu detaillierten Berichten. Die Dokumentation des Vorgehens nach Bergung an Land, erfolgte selten. Insbesondere erfolgte keine detaillierte Dokumentation der Ersthelfermaßnahmen und Reanimationsmaßnahmen durch den Rettungsdienst. Eine polizeiliche Leichenschau fand überwiegend statt. Eine technische Analyse der Ausrüstung und Auswertung des Tauchcomputers wurden zwar in den meisten Fällen durchgeführt, allerdings in keinem Fall durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen und somit nicht im notwendigen Umfang. Eine Atemgasanalyse wurde in den wenigsten Fällen und ebenfalls in keinem Fall durch einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen durchgeführt. In nur drei Fällen wurde die Leiche des tödlich verunfallten Tauchers zur Sektion verbracht, wobei auch hier ein uneinheitliches Vorgehen in Bezug auf postmortale CT, Luftembolieproben und toxikologische Zusatzuntersuchungen zu verzeichnen ist. Eine tauchmedizinische Beratung erfolgte in keinem der 17 Fälle.

Die 17 tödlichen Tauchunfälle wurden für diese Dissertation zusätzlich unter tauchmedizinischen Aspekten reevaluiert. Für jeden Fall wurden Auslöser, Schädigungsmechanismus, gesundheitliche Schädigung und Todesursache festgelegt. Die häufigsten Auslöser waren technische Probleme in 18 %, sowie eine gesundheitliche Vorschädigung in 12 %. Für 35 % der Fälle blieb der Auslöser unklar. Die häufigsten Schädigungsmechanismen waren eine out of air-Situation in 35 % und ein Essoufflement in 18% der Fälle. In 18% der Fälle blieb der Schädigungsmechanismus unklar. Die häufigsten zum Tode führenden gesundheitlichen Schädigungen waren eine Asphyxie/Hypoxie in 47 % und eine Bewusstlosigkeit in 24 % der Fälle. In 18 % der Fälle blieb die gesundheitliche Schädigung unklar. Die häufigste Todesursache war auch für die Verunfallten im Hemmoorsee Ertrinken in 76 % der Fälle, die zweithäufigste Todesursache mit 18 % ein akutes kardiales Ereignis. In einem Fall blieb die Todesursache unklar. Die Ergebnisse der Auswertung entsprechen überwiegend denen der DAN Annual Diving Reports von DAN USA, einer umfangreichen, jährlich veröffentlichten Statistik über Tauchunfälle.

Auf Basis der Fallanalysen und aktueller tauchmedizinischer Forschungsergebnisse wurde ein standardisiertes Verfahren für die mit einem tödlichen Tauchunfall betrauten polizeilichen Ermittler und rechtsmedizinischen Institute erarbeitet. Der Umgang mit der für die meisten Beteiligten oft fremden und anspruchsvollen Thematik soll erleichtert und die Qualität der Untersuchungen tödlicher Tauchunfälle gesteigert werden.

Zusammenfassend muss forciert darauf hingewiesen werden, wie wichtig die interdisziplinäre Zusammenarbeit und ein Verständnis für tauchphysiologische Prozesse für eine umfassende und zutreffende Interpretation eines tödlichen Tauchunfalls sind. Die Tatsache, dass selbst eine sorgfältige interdisziplinäre Untersuchung bei manchen tödlichen Tauchunfällen zu keinem befriedigenden Ergebnis führt, sollte kein Argument gegen standardisierte Untersuchungen sein und die Untersucher nicht davon abhalten, bestmögliche Resultate anzustreben. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der interdisziplinären Zusammenarbeit sind Ermittlungsgruppen mit fest definierten Ansprechpartnern unter Beteiligung folgender

Instanzen: zuständige Polizeidienststelle, Staatsanwaltschaft, rechtsmedizinisches Institut, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für die technische Analyse, Tauchmediziner. Die beteiligten Instanzen können auf diese Weise frühzeitig Kenntnis über die Basisinformationen erhalten, sich jeweils vorbereiten und im weiteren Verlauf Informationen austauschen und sich gegenseitig beraten. Eine weitere Maßnahme zur Unterstützung einer qualifizierten Ermittlungsarbeit kann in Schulungsmaßnahmen der beteiligten Instanzen bestehen.

Neben der Bedeutung für den einzelnen Fall sollten die Daten zu tödlichen Tauchunfällen für epidemiologische Studien verwendet werden. Durch die Erkenntnisse einzelner Ereignisse und die entsprechende Aufklärung der Taucher können tödliche Tauchunfälle in Zukunft reduziert werden.

7.2 Conclusion

The cause of death in fatal diving accidents is usually drowning. However, the actual triggering event that led to drowning and death must be sought. Diving accidents must therefore be systematically analyzed and reconstructed.

A major role in the reconstruction of the events is played by the exact anamnesis of the medical history including substance anamnesis, the questioning with regard to diving experience and diving fitness, the conditions on dive site, the diver's condition before the dive, the dive planning, the diving equipment and the breathing gas, the dive group, the dive site and the actual procedure under water. Also indispensable is a systematic examination of the diving equipment, the diving profile and the breathing gases by a publicly appointed and sworn expert. In addition, in all cases of fatal diving accidents, which represent a non-natural cause of death, an autopsy is absolutely necessary. Without autopsy and the collection of specific medical findings, the cause of death in diving accidents cannot be satisfactorily determined. Thus, autopsies must be required regularly and performed in a standardized manner. In addition to certain autopsy techniques and toxicological examinations adapted to the subject matter, postmortem imaging by computed tomography should complete the practice of forensic medicine in the investigation of fatal diving accidents. Ideally, there should also be diving consultation of a specialist in diving medicine.

For this dissertation, an evaluation of fatal diving accidents in Lake Hemmoor (district of Cuxhaven, Lower Saxony, Germany) was conducted based on police investigation reports and autopsy reports. Seventeen diving accidents with fatal outcomes from 1994 to 2018 were investigated. The investigation material proved to be extraordinarily inhomogeneous. Some files contained extensive material, while in other cases only a brief police report was available. The general anamnesis was mostly incompletely recorded. Medical history was not obtained in more than half of the cases, and substance history was not obtained in any case. Information on diving certification and diving experience was available in most cases. In contrast, information on diving fitness was not documented in more than half of the cases. Information on special issues (life circumstances, stress, suicidality, special character traits, risk taking) was rarely documented. Overall, the dive-specific questionnaire contained more detailed information than the general anamnesis, but was also inconsistent. Complete information was rarely available for eight important categories of dive-specific questioning (conditions on dive site, personal condition before the

dive, type and destination of the dive, equipment used, information on breathing gas, information on the dive group, information on the dive site, reconstruction of the dive), although interviews with dive partners and witnesses were conducted on site in all cases. Particular deficits were found in the recording of the conditions on dive site, the personal condition before the dive, the equipment and the breathing gas. With regard to the rescue, the data material also varied very inhomogeneously from rough information to detailed reports. The documentation of the procedure after rescue on land, was rarely done. In particular, there was no detailed documentation of first-aid measures and resuscitation measures by the rescue service. A postmortem examination by the police predominantly took place. A technical analysis of the equipment and evaluation of the dive computer were done in most cases, but in no case by a publicly appointed and sworn expert and thus not to the necessary extent. A breathing gas analysis was performed in the fewest cases and also in no case by a publicly appointed and sworn expert. In only three cases was an autopsy performed. Again, inconsistent approaches were taken with respect to postmortem CT, examination for air embolism, and toxicology testing. Consultation of a specialist in diving medicine did not occur in any of the 17 cases.

The 17 fatal diving accidents were additionally reevaluated from a diving medicine perspective for this dissertation. For each case, the trigger, mechanism of injury, disabling injury and cause of death were determined. The most common triggers were technical problems in 18 %, and preexisting health impairment in 12 %. For 35 % of cases, the trigger remained unclear. The most common mechanisms of injury were an out-of-air situation in 35 % and an essoufflement in 18 % of cases. The mechanism of injury remained unclear in 18 % of cases. The most common disabling injuries were asphyxia/hypoxia in 47 % and unconsciousness in 24 % of cases. In 18 % of cases, the disabling injury remained unclear. The most common cause of death also for the casualties in Lake Hemmoor was drowning in 76 %. The second most common cause of death was an acute cardiac event in 18 %. In one case, the cause of death remained unclear. The results of the evaluation correspond predominantly to those of the DAN Annual Diving Reports of DAN USA, a comprehensive, annually published statistic on diving accidents.

Based on the case analyses and current research results in diving medicine, a standardized procedure was developed for the police investigators and forensic medical institutes entrusted with a fatal diving accident to make it easier to deal with the foreign and challenging subject matter and to increase the quality of fatal diving accident investigations.

In summary, it is important to emphasize the importance of interdisciplinary cooperation and an understanding of diving physiological processes for a comprehensive and accurate interpretation of a fatal diving accident. The fact that even careful interdisciplinary investigation does not lead to satisfactory results in some fatal diving accidents should not be an argument against standardized investigations and should not discourage investigators from striving for the best possible results. One way of improving interdisciplinary cooperation is to set up investigation groups with clearly defined contacts involving the following bodies: the relevant police station, the public prosecutor's office, the institute of forensic medicine, the publicly appointed and sworn expert for technical analysis and the diving physician. In this way, the participating authorities can obtain basic information at an early stage, prepare themselves in each case and, in the further course,

exchange information and advise each other. A further measure to support qualified investigation work can consist of training measures for the authorities involved.

In addition to the importance to the individual case, fatal diving accident data should be used for epidemiological studies. By learning about individual events and by educating divers accordingly, fatal diving accidents can be reduced in the future.

8. Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AED	Automatisierter externer Defibrillator
Air Trapping	pathologische Ansammlung von Atemluft in den distalen Abschnitten der Atemwege und in den Lungenalveolen, die nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen wieder ausgeatmet werden kann
ANDI	American Nitrox Divers International
AOWD	Advanced Open Water Diver, Brevetierung (siehe Anhang)
ARVC	arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie
Bailout-Gas	teilweise separate, teilweise integrierte Notfall-Gasversorgung für den Fall eines technischen Defekts des Kreislauf-Tauchgerätes (Rebreather)
Bar	Einheit für den Druck. Faustregel: 1 bar ist etwa der Luftdruck auf der Erdoberfläche oder der Druck einer Wassersäule von 10 m Höhe
Bends	Taucherjargon für muskuläre und Gelenkschmerzen bei DCS-Manifestation am Bewegungsapparat
Blaukommen, äußeres	Historischer Begriff für eine äußere Blutstauung. Aktuelle Verwendung für Blutstauung unter der Tauchermaske oder unter dem Trockentauchanzug im Rahmen des Absinkens ohne Druckausgleich. Ursprüngliche Bedeutung beim Helmtauchen: Blutfülle im Kopfbereich unter dem Taucherhelm bei Unterdruck im Tauchanzug.
Blaukommen, inneres	Historischer Begriff für eine Blutstauung der inneren Organe im Rahmen des Absinkens in Bewusstlosigkeit, beispielsweise der Lunge unter ertrinkungstypischem Stimmritzenkrampf.
Blood pooling	Umverteilung des Blutvolumens von den peripheren Venen in die zentrale Zirkulation, Zunahme des thorakalen Blutvolumens
Blood shift	Ähnlich „blood pooling“, jedoch hier gemeint als willentliche Technik beim Apnoetauchen mit dem Ziel einer deutlichen Blutumverteilung in den Thorax und Reduktion des Residualvolumens der Lunge.
BLS	Basic life support, Sicherung der lebenswichtigen Funktionen Atmung und Kreislauf im Rahmen der ersten Hilfe
Brevet	Tauchschein, Nachweis einer absolvierten Tauchausbildungseinheit
Bronze (*)	Brevetierung (siehe Anhang)
Buddy/Buddyteam	Amerikanisch: Kumpel; im Taucherjargon übliche Bezeichnung für den Tauchpartner, mit dem der Tauchgang gemeinsam vorbereitet, durchgeführt und nachbereitet wird
Buddy Check	Gemeinsamer und gegenseitiger Vollständigkeits- und Funktionstest der Ausrüstung und des Befindens vor dem Abtauchen in einem Tauchteam, (beinhaltet auch Planung und Besprechung des Tauchgangs)
Caisson-Krankheit	Historischer Begriff für die Dekompressionskrankheit („Caisson“, frz. für Senkkasten, unter der unter Überdruck gearbeitet wird, z. B. im Brücken- und Tunnelbau)

Caustic cocktail	Taucherjargon für die Mischung aus Flüssigkeit und Atemkalk aus dem Kohlenstoffdioxidabsorber eines Rebreathers/ Kreislauf-Tauchgeräts. Die Aspiration und das Verschlucken der stark alkalischen Mischung führen zu starken inneren Verätzungen und zur Bronchokonstriktion.
CCR	Closed circuit rebreather, geschlossenes Kreislauf-Tauchgerät
CFFF	Critical flicker fusion frequency, Flimmerfusionsfrequenz, Frequenz, bei der eine Folge von Lichtreizen als kontinuierliches Licht wahrgenommen wird.
CMAS (*, **, ***)	Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, Tauchorganisation, diverse Brevetierungen (siehe Anhang)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Retainer	Individuen, die bei körperlicher Arbeit unter Wasser abnorm hohe Kohlenstoffdioxidkonzentrationen aufbauen (Kap. 3.7.3)
CPVT	Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie
CT	Computertomographie
DAN	Divers Alert Network, internationale Non-Profit-Organisation zur Verbesserung der Sicherheit beim Tauchen mit Hilfsleistungen, Versicherungen, Aus- und Fortbildungsmaßnahmen und Forschungsprojekten
DCI	Decompression injury, Dekompressionsunfall
DCS	Decompression sickness, Dekompressionskrankheit
DGK	Deutsche Gesellschaft für Kardiologie
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pathologie
DGPK	Deutsche Gesellschaft für kardiologische Pädiatrie
DGRM	Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin
Diluentgas	Füllgas beim Kreislauf-Tauchgerät
DLRG	Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (e.V.)
Divemaster	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
DNA	Desoxyribonukleinsäure
Essoufflement	Ermüdung der Respiration, alveoläre Ventilationsstörung mit Hyperkapnie und ggf. Bewusstlosigkeit (Kap. 3.7.3)
etCO ₂	Endtidale Kohlenstoffdioxidkonzentration
Finimeter	Manometer (Druckmessgerät), das Tauchern den noch verbleibenden Atemgasdruck in der Tauchflasche zeigt.
Flagge Alpha	Taucherflagge, Schutz- und <u>Warnsignal</u> in Bereichen, in denen für <u>Taucher</u> im Wasser Gefahr durch Wasserfahrzeuge besteht. Blauweißer Stander, der in der Mitte senkrecht geteilt ist oder rote Flagge mit weißer diagonaler Linie
Garantenstellung	Gegenseitige Pflicht der Tauchpartner aufgrund einer Gefahrengemeinschaft, sich gegenseitig im Fall der Gefahr zu helfen (siehe auch Fallanalyse 17)
GfH	Gesellschaft für Humangenetik
Gold (***)	Brevetierung (siehe Anhang)
GTÜM	Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (e.V.)
HAPE	High altitude pulmonary edema, Höhenlungenödem
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie
HCVR	Hypercapnic ventilatory response
Heliox	Mischgas aus Helium und Sauerstoff

Hookah-Tauchen	Oberflächenversorgtes Tauchen mit schlauchgestützter Luftversorgung und modernem Gerät. Namensgebung in Anlehnung an eine hookah (orientalische Wasserpfeife mit langem flexiblem Schlauch)
IANTD	International Association of Nitrox and Technical Divers
ICD	Implantierbarer Cardioverter Defibrillator, „Defibrillator“
Immersion	Eintauchen des Körpers ohne Kopf
Inflator	Regulator der Luftmenge im Auftriebskörper
Instructor	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
Instructor Assistant	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
Instructor Trainer	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
IPE	Immersion pulmonary edema (siehe Kap. 3.8.4)
Jacket	Auftriebskörper beim Tauchen, klassisch als Tarierweste, alternativ als sogenanntes Wing-Jacket (s. u.)
KCNQ1	Genmutation des LQTS1
LQTS	Long QT-Syndrom
Lung packing	glossopharyngeale Insufflation, willentliche Überblähung der Lunge zur Steigerung der Vitalkapazität (beim Apnoetauchen)
Master Diver	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
N ₂	Molekularer Stickstoff, Stickstoffdioxid („Stickstoff“)
Nitrox	Gasgemisch mit einem höheren Sauerstoffanteil als 21%
NT-proBNP	N-terminales pro brain natriuretic peptide, Biomarker für Herzinsuffizienz
O ₂	Molekularer Sauerstoff, Dioxygen („Sauerstoff“)
Ö.b.u.v.	Öffentlich bestellter und vereidigter (Sachverständiger)
Oktopus	Taucherjargon für eine zusätzliche zweite Stufe am Hauptatemregler als Notfall-Atemsystem
ÖGTH	Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin
„OK“-Zeichen	Taucher-Handzeichen zum Signalisieren, dass alles gut ist. Daumen und Zeigefinger bilden einen Kreis, die restlichen Finger werden ausgestreckt.
out of air-Situation	In Taucherkreisen gängiger Begriff für eine Situation, in der kein Atemgas mehr zur Verfügung steht, etwa durch vollständigen Verbrauch oder technische Probleme mit der Luftzufuhr
out of gas-Situation	
OWD	Open Water Diver, Brevetierung (siehe Anhang)
paCO ₂	Arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
PADI	Professional Association of Diving Instructors, Tauchorganisation, diverse Brevetierungen (siehe Anhang)
PEBL	Psychology experiment building language battery tests
pN ₂	Stickstoffpartialdruck
pCO ₂	Kohlenstoffdioxidpartialdruck
piCO ₂	inspiratorischer Kohlenstoffdioxidpartialdruck
pO ₂	Sauerstoffpartialdruck
Rebreather	Kreislaufauchaugerät
RMD	Reversible myocardial dysfunction
Rescue Diver	Bezeichnung einer bestimmten Brevetierung, siehe Anhang
PMDA	Postmortale Dekompressionsartefakte
Rüttler	Tauchplatz im Hemmorsee, siehe Kapitel 4.1.
RYR2	Genmutation für die CPVT

SADS	Sudden arrhythmic death syndrome
SCD	Sudden cardiac death
Scrubber	CO ₂ -Absorber, Bindemittel für CO ₂ in Kreislauf-Tauchgeräten
SCUBA	Self Contained Underwater Breathing Apparatus. Begriff für das Tauchen mit Druckluft oder Mischgasen.
SD	Sudden death
SDPE	Scuba diver pulmonary edema, (siehe Kap. 3.8.4.2)
Silber (**)	Brevetierung (siehe Anhang)
SIPE	Swimming-induced pulmonary edema (siehe Kapitel 3.8.4.1)
Snuba	Schachtelwort aus snorkeling und SCUBA; eine Form des oberflächenversorgten Tauchens mit speziellem Unterwasseratmungssystem.
Specialties	Taucherjargon für Sonderbrevetierungen (siehe Anhang)
SSI	Scuba Schools International, Tauchorganisation, diverse Brevetierungen (siehe Anhang)
Submersion	Untertauchen, Eintauchen von Körper und Kopf
Taucherflöhe	Taucherjargon für Juckreiz als Hautmanifestation einer DCS
Tauchscooter	handgehaltenes Propeller-Antriebsmittel
Trimix	Gasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium
ULC	Ultrasound lung comets (siehe Kapitel 3.8.4.2)
VAS-/Venturihebel	VAS = Vane Adjustment Switch, steuert bei einigen Modellen den Luftdurchfluss durch das Mundstück des Lungenautomaten nach dem Beginn der Einatmung. MAX/+ Stellung: maximale Venturiunterstützung, einfacheres Einatmen in größerer Tauchtiefe, jedoch auch höhere Gefahr eines Abblasens. MIN/-: beim normalen Sporttauchen angemessener, geringere Gefahr des Abblasens.
Wing Jacket	Auftriebskörper auf dem Rücken seitlich der Druckgasflasche, auf einer Rückenplatte befestigt

9) Literaturverzeichnis

- [1] Klingmann C, Tetzlaff K, Muth CM (2019) Moderne Tauchmedizin, Handbuch für Tauchlehrer, Taucher und Ärzte, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Gentner Verlag, Stuttgart.
- [2] Oehmichen M, van Laak U, Püschel K, Birkholz M (1994) Der Tauchunfall. Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse, Band 6. Schmidt-Römhild, Lübeck, S.163-175.
- [3] Brubakk A, Neuman T (2003) Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving, 5th Edition. Elsevier Science Limited.
- [4] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz (Ausfertigung 2007, letzte Änderung 19.05.2020) Gesetz über den Versicherungsvertrag (Versicherungsvertragsgesetz - VVG) §178 Leistung des Versicherers. Erscheinungsort [online im Internet] URL: https://www.gesetze-im-internet.de/vvg_2008/VVG.pdf [Stand: 15.07.2020].
- [5] Caruso JL (2014) Post mortem, how to. Medical examination of diving fatalities symposium proceedings, Undersea & hyperbaric medical society. St. Louis, Missouri.
- [6] Lawrence C, Cooke C (2006) Review article, autopsy and the investigation of scuba diving fatalities. Diving and Hyperbaric Medicine 36:2-8.
- [7] Edmonds C, Caruso JL (2014) Recent modifications to the investigation of diving related deaths. Forensic Science, Medicine and Pathology 10:83-90.
- [8] Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin (2017) S1-Leitlinie, AWMF Register Nr. 054-001, Die rechtsmedizinische Leichenöffnung, Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin Stand 10/2017. Erscheinungsort [online im Internet] URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/054-001l_S1_Dierechtsmedizinische_Leichenoeffnung_2018-02.pdf [Stand: 15.07.2020].
- [9] Grassberger M, Schmid H (2014) Todesermittlung - Befundaufnahme und Spurensicherung, 2. Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- [10] Madea B, Dettmeyer R (2007), Basiswissen Rechtsmedizin, 1. Auflage. Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- [11] Internetauftritt der Tauchbasis Kreidesee, Erscheinungsort [online im Internet] URL: www.kreideseetaucher.de [Stand: 15.07.2020].
- [12] Buzzacott P, Denoble PJ, Divers Alert Network (2018) DAN annual diving report 2018 edition: a report on 2016 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham (NC), Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.diversalertnetwork.org/medical/report/AnnualDivingReport-2018Edition.pdf> [Stand: 18.10.2020].

- [13] Buzzacott P , Divers Alert Network (2017) DAN annual diving report 2017 edition: a report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham (NC), Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.diversalertnetwork.org/medical/report/AnnualDivingReport-2017Edition.pdf> [Stand: 18.10.2020].
- [14] Lehmann-Horn F, Lerche H, Mitrovic N, Jurkat-Rott K (2000) Ionenkanalerkrankungen - allgemeine Charakteristika und Pathomechanismen. Deutsches Ärzteblatt 97(26): A-1826/B-1542/C-1438.
- [15] Stierle U, Hartmann F (2014) Klinikleitfaden Kardiologie, 5. Auflage. Urban und Fischer, Elsevier, München.
- [16] Internetauftritt der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin, Erscheinungsort [online im Internet] URL: www.gtuem.org [Stand: 18.10.2020].
- [17] Bartmann H, Muth CM (2012) Notfallmanager Tauchunfall, 4. Auflage. Gentner Verlag, Stuttgart.
- [18] Internetauftritt des bundesweiten Sachverständigenverzeichnis der IHK, Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://svv.ihk.de> [Stand: 18.10.2020].
- [19] Berndt D (2007) Tauchunfallanalyse Teil I. Divemaster 54:1-4.
- [20] Berndt D (2007) Tauchunfallanalyse Teil II. Divemaster 55:1-4.
- [21] Berndt D (2008) Tauchunfallanalyse Teil III. Divemaster 56:45-50.
- [22] Berndt D (2008) Tauchunfallanalyse Teil IV. Divemaster, 57:1-6.
- [23] Gärtner P, Schoch M (2012) Handbuch PSCR-Tauchen, 1. Auflage. Wetnotes Fachbuch, Digital Sparta Media UG, Freiburg.
- [24] Battle R (2015) Sports cardiology, an issue of clinics in sports medicine, 1. Auflage (E-Book). Elsevier.
- [25] Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM (1989) Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. Lancet 14;1(8629):62-5.
- [26] Roebel A, Wenk M, Parzeller M (2008) Postmortale ärztliche Schweigepflicht. Rechtsmedizin 19:37–52. Online publiziert: 21. Januar 2009.
- [27] Kefrig U, Schmoldt H. Kreidesee Hemmoor. Verlag Heinz D. Ritter, Nürnberg. Ebook: Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.kreideseetaucher.de/formulare-downloads-hidden/e-book-kreidesee/26-kreidesee-magazine/file> [Stand: 18.10.2020].
- [28] Denoble PJ, Caruso JL, de L. Dear G, Pieper CF, Vann RD (2008) Common causes of open-circuit recreational diving fatalities. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM 35 No6 - Causes of recreational Diving Fatalities.

[29] Fritzweiler J, Pfister B, Summerer T, Fritzweiler (2014) Praxishandbuch Sportrecht, 3. Auflage, 5. Teil, 2. Kapitel, Randnr. 20 ff. OLG Düsseldorf, Urteil vom 10.02.1995, VersR 1996 S. 73 f.

[29] Schönke A, Schröder H (2014) Schönke/Schröder Strafgesetzbuch StGB (Kommentar), 29.Auflage 2014, § 13 Randnr. 24. C.H.BECK, München.

(31) LG Darmstadt, Urteil vom 29.09.1999 - 14 Js 35.155/95.

(32) LG Aachen, Urteile vom 18.02.2020 - 7 O 142/16 u. 7 O 29/18 (zum Abgabezeitpunkt noch nicht rechtskräftig).

(33) LG Aachen, Urteil vom 11.12.2018 - 72 Ns-703 Js 260/14-67/18.

(34) Kantonsgericht St. Gallen, Urteil vom 08.09.2010, GVP Nummer 96, S. 221f.

[35] Bruchmann M (2006) Tauchrecht, 1. Auflage. Müller-Rüschlikon-Verlag, Stuttgart, S. 124f.

[36] Ehm OF (2012) Tauchen noch sicherer, 11. Auflage, Kapitel 1.4. Pietsch Verlag, Stuttgart, S. 16 f.

[37] Donatsch A, Tag B (2006) Strafrecht I - Verbrechenslehre, 8. Auflage. Schulthess Juristische Medien, Zürich, S. 306.

(38) Bundesgerichtshof, Urteil vom 04.07.1984 - IVa ZB 18/83. Neue juristische Wochenschrift 2893.

[39] Gesetz über das Leichen- Bestattungs- und Friedhofswesen des Landes Schleswig-Holstein (Bestattungsgesetz-BestattG) vom 4. Februar 2005 (2005) § 5 Abs. 1. Erscheinungsort [online im Internet] URL: http://www.gesetzesrechtsprechung.sh.juris.de/jportal/portal/t/rlm/page/bsshprod.psm1/action/portlets.jw.MainAction?p1=9&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-BestattGSH2005pP5&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint [Stand: 18.10.2020].

[40] Gesetz über das Friedhofs- und Bestattungswesen (Bestattungsgesetz - BestG NRW) vom 17.06.2003 (2003) § 9 (Leichenschau, Todesbescheinigung und Unterrichtung der Behörden) Abs. 3. Erscheinungsort [online im Internet] URL: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_detail?sg=1&menu=1&bes_id=5166&anw_nr=2&aufgehoben=N&det_id=375516 [Stand: 19.10.2020].

[41] Landesnorm Hessen. Friedhofs- und Bestattungsgesetz (FBG) vom 5. Juli 2007 (2007) § 10 (Leichenschau) Abs. 11. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/bshe/document/jlr-BestattGHE2007V6P10> [Stand: 19.10.2020].

[42] Hausner H, Hajak G, Spießl H (2008) Krankenunterlagen: Wer darf Einsicht nehmen? Deutsches Ärzteblatt 105 (1-2): A 27-9.

- [43] Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) e. V., Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH), Klingmann C, Muth CM, Piepho T, Prohaska R, Tetzlaff K, Welslau W (2014) Checkliste Tauchtauglichkeit, 2., vollständig überarbeitete Auflage 2014. Gentner Verlag Stuttgart.
- [44] Berndt D (2016) Vereisung von Atemreglern. Adiabatische Abkühlung bei Atemgasen. Die neuesten Messungen. Divemaster 90:49-54.
- [45] Internetauftritt der IANTD. Erscheinungsort [online im Internet] URL: www.iantd.de [Stand: 19.10.2020].
- [46] Berndt D (2012) Dicke Luft? Atemarbeit, Atemgrenzwert, Essoufflement, Atemwege, Tauchtiefe. Divemaster 72:1-8.
- [47] Nies B (2018) Taucherausrüstung Teil 4: Vereisung von Atemreglern. Taucher Revue 171:45-53.
- [48] Herold H (2016) Innere Medizin 2016. Gerd Herold, Köln, S. 413.
- [49] DIN EN ISO 8996:2005-01(2004) Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes. Deutsche Fassung EN ISO 8996:2004.
- [50] ISO/TS 16976-1:2015 (2015) Respiratory protective devices - Human factors - Part 1: Metabolic rates and respiratory flow rates.
- [51] DIN EN 12021:2014-07 (2014) Atemgeräte - Druckgase für Atemschutzgeräte; Deutsche Fassung EN 12021:2014.
- [52] Mitchell SJ, Bennett MH, Bird N, Doolette DJ, Hobbs GW, Kay E, Moon RE, Neuman TS, Vann RD, Walker R, Wyatt HA (2012) Recommendations for rescue of a submerged unresponsive compressed-gas diver. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc UHM 39(6):1099-108.
- [53] Riera F, Horr R, Xu X, Melin B, Regnard J, Bourdon L (2014) Thermal and metabolic responses of military divers during a 6-hour static dive in cold water. Aviation space and Environmental Medicine 85(5):509-17. S. 513.
- [54] DIN EN 250:2014-07 (2014) Atemgeräte - Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 250:2014.
- [55] Vennemann B, Brinkmann B (2003) Der Tod im Wasser. Rechtsmedizin, 13: 201-215.
- [56] Byard RW (2015) Immersion deaths and drowning: issues arising in the investigation of bodies recovered from water. Forensic Science, Medicine and Pathology 11:323–325.

- [57] Böttcher F, Jüttner B, Krause A, Rocha M, Koppert W (2012) Tödlicher Tauchunfall. Oder: Unfall während des Tauchens mit Todesfolge? *Der Anästhesist*, 61:137-142.
- [58] Dunworth SA, Natoli MJ, Cooter M, Cherry AD, Peacher DF, Potter JF, Wester TE, Freiburger JJ, Moon RE (2017) Hypercapnia in diving: a review of CO₂ retention in submersed exercise at depth. *Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM* 44(3):191-209.
- [59] Morrison JB, Florio JT, Butt WS (1978) Observation after loss of consciousness under water. *Undersea Biomedical Research* 5:179-187.
- [60] Panneton WM (2013) The Mammalian Diving Response: An enigmatic reflex to preserve life? *Physiology (Bethesda)* 28(5): 284–297.
- [61] Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell SJ (2016) *Diving and subaquatic medicine*, 5th Edition 2016. CRC Press.
- [62] Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Betts J, Webb-Peploe (1981) Forearm vascular response in subjects who develop recurrent pulmonary oedema when scuba diving: a new syndrome. *British Heart Journal* 45:349.
- [63] Pons M, Blickenstorfer D, Oechslin E, Hold G, Greminger P, Franzeck UK, Russi EW (1995) Pulmonary oedema in healthy persons during scuba diving and swimming. *European Respiratory Journal* 8:762-767.
- [64] Gempp E, Louge P, Henckes A, Demaistre S, Heno P, Blatteau JE (2013) Reversible myocardial dysfunction and clinical outcome in scuba divers with immersion pulmonary edema. *American Journal of Cardiology* 111 (11):1655-1659.
- [65] Wilmshurst PT (2019) Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving and Hyperbaric Medicine* 49 No 1.
- [66] Wilmshurst PT (2004) Pulmonary edema induced by emotional stress, by sexual intercourse and by exertion in a cold environment in people without evidence of heart disease. *Heart* 90:806-7.
- [67] NG A, Edmonds C (2015) Immersion pulmonary edema and Takotsubo cardiomyopathy. *Diving Hyperbaric Medicine* 45:255-7.
- [68] Spencer S, Dickinson J, Forbes L (2018) Occurrence, risk factors, prognosis and prevention of swimming-induced pulmonary oedema: a systematic review. *Sports Medicine – Open* 4(1):43.
- [69] Miller CC, Calder Becker K, Modave F (2010) Swimming-induced pulmonary edema in triathletes. *American Journal of Emergency Medicine* 28:941-6.
- [70] Edmonds C (2016) Response to Dr. Davis letter: immersion pulmonary edema - facts and fancies. *Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM* 45(4): 209-10.

[71] Tester DJ, Medeiros-Domingo A, Will ML, Ackerman MJ (2011) Unexplained drownings and the cardiac channelopathies: a molecular autopsy series. Mayo Clinic Proceedings 86(10):941-7.

[72] Ziakos AP, Greiß H, Deubner N (2019) Ionenkanalerkrankungen. Der Kardiologe 13:371-390.

[73] Adir Y, Shupak A, Gil A, Peled N, Keynan Y, Domachevsky L, Weiler-Ravell D (2004) Swimming-induced pulmonary edema: clinical presentation and serial lung function. Chest. 126(2):394-9.

[74] Boussouges A, Ayme K, Chaumet G, Albier E, Borgnetta M, Gavarry O (2017) Observational study of potential risk factors of immersion pulmonary edema in healthy divers: exercise intensity is the main contributor. Sports Medicine – Open 3: 35.

[75] Davis FM (2016) Letter: Immersion pulmonary edema - facts and fancies. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM 43:744.

[76] Zechner PM, Seibel A, Aichinger G, Steigerwald M, Dorr K, Scheiermann P, Schellhaas S, Cuca C, Breitzkreutz R, Arbeitsgruppe des Moduls 5 in Anästhesie Fokussierte Sonographie der DGAI (2012) Lungensonographie in der Akut- und Intensivmedizin. Der Anaesthesist 61(7):608-17.

[77] Deutsche Internetpräsenz von PADI (Professional Association of Diving Instructors), Kurskatalog. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.padi.com/de/kurse> [Stand: 19.10.2020].

[78] Internetpräsenz des VDST (Verband Deutscher Sporttaucher) - Tauchkurse und Ausbildungssystem. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.vdst.de/erleben/tauchen-lernen/tauchkurse/> [Stand: 19.10.2020].

[79] Deutsche Internetpräsenz von SSI (Scuba Schools International) Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.divessi.com/info/de-IC/scuba-diving/start-scuba-diving.html/> und <https://www.divessi.com/info/de-IC/scuba-diving/scuba-dive-professional.html/> [Stand: 19.10.2020].

[80] Internetpräsenz des VDTL (Verband deutscher Tauchlehrer) Ausbildung und Kurse. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://vdtl.de> [Stand: 19.10.2020].

[81] Online browsing platform (OBP) der ISO (International Organisation for Standardization) ISO 24801-1:2014(en). Recreational diving services - Requirements for the training of recreational scuba divers - Part 1: Level 1 - Supervised diver. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24801:-1:ed-2:v1:en> [Stand: 19.10.2020].

[82] Online browsing platform (OBP) der ISO (International Organisation for Standardization) ISO 24801-2:2014(en). Recreational diving services - Requirements for the training of recreational scuba divers - Part 2: Level 2 - Autonomous diver. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24801:-2:ed-2:v1:en> [Stand: 19.10.2020].

- [83] Online browsing platform (OBP) der ISO (International Organisation for Standardization) ISO 24801-3:2014(en), Recreational diving services - Requirements for the training of recreational scuba divers - Part 3: Level 3 - Dive leader. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24801:-3:ed-2:v1:en> [Stand: 19.10.2020].
- [84] Online browsing platform (OBP) der ISO (International Organisation for Standardization) ISO 24802-1:2014(en). Recreational diving services - Requirements for the training of scuba instructors - Part 1: Level 1. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24802:-1:ed-2:v1:en> [Stand: 19.10.2020].
- [85] Online browsing platform (OBP) der ISO (International Organisation for Standardization) ISO 24802-2:2014(en). Recreational diving services - Requirements for the training of scuba instructors - Part 2: Level 2. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24802:-2:ed-2:v1:en> [Stand: 19.10.2020].
- [86] Internetpräsenz der European Diving Association: Ausbildung/Äquivalenzliste. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <http://www.european-diving-association.com/ausbildung/aequivalenzliste/index.html> [Stand: 19.10.2020].
- [87] Internetpräsenz der Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques (CMAS). Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.cmas.org/en> [Stand: 19.10.2020].
- [88] Frassi F, Pingitore A, Cialoni D, Picano E (2008) Chest sonography detects lung water accumulation in healthy elite apnea divers. *Journal of the American Society of Echocardiography* 21(10):1150-5.
- [89] Sadler C (2016) The evolution of scuba divers pulmonary edema: an editorial perspective. *Undersea and Hyperbaric Medical Society Inc, UHM* 43(2):79-81.
- [90] Coulange M, Rossi P, Gargne O, Gole Y, Bessereau J, Regnard J, Jammes Y, Barthélémy A, Auffray JP, Boussuges A (2010) Pulmonary oedema in healthy SCUBA divers: new physiopathological pathways. *Clinical physiology and functional imaging* 30(3):181-6.
- [91] Moon RE, Martina SD, Peacher DF, Potter JF, Wester TE, Cherry AD, Natoli MJ, Otteni CE, Kernagis DN, White WD, Freiburger JJ (2016) Swimming-induced pulmonary edema: pathophysiology and risk reduction with sildenafil. *Circulation* 8;133(10):988-96.
- [92] Laufs U, Anker SD, Falk V, Pieske B, Baldus S, Perings CA, Birner C (2017) Kommentar zu den Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) zur Diagnostik und Behandlung der akuten und chronischen Herzinsuffizienz . *Der Kardiologe* Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://leitlinien.dgk.org/2017/kommentar-zu-den-leitlinien-der-europaeischen-gesellschaft-fuer-kardiologie-esc-zur-diagnostik-und-behandlung-der-akuten-und-chronischen-herzinsuffizienz/> [Stand: 19.10.2020].

- [93] Duque ER, Briasoulis A, Alvarez P (2019) Heart failure with preserved ejection fraction in the elderly: pathophysiology, diagnostic and therapeutic approach. *Journal of Geriatric Cardiology* 16(5):421-428.
- [94] Edmonds C (2016) The evolution of scuba divers pulmonary edema. *Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM* 43(2):83-91.
- [95] Hampson NB, Dunford RG (1997) Pulmonary Edema of Scuba Divers. *Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM* 24(1):29-33.
- [96] Weiler-Ravell D, Shupak A, Goldenberg I, Halpern P, Shoshani O, Hirschhorn G, Margulis A (1995) Pulmonary oedema and haemoptysis induced by strenuous swimming. *BMJ* 5;311(7001):361-2.
- [97] van Laak U (2016) Gesundheitsrisiken beim Apnoetauchen. Aus der Abteilung I - Maritime Medizin des Schifffahrtmedizinischen Instituts der Marine. *WMM (Wehrmedizin und Wehrpharmazie)*, 60. Jahrgang, 2:72-76.
- [98] Edmonds C, Lippmann J, Lockley S, Wolfers D (2012) Scuba divers' pulmonary oedema: Recurrences and fatalities. *Diving and Hyperbaric Medicine* 42(1):40-4.
- [99] Peacher DF, Martina SD, Otteni CE, Wester TE, Potter JF, Moon RE (2015) Immersion pulmonary edema and comorbidities: case series and updated review. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 47(6):1128-34.
- [100] Kammal AL, Püschel K, Tsokos M (2015) Tako-Tsubo-Kardiomyopathie. Pathomorphologische und rechtsmedizinische Aspekte eines seltenen Krankheitsbilds. *Rechtsmedizin* 25:474-480.
- [101] Cochard G, Arvieux J, Lacour JM, Madouas G, Mongredien H, Arvieux CC (2005) Pulmonary edema in scuba divers: recurrence and fatal outcome. *Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM* 32(1):39-44.
- [102] Hull JH, Wilson MG (2018) The breathless swimmer: Could this be swimming-induced pulmonary edema? *Sports Medicine – Open* 19;4(1):51.
- [103] Hohmann E, Glatt V, Tetsworth K (201) Swimming induced pulmonary oedema in athletes - a systematic review and best evidence synthesis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 1;10:18.
- [104] Bove AA (2015) Cardiovascular concerns in water sports. *Clinics in Sports Medicine* 34(3):449-60.
- [105] Balestra C, Lafère P, Germonpré (2012) Persistence of critical flicker fusion frequency impairment after a 33 MFW SCUBA dive: evidence of prolonged nitrogen narcosis? *European Journal of Applied Physiology* 112(12):4063-8.

- [106] Balestra C, Machado ML, Theunisen S, Balestra A, Cialoni D, Clot C, Besnard S, Kammacher L, Delzenne J, Germonpré P, Lafère P (2018) Critical flicker fusion frequency: a marker of cerebral arousal during modified gravitational conditions related to parabolic flights. *Frontiers in Physiology* 9: 1403.
- [107] Hemelryck W, Rozloznik M, Germonpré P, Balestra C, Lafère P (2013) Functional comparison between critical flicker fusion frequency and simple cognitive tests in subjects breathing air or oxygen in normobaria. *Diving Hyperbaric Medicine* 43(3):138-42.
- [108] Clark JE (2015) Moving in extreme environments: inert gas narcosis and underwater activities. *Extreme Physiology & Medicine* 4:1.
- [109] Koca E, Bulent S, Nadir A, Akin T (2019) Evaluation of fatal diving accidents in Turkey, Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. *UHM* 45(6):633-638.
- [110] Casadesús JM, Aguirre F, Carrera A, Boadas-Vaello P, Serrando MT, Reina F (2019) Diving-related fatalities: multidisciplinary, experience-based investigation. *Forensic Science, Medicine and Pathology* 15(2):224-232.
- [111] Caruso J (2010) The forensic investigation of recreational scuba diving fatalities. VANN, R, Lang A, DAN, Recreational Diving Fatalities Workshop Proceedings 8-10 April 2010, Durham NC, 34-41.
- [112] Caruso J (2010) Appendix F: Autopsy protocol for recreational scuba diving fatalities. VANN, R, Lang A, DAN, Recreational Diving Fatalities Workshop Proceedings 8-10 April 2010, Durham NC, 277-279.
- [113] Industrie- und Handelskammer Karlsruhe Sachverständigenordnung Vorschriften über die öffentliche Bestellung und Vereidigung von Sachverständigen. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.karlsruhe.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/2459494/453ea649fea2d8a1539f1226b1074239/sach-verstaendigenordnung-der-ihk-karlsruhe-data.pdf> [Stand: 19.10.2020].
- [114] Berndt D (2013) Prüfen - Messen - Analysieren, Tauchausrüstung auf dem Prüfstand. *Divemaster* 79:51-52.
- [115] Berndt D (2014) Prüfen - Messen - Analysieren, Kältebelastung von Atemreglern. *Divemaster* 80:49-52.
- [116] Pacher A (2010) Tauchunfälle in alpinen Gewässern - oder was wir daraus lernen könnten/sollten. *Caisson* 4:12-15.
- [117] Dumser T, Brieschal T (1996) Tödlicher Tauchunfall durch „Essoufflement“. *Rechtsmedizin* 6:125-128.
- [118] Clarke J (2014) What medical examiners need to know about rebreathers. medical examination of diving fatalities symposium proceedings, Undersea & Hyperbaric Medical Society, St. Louis, Missouri, S. 42-55.

- [119] Linér MH, Ferrigno M, Lundgren CE (1993) Alveolar gas exchange during simulated breath-hold diving to 20m. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc. UHM 20: 27-38.
- [120] Linér MH, Anderson JPA (2010) Suspected arterial gas embolism after glossopharyngeal insufflation in a breath-hold diver. Aviation, Space and Environmental Medicine 81:74-6.
- [121] Novalija J, Lindholm P, Fox JA, Ferrigno M. (2006) Cardiovascular aspects of glossopharyngeal inhalation and exhalation in breath-hold divers. Experimental Biology, FASEB Journal 20: A1249.
- [122] Pschyrembel Online. Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.pschyrembel.de/Air%20Trapping/K01UP/doc/> [Stand: 19.10.2020].
- [123] DIN EN 12021:2014-07 ISO 2533:1975 - Zusammensetzung der trockenen sauberen Luft in Nähe des Meeresniveaus.
- [124] Francis TJR, Smith DJ eds. (1991) Describing decompression illness. 42nd Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society. Bethesda: UHMS, 7(DECO)5/15/91.
- [125] Chung S, Seccombe LM, Jenkins CR, Frater CJ, Ridley LJ, Peters MJ (2010) Glossopharyngeal insufflation causes lung injury in trained breath-hold divers. Respirology 15(5):813-7
- [126] Schulze-Bahr E, Dettmeyer RB, Klingel K et al. (2021) Postmortale molekulargenetische Untersuchungen (molekulare Autopsie) bei kardiovaskulären und bei ungeklärten Todesfällen. Kardiologie 15:176–193
- [127] Reh H (1969) Diagnostik des Ertrinkungstodes und Bestimmung der Wasserzeit. Michael Triltsch Verlag Düsseldorf, S. 127-130.
- [128] Püschel K, Schneider A (1985) Die Waschhautentwicklung in Süß- und Salzwasser bei unterschiedlichen Wassertemperaturen. Z Rechtsmed 95:1-18.
- [129] Divers Alert Network (2020) DAN annual diving report 2019 edition: a report on 2017 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham (NC), Erscheinungsort [online im Internet] URL: <https://www.diversalertnetwork.org/medical/report/AnnualDivingReport-2019Edition.pdf> [Stand: 20.03.2021].

10. Anhang

10.1 Äquivalenztabelle der Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen

Tauchkurse für Sporttaucher werden von unterschiedlichen Tauchorganisationen angeboten. Heute sind die meisten dieser Tauchorganisationen nach europäischen Normen (EN) und internationalen Normen (ISO) zertifiziert. Viele Tauchorganisationen erkennen ihre Ausbildungsstufen gegenseitig an. Die in Deutschland bekanntesten Tauchorganisationen, die Regularien für Tauchkurse vorgeben und Taucher brevetieren, sind für den Bereich des Sporttauchens: **CMAS** (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques), **PADI** (Professional Association of Diving Instructors), **SSI** (Scuba Schools International), **VDST** (Verband Deutscher Sporttaucher) und **VDTL** (Verband deutscher Tauchlehrer).

Zu unterscheiden sind im Vereinssystem aufgebaute Organisationen (Vereine und Verbände) und kommerzielle Ausbildungsorganisationen. Weltweit werden die meisten Taucher kommerziell nach PADI und SSI ausgebildet, wobei PADI die weltweit größte Mitglieder-Organisation des Sporttauchens ist. In Deutschland bildet die Mehrzahl der nicht-kommerziellen Tauchvereine nach den CMAS-Richtlinien aus. Eine große nicht-kommerzielle Ausbildungsorganisation, die nach CMAS-Richtlinien ausbildet, ist der VDST. Der VDST zertifiziert Sporttaucher in Form eines Deutschen Tauchsportabzeichens (DTSA). Da für Laien auf dem Gebiet des Tauchens die Nomenklatur der verschiedenen Ausbildungsniveaus undurchsichtig ist, wurde für diese Dissertation eine Äquivalenztabelle erstellt. Abgebildet werden die Ausbildungssysteme, welche im Rahmen der Falldarstellungen Erwähnung finden. Die Tabelle umfasst sowohl den Bereich des Freizeittauchens, als auch den professionellen Bereich vom Tauchgruppenführer bis hin zum Instructor Trainer. Ein Tauchlehrerassistent assistiert einem Tauchlehrer bei der Ausbildung im Freigewässer und darf je nach Tauchorganisation auch Tauchschüler in Theorie oder im Pool unterrichten. Ein Tauchlehrer (Instructor) bildet die Tauchschüler in Theorie und Praxis aus und führt Prüfungen und Brevetierungen durch. Instructor Trainer, bzw. Tauchlehrer *******/******** führen die Ausbildungen zum Tauchlehrer durch und haben die höchste professionelle Stufe im Bereich des Sporttauchens erreicht. [77-87]

Europäische/ internationale Norm	PADI	CMAS/VDST	SSI	VDTL
Taucher unter Aufsicht	Brevetierung berechtigt zum Tauchen in Begleitung eines Tauchführers oder Tauchlehrers im offenen Wasser. Die meisten Tauchorganisationen empfehlen, eine Tauchtiefe von 10-12 m nicht zu überschreiten.			
„Supervised diver“	Scuba Diver	Basic Diver	Scuba Diver	Basic Diver
EN 14153-1 ISO 24801-1				

Tab. 51: Äquivalenztabelle für Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen Teil 1 [77-87].

Europäische/ internationale Norm	PADI	CMAS/VDST	SSI	VDTL
Selbstständiger Taucher „Autonomous Diver“ EN 14153-2 ISO 24801-2	Brevetierung berechtigt zum selbstständigen Tauchen mit einem Tauchpartner im offenen Wasser. Die meisten Tauchorganisationen empfehlen für den OWD, eine Tauchtiefe von 18 oder 20 m nicht zu überschreiten. Die Module haben jeweils einen verschiedenen Fokus. OWD: Taucher, Tauchausrüstung. AOWD: Tauchumgebung. Rescue Diver: Sicherheitsaspekte, Notfallmanagement, Herz-Lungen-Wiederbelebung. Master Scuba Diver: brevetiert große Taucherfahrung, höchstes erreichbares Brevet als Sporttaucher. Specialties: z. B. Nachttauchen, Navigation, Tieftauchen, Bergseetauchen, Unterwasserfotografie, Strömungstauchen, Enriched Air (Nitrox)			
	Open Water Diver	CMAS/DTSA*	Open Water Diver	Bronze*/OWD
	<i>Specialties</i>		Advanced Adventurer	Bronze*/AOWD
	Adventure Diver		<i>Specialties</i>	
	<i>Specialties</i>		Advanced Open Water Diver	
	Advanced Open Water Diver			
	<i>Specialties</i>	<i>Specialties</i>	<i>Specialties</i>	<i>Spezialkurse</i>
	Rescue Diver	CMAS/DTSA **	Stress + Rescue Diver	Spezialkurs Wasserrettung
Master Scuba Diver	Master Diver		Silber**	

Tab. 52: Äquivalenztabelle für Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen Teil 2 [77-87].

Europäische/ internationale Norm	PADI	CMAS/VDST	SSI	VDTL
Tauchführer-Level: „Dive Leader“ EN 14153-3 ISO 24801-3	Erste Stufe der Profi-Taucher. Das Brevet berechtigt zum selbstständigen Führen einer Gruppe von ausgebildeten Tauchern im offenen Wasser. Die meisten Tauchorganisationen empfehlen einem Dive Leader, eine Tauchtiefe von 30 oder 40 m nicht zu überschreiten.			
	Dive Master	CMAS/DTSA ***	Dive Guide	Gold***
		CMAS/DTSA ****	Dive Master	

Tab. 53: Äquivalenztabelle für Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen Teil 3 [77-87].

Europäische/ internationale Norm	PADI	CMAS/VDST	SSI	VDTL
Tauchlehrer- assistent „Assistant Instructor“ EN 14413-1 ISO 24802-1	Assistiert Tauchlehrer			
	Assistant Instructor (AI)	VDST Assistenz- tauchlehrer	Dive Control Specialist	TL Assistent
Tauchlehrer „Instructor“ EN14413-2 ISO 24802-2	Bildet aus: bis OWD bzw. Äquivalent			
	OWSI: Open Water Scuba Instructor	VDST Tauchlehrer *	Open Water Instructor	TL *
	Bildet aus: Specialties			
	Specialty Instructor		Specialty Instructor	
	Bildet aus: AOWD/Rescue Diver/Master Diver bzw. Äquivalent			
	Master Scuba Diver Trainer	VDST Tauchlehrer **	Advanced Open Water Instructor	TL **
	Master Instructor		Master Instructor	
	Bildet aus: Tauchlehrer-Assistenten			
	IDC Staff Instructor		Dive Control Specialist Instructor	
	Bildet aus: Tauchlehrer			
	Course Director/ Instructor Trainer	VDST Tauchlehrer *** VDST Tauchlehrer ****	Instructor Trainer + Instructor Certifier	TL***
	Weitere:			
	Specialty Course Instructor Trainer (PADI)			
	EFR (emergency first response) Instructor Trainer (PADI)			

Tab. 54: Äquivalenztabelle für Ausbildungsstufen gängiger Tauchorganisationen Teil 4 [77-87].

Weitere, seltenere in den Fallberichten in Bezug auf das technische Tauchen erwähnte Tauchorganisationen sind: **ANDI** (American Nitrox Divers International) und **IANTD** International Association of Nitrox and Technical Divers.

10.2. Tabellarische Gesamtübersicht des standardisierten Verfahrens zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle

Allgemeine Anamnese	Polizeilicher Ermittler
Allgemeine Daten des Verunfallten <ul style="list-style-type: none"> ○ Geburtsdatum/Ort ○ Adresse ○ Familienstand ○ Erreichbarkeit der Angehörigen 	
Medizinische Vorgeschichte: <ul style="list-style-type: none"> ○ Familienanamnese, Fokus: Herz-Kreislauf-, Stoffwechsel-, Ionenkanalerkrankungen ○ Komplikationen im Kindesalter ○ Stattgehabte Krankenhausbehandlungen, Operationen, Unfälle ○ Beschwerden/Erkrankungen von: Kopf, Gehirn, Nervensystem, Psyche, Augen, Nase, Nasennebenhöhlen, Ohren, Zähnen, Atmungsorganen, Herz-/Kreislaufsystem, Verdauungsorganen, Nieren, Harnwegen, Geschlechtsorganen, Knochen, Gelenken, Muskulatur, Haut, Stoffwechsel, ggf. Malignome ○ Aktuelle/stattgehabte fieberhafte Erkrankungen/Infektionen ○ Letzte ärztliche Behandlung, Art der medizinischen Vorstellung ○ Stattgehabte Synkopen ○ Allergien ○ Mögliche Schwangerschaft 	
Substanzanamnese, akut und chronisch <ul style="list-style-type: none"> ○ Alkohol ○ Nikotin ○ Drogen ○ Medikamente 	
Angaben zur Tauchtauglichkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Ärztliches Zertifikat ○ Datum und Gültigkeit des letzten Zertifikates ○ Tauchtauglichkeit zertifiziert durch welche Person/Gesellschaft ○ Tauchmedizinische Einschränkungen (Kinder, Jugendliche, Senioren, Tauchen mit Handicap) 	
Tauchausbildung/Taucherfahrung <ul style="list-style-type: none"> ○ Brevetierung ○ Specialties ○ Gesamtzahl Tauchgänge ○ Letzter Tauchgang ○ Ausbildung im technischen Tauchen ○ Frühere Komplikationen/Tauchunfälle 	
Spezielle Fragen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Leistungsknick ○ Auffällige Lebensumstände ○ Stress ○ Suizidalität ○ Besondere Charaktereigenschaften 	

Tauchgangsspezifische Befragung (1)	Polizeilicher Ermittler
<p>Angaben zu den Verhältnissen vor Ort</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Wetterbedingungen ○ Wassertemperatur ○ Sicht unter Wasser 	
<p>Befinden des Verunfallten und der Tauchpartner vor dem Tauchgang mit besonderem Augenmerk auf folgende Faktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Übermüdung ○ Körperliche Anstrengung ○ Stress ○ Psychische Auffälligkeiten ○ Genuss toxischer Substanzen? (Alkohol, Drogen, Medikamente) ○ Tauchprofile der letzten 36 Stunden 	
<p>Ablauf des Tauchgangs am Ereignistag (Befragung der Tauchpartner, möglichst genaue Rekonstruktion der Tauchprofile des Verunfallten und der Tauchpartner)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Zentral: Beginn der Probleme, Besonderheiten während des Abtauchens, auf dem Grund, während des Aufstiegs, über Wasser, Vorliegen eines schnellen Aufstiegs ○ Art und Ziel des Tauchgangs/Tauchplan ○ Abweichung vom Tauchplan ○ Verwendete Ausrüstung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leihrüstung/eigene Ausrüstung? ▪ Auflistung der Ausrüstungsteile (siehe Tabelle 29 „Checkliste Tauchrüstung“) ▪ Angaben zum Buddy Check und Funktionstests vor dem Tauchgang ▪ Ort der Flaschenfüllung ▪ Menge/Art des Atemgases ○ Angaben zur Tauchgruppe <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solotauchgang? ▪ Anzahl Personen der Tauchgruppe ▪ Ausbildungsstand/Erfahrung der Gruppenmitglieder ▪ Als Buddy Team/Tauchgruppe eingespielt? ▪ ggf. Verhältnis Ausbilder/Schüler ○ Tauchplatz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tauchplatz neu/bekannt ▪ Allgemein bekannte Gefahren des Tauchplatzes <ul style="list-style-type: none"> • Tiefe/Strömung/Sicht ▪ Transport zum Tauchplatz <ul style="list-style-type: none"> • Boot/Auto/zu Fuß ▪ Notfallequipment vor Ort ○ Einstieg ins Wasser <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probleme, besondere Gefahren ○ Abtauchen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Probleme ▪ Druckausgleich ○ Verlauf des Tauchgangs <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maximale Tiefe, Sicht, Strömung ▪ Tauchtiefe bei Ereignis 	

Tauchgangsspezifische Befragung (2)	Polizeilicher Ermittler
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bei Ereignis unter Wasser: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Genaue Abfolge von Ereignissen ▪ Entfernung der Tauchpartner zum Geschehen ▪ Ergriffene Maßnahmen ▪ Bei Verlust des Verunfallten: Ort und Zeit der letzten Sichtung ▪ Spezielle Nachfrage nach Notaufstiegen, Panikreaktionen, Desorientierung und inadäquatem Verhalten, Abblasen von Luft aus dem Lungenautomaten oder „out of air“-Situationen, Position von Lungenautomat und Maske ○ Aufstieg <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufstiegsgeschwindigkeit, Sicherheitsstopps, Flaschendruck ▪ ggf. unkontrollierter Aufstieg/ Notaufstieg ○ Verlauf an der Wasseroberfläche ○ Dauer des Tauchgangs ○ Ausstieg <ul style="list-style-type: none"> ▪ Boot/ Land/Plattform/Komplikationen/Hindernisse ○ Bei zeitversetztem Ereignis an Land: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verhalten/Zeitfenster bis zum Problem 	

Befragung/Angaben bzgl. Bergung	Polizeilicher Ermittler
<p>Bergung des Tauchers (Befragung der Bergenden/des Bergungsteams)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Zeit bis zum Auffinden ○ Zeit bis zur Bergung ○ Fundort ○ Position bei Auffinden ○ Anwesenheit/Abwesenheit der Bleigewichte ○ Position von Lungenautomat/Oktopus ○ Art der Bergung? (Beteiligte/Durchführung) ○ Fehlende Ausrüstungsteile ○ Position der Flaschenventil(e) unter Wasser ○ Veränderungen am Verunfallten/der Ausrüstung bei Bergung 	
<p>Geborgener Taucher (Anamnese aller Ersthelfer)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Art der Erste Hilfe-Maßnahmen vor Ort ○ Zeitpunkt der Alarmierung des Rettungsdienstes ○ Maßnahmen des Rettungsdienstes ○ Rekompensation/hyperbare Sauerstofftherapie in einer Druckkammer ○ Veränderungen an der Ausrüstung bei Wiederbelebungsversuch 	

Checkliste Tauchausrüstung (1)	Polizeilicher Ermittler
<p>Bei allen: Hersteller und Typ notieren!</p>	
<p>Grundausrüstung</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Flossen ○ Tauchermaske ○ (Schnorchel) 	

Checkliste Tauchausrüstung (2)	Polizeilicher Ermittler
Auftriebskörper	<ul style="list-style-type: none"> ○ Jacket (Tariierweste), Wing-Jacket
Atemregler und Zubehör, Hauptatemregler, ggf. Zweitatemregler	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1. Stufe ○ 2. Stufe ○ Finimeter ○ Oktopus
Tauchflaschen	<ul style="list-style-type: none"> ○ Einzel-/Doppelflaschen ○ Mono-/Doppelventil ○ Eingestanzte Nummer notieren ○ Datum der letzten/nächsten wiederkehrenden Prüfung ○ Technisches Tauchen: mehrere Flaschen mit unterschiedlichen Gasmischungen, Anzuggas ○ Ort der letzten Flaschenfüllung
Besonderheit: Kreislaufgeräte (Rebreather)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flaschen, Auftriebskörper und Atemregler integriert ○ Separates Bailout-System
Tauchanzug	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nass-/Halbtrockentauchanzug ○ Trockentauchanzug: Neopren/Trilaminat ○ Ggf. Unterzieher ○ Handschuhe ○ Kopfhaube ○ Dicke in Millimetern
Gewichtssystem	<ul style="list-style-type: none"> ○ Taschen, Gürtel, Hosenträgersystem, Side Mount-Blase, Blei ○ Dokumentation des Gesamtgewichtes
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zeit- und Tiefenmesser ○ Tauchcomputer ○ Lampen ○ Schwimm- und Auftriebskörper ○ Sicherungsleinen, Führungsleinen, Buddyleinen

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort (1)	Polizeilicher Ermittler
Gewinnung eines ersten Überblickes	
Fotografische Übersichts- und Detailaufnahmen, schriftliche Dokumentation von:	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fundort ○ Zustand der Leiche ○ Ausrüstung ○ Ggf. erfolgte ärztliche invasive Maßnahmen

Kriminalistische Befundaufnahme an der Leiche vor Ort (2)	Polizeilicher Ermittler
<p>Leichenschau, Fokus auf folgende Punkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Zustand der Leiche <ul style="list-style-type: none"> ▪ Z. B. Totenflecke, Fäulniszeichen, Mumifizierung, Verletzungen, Blutanhaftungen, Waschhaut ○ Zustand des Kopfes <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeichen für Barotraumata in Augen, Ohren, Nasennebenhöhlen und im Gebiet der Maske, Sekretaustritt ▪ Zeichen für einen Ertrinkungstod, Schaumpilz aus Mund/Nase ▪ Zeichen eines Krampfanfalls, Bissspuren an Lippen/Zunge ○ Zustand des Halses/Oberkörpers <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hinweise auf ein Emphysem: Schwellung, Krepitation ○ Bekleidung sowie deren Zustand <ul style="list-style-type: none"> ▪ bei Trockentauchanzügen: Feuchtigkeit/Innenseite ○ Zeichen für Traumata/Fremdeinwirkung 	
<p>Vorsichtige Entfernung aller Ausrüstungsteile von der Leiche, dabei geringstmögliche Manipulation</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ausnahme: Zudrehen der Flaschenventile nach Notieren des Restdrucks und mit Dokumentation der erforderlichen Umdrehungen ○ Ausnahme: vorsichtiges Zerschneiden des Tauchanzugs zur Entfernung unter Erhaltung von Zerreißen und anderer Auffälligkeiten ○ Niemals: Sichergestellte Druckgasflaschen drucklos machen! 	
<p>Überprüfung der Ausrüstung, Fokus auf folgende Punkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vollständigkeit, fehlende Ausrüstungsteile ○ Stattgehabte Manipulationen bei Rettung/Bergung/Wiederbelebung ○ Äußerlich sichtbare Veränderungen/Verunreinigungen ○ Zustand der Tarierhilfe 	

Weiteres Vorgehen	Polizeilicher Ermittler/Staatsanwaltschaft
<p>Sicherstellung ausnahmslos der gesamten Tauchausrüstung, des Taucherlogbuchs und des Tauchcomputers des Verunfallten, sowie der Taucherlogbücher und Tauchcomputer der Tauchpartner; Übersendung an einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen</p>	
<p>Sicherstellung weiterer persönlicher Gegenstände</p>	
<p>Zeitnahe Überführung zur Obduktion</p>	
<p>Zusammenfassender Bericht, Weiterleitung an den öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen und an die Rechtsmedizin und an die Tauchmedizin</p>	

Analyse der Ausrüstung (1)	ö.b.u.v. Sachverständiger
<p>Optische Inspektion</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Allgemeiner Zustand/Wartungszustand/Prüfsiegel/CE-Zeichen ○ Erfassung von Marken, Typen, Komponenten, Baugruppen ○ Konfiguration, Montageart, Ventilstellungen ○ Beschädigungen und Verschmutzungen ○ Dokumentation in Schrift und Bild 	

Analyse der Ausrüstung (2)	ö.b.u.v. Sachverständiger
Funktions- und Dichtigkeitstests von Auftriebsmitteln <ul style="list-style-type: none"> ○ Dichtigkeit ○ Funktion von Einlass- und Ablassventilen ○ Befüllungs- und Entleerzeit 	
Funktions- und Dichtigkeitstests von Trockentauchanzügen <ul style="list-style-type: none"> ○ Dichtigkeit ○ Inflatorfunktion ○ Funktion des Überdruckventils in der vorgefundenen Einstellung 	
Funktions- und Leistungsfähigkeitstestung von Atemreglern <ul style="list-style-type: none"> ○ 1. Manueller Test auf Dichtigkeit und Fremdkörper ○ 2. Grobe Funktionskontrolle durch Atmung ○ 3. Prüfbank unter Normaldruckbedingungen ○ 4. Prüfbank unter hyperbaren Bedingungen ○ 5. Simulation der realen Verhältnisse unter Wasser und Einstellung der Umgebungstemperatur und des Tauchprofils ○ 6. Demontage, Suche nach Fremdkörpern, Korrosion, Defekten 	
Inspektion der Tauchflaschen <ul style="list-style-type: none"> ○ Optische Inspektion /Endoskopie ○ Suche nach Fremdstoffen, Ablagerungen und Korrosionsprodukten 	
Analyse von Kreislaufgeräten (Rebreathern) - Besonderheiten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Absorptionsfähigkeit des Atemkalks ○ Korrekte Sauerstoffzufuhr ○ Volumenstrom an Düsen ○ Kompatibilität von Gasgemischen und Düsen ○ Kontrolle der Elektronik ○ Vorhandensein und Qualität des Bailout-Systems 	
Zustand und Funktionalität weiterer Ausrüstungsteile <ul style="list-style-type: none"> ○ Flossen, Schnorchel, Maske ○ Finimeter ○ Zeit-/Tiefenmesser, Tauchcomputer ○ Hilfsmittel wie Lampen, Bojen, Leinen 	
Beurteilung des Gewichtssystems <ul style="list-style-type: none"> ○ Gesamtmasse ○ Anbringung/Verteilung 	
Berechnung der tiefenabhängigen Auf- und Abtriebsverhältnisse	
Beurteilung des Kälteschutzes	
Beurteilung der Eignung der Ausrüstung für den entsprechenden Tauchgang und den Ausbildungsstand des Verunfallten	

Untersuchung der Atemgase	ö.b.u.v. Sachverständiger
Tatsächliches Atemgas = Erwartetes Atemgas? (Luft, Nitrox, Trimix etc.)	
Art des Atemgases <ul style="list-style-type: none"> ○ Pressluft, Nitrox-/Trimix-Gemische u.a. 	
Qualitative und Quantitative Bestimmung der Atemgas-Zusammensetzung <ul style="list-style-type: none"> ○ Sauerstoff, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid ○ Öldunst u.a. Schadstoffe, Gerüche ○ Wasser, Wasserdampf 	

Untersuchung des Tauchcomputerprofils	ö.b.u.v. Sachverständiger
Analyse des gesamten Tauchprofils des Verunfallten, Fokus auf: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Tiefe(n) ○ Beginn, Dauer, Ende des Tauchgangs ○ Auf- und Abstiegskurven, insbesondere: <ul style="list-style-type: none"> ○ Stattgehabte schnelle Aufstiege ○ Stattgehabte und ausgelassene Dekompressionsstopps ○ Ausgelöste Alarmer ○ Wassertemperatur 	
Bei Gasintegration: <ul style="list-style-type: none"> ○ Flaschenvolumen ○ Partialdrücke der Atemgase ○ Atemgasverbrauch ○ Ggf.: Atemgaswechsel 	
Vorherige Tauchprofile, Fokus auf: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Tiefe(n) ○ Dekompressionsstopps ○ Dekompressionspausen ○ Schnelle Aufstiege ○ Wiederholungstauchgänge ○ Oberflächenpausen 	
Analyse der Tauchprofile von Tauchpartnern, sowie Rettern/Bergenden <ul style="list-style-type: none"> ○ gemäß Auswertung des Profils des Verunfallten 	
Profil(e) deckungsgleich mit Zeugenaussagen?	

Postmortale Computertomographie (1)	Rechtsmedizin
Detektion von Gasansammlungen durch Dekompressionsunfälle (DCI) <ul style="list-style-type: none"> - arterielle Gasembolien durch Überdehnung der Lunge <ul style="list-style-type: none"> ○ Pneumothorax ○ Pneumomediastinum ○ Pneumoperitoneum ○ Intravaskuläre Gasansammlungen und Gasembolien, v.a. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pulmonalvenen ▪ Linkes Herz und arterielles System ▪ Circulus Willisii und Arterien der Hirnbasis ▪ Bei Shunts auch Auftreten im venösen System - Dekompressionskrankheit (DCS) <ul style="list-style-type: none"> ○ Emphyseme/Gasblasen in Geweben, v. a. lipidreichen Geweben wie Myelin und Unterhautfettgewebe ○ intravaskuläre Gasansammlungen, v. a. venös/rechtskardial 	
Nachweis von Hinweisen auf einen Ertrinkungstod <ul style="list-style-type: none"> ○ Emphysema aquosum ○ Flüssigkeiten in Trachea und Hauptbronchien ○ Gegebenenfalls größere Gasansammlungen im Magen 	
Ausschluss von Traumata, internistischer und neurologischer Differentialdiagnosen	

Postmortale Computertomographie (2)	Rechtsmedizin
Hinweise auf ein Barotrauma im HNO-Bereich <ul style="list-style-type: none"> ○ Ergüsse oder Blutungen im Mittelohr oder den Nasennebenhöhlen 	
Nachweis eines Lungenödems mit folgenden Differentialdiagnosen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Kardiales Ödem ○ Ertrinken ○ Taucherlungenödem(SDPE)/SIPE/IPE 	
Dokumentation von Artefakten <ul style="list-style-type: none"> ○ Postmortale Dekompressionsartefakte ○ Fäulnisgase ○ Gaseinschlüsse durch Traumata/kardiopulmonale Wiederbelebung 	

Externe Untersuchung	Rechtsmedizin
Übersichts- und Detailaufnahmen zur Dokumentation vor und nach Abnahme von Ausrüstung und Entfernung medizinischer Utensilien	
Zeichen von Barotraumata im Kopfbereich <ul style="list-style-type: none"> ○ konjunktivale Blutungen ○ Kompressionsmarken ○ blutige Abrinnspuren aus Ohren, Mund, Nasenostien ○ Trommelfellperforation (Otoskopie) 	
Äußere Zeichen für einen Ertrinkungstod <ul style="list-style-type: none"> ○ Schaumpilz ○ Zyanose von Gesicht, Hals und Schultern (unspezifisch) 	
Hinweise für ein Anfallsleiden <ul style="list-style-type: none"> ○ Zungenbiss 	
Äußere Zeichen für eine Überdehnung der Lunge <ul style="list-style-type: none"> ○ Gasknistern bei Mediastinalemphysem 	
Untersuchung auf Traumata <ul style="list-style-type: none"> ○ Stiche/Bisse giftiger (Meeres-) Lebewesen ○ Kollisions- und Propellerverletzungen ○ Postmortale Traumata durch Treibhaltung ○ Tierfraß ○ Hinweise auf Fremdeinwirkung 	
Dokumentation von postmortalen Veränderungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Autolyse/Fäulnis/Mazeration/Waschhaut ○ Verfärbungen durch farbstoffbildende Bakterien 	

Sektion/Innere Untersuchung/Histologie (1)	Rechtsmedizin
Untersuchung von Thorax/Thoraxorganen	
Untersuchung auf thorakale Gasembolien durch Überdehnung der Lungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Entweichen von Gas aus angeschnittenen Gefäßen ○ Untersuchung von Mediastinum, Herz und großer Gefäße auf Gasansammlungen ○ Kardiale Luftembolieprobe ○ Gaschromatografische Analyse 	

Sektion/Innere Untersuchung/Histologie (2)	Rechtsmedizin
<p>Ausschluss eines Pneumothorax/Pleuraergüssen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ „Kleine Pneumothoraxprobe“ ○ „Große Pneumothoraxprobe“ ○ Gaschromatografische Analyse ○ Ausschluss von Pleuraergüssen 	
<p>Beurteilung der Thoraxorgane</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Verhältnisse der Thoraxorgane in situ ○ Ausdehnung der Organe ○ Untersuchung der Organe ex situ makroskopisch und histologisch (Organgewicht, Pathologien sowie Inflammation, Infarkte und Ödembildung durch Inertgasblasen) ○ Hinweise auf Vorerkrankungen 	
<p>Untersuchung auf einen Ertrinkungstod (typisches Ertrinken)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Schaumpilz in Form von Luft, Ertrinkungsflüssigkeit und dem hypersekretierten stark eiweißhaltigen Bronchial- und Alveolaresekret in den Atemwegen ○ Emphysema aquosum ○ Paltauf-Flecken ○ Hämorrhagien der Lungen 	
<p>Untersuchung auf ein Lungenödem (unspezifisch)</p>	
<p>Untersuchung auf eine Überdehnung der Lunge mit pulmonalem Barotrauma</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorliegen von aufgeblähten Lungen, interstitiellem Ödem, subpleuralen Bläschen, Mediastinalemphysem, Bullae, Emphysemzeichen und Blutungen ○ Vorliegen eines Pneumothorax oder Pneumoperitoneums ○ Vorliegen einer Alveolarruptur ○ Untersuchung auf Gasaustritt in Immersion ○ Spezielle Lungenpräparation zur Barotrauma-Darstellung 	
<p>Untersuchung des Herzens + erweiterte kardiopathologische Untersuchung bei SCD</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Atrium- oder Septumdefekte, offenes Foramen ovale ○ Kardiovaskuläre Erkrankungen ○ Herzklappenpathologien ○ Herzmuskelerkrankungen ○ Myokarditiszeichen, ggf. + Immunhistochemie/Infektionspathologie ○ Ggf. Abfrage eines kardialen Implantates (Schrittmacher, ICD) ○ Dilatation des rechten Ventrikels als Hinweis auf Ertrinkungstod 	
<p>Untersuchung des Abdomens</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Untersuchung auf Gasblasen in V. cava inferior und Aorta descendens ○ Einblutungen/Infarkte durch Emboli bei AGE/DCS ○ Vorliegen eines Pneumoperitoneums als Hinweis auf ein pulmonales Barotrauma ○ Sehrt-Schleimhautrisse, Wydler-Zeichen und Ertrinkungsflüssigkeit im Dünndarm als Zeichen als Hinweis auf einen Ertrinkungstod ○ Blutstauung parenchymatöser Organe bei entspeicherter Milz als Hinweis auf Asphyxie unter Wasser 	

Sektion/Innere Untersuchung/Histologie (3)	Rechtsmedizin
Untersuchung von Hals, Kopf und Gehirn	
Untersuchung auf zerebrale Luftembolien (nach Ligatur der Halsgefäße) <ul style="list-style-type: none"> ○ Signifikant: Nachweise von Gasbläschen in der A. basilaris, den Vertebralarterien und dem Circulus Willisii ○ Weniger signifikant: Nachweise von Gasbläschen in den Gefäßen der Großhirnhemisphären ○ Histologie: Infarktareale/Nekrosen bei arteriellen Gasembolien mit subakut letalem Verlauf, ggf. perivaskuläre Blutungen im Hirnstamm am Boden des IV. Ventrikels als Zeichen einer Gasembolie 	
Untersuchung auf vorbestehende zerebrale Erkrankungen	
Untersuchung auf eine hypoxisch bedingte Hirnschwellung	
Untersuchung auf Traumata an Hals und Kopf	
Untersuchung des Os temporale, Mastoidzellen und Mittelohr auf Barotraumata <ul style="list-style-type: none"> ○ Otoskopie auf Trommelfellperforation, Einblutungen, Flüssigkeit im Mittelohr ○ Eröffnung der Mittelohren und des Mastoids mit makroskopischer und mikroskopische Beurteilung (Einblutungen, Rupturen) 	
Untersuchung der Nasennebenhöhlen <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorliegen von Blutungen, Sekret und Flüssigkeiten als Hinweise auf ein Barotrauma ○ Svehnikov-Zeichen als Hinweis auf einen Ertrinkungstod 	
Untersuchung des muskuloskelettalen Systems	
<ul style="list-style-type: none"> ○ subfasziale Einblutungen in der Hals- und Rückenmuskulatur als Hinweis auf einen Ertrinkungstod 	
Untersuchung des Rückenmarks	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Untersuchung auf Inflammation, Infarkte und Ödembildung im spinalen Kapillarsystem durch Inertgasblasen 	

Toxikologische Untersuchung	Rechtsmedizin
<ul style="list-style-type: none"> ○ Entnahme von Femoralblutproben sowie Herzblut für Alkohol-, Drogen- und genetische Untersuchungen ○ Asservation von Urin und Mageninhalt ○ Entnahme von Organproben von Leber, Niere und Muskulatur, Haaren sowie von weiteren Körperflüssigkeiten (Glaskörper, Herzblut, Galle, Liquor) für spezielle Fragestellungen ○ Routinemäßige Testung des Blutalkoholspiegels und auf gängige Drogen ○ Bestimmung von Medikamentenspiegeln je Anamnese ○ Routinemäßige Bestimmung der postmortalen Kohlenmonoxidkonzentration 	

Genetische Untersuchung/molekulare Autopsie	Rechtsmedizin																		
<p>Bei entsprechender Anamnese, V.a. Arrhythmiesyndrom oder erbliche Kardiomyopathie, SD/SCD bei tödlichen Tauchunfällen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Materialerfassung für molekulare Autopsie möglichst frühzeitig ○ Geeignetes Material: Blutprobe, frisches Herzgewebe, isolierte DNA, Formalin-fixierte und Paraffin-eingebettete Gewebprobe ○ Begleitend Familienanamnese/Untersuchung von Familienmitgliedern ○ Postmortale molekulargenetische Untersuchung auf genetische Arrhythmiesyndrome/Kardiomyopathien (gezielt oder ungezielt mit hochparalleler DNA- Sequenzierungsmethode) 																			
<p>Gängige Arrhythmiesyndrome und Kardiomyopathien und entsprechende Hauptgene mit einer Sensitivität > 10%</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Long QT-Syndrom (LQTS)</td> <td>KCNQ1, KCNH2, SCN5A</td> </tr> <tr> <td>Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT)</td> <td>RYR2</td> </tr> <tr> <td>Brugada Syndrom</td> <td>SCN5A, SCN10A</td> </tr> <tr> <td>Short QT-Syndrom</td> <td>Kein Hauptgen</td> </tr> <tr> <td>Frühe Repolarisationsstörung (ERS)</td> <td>Kein Hauptgen</td> </tr> <tr> <td>Hypertrophe und hypertroph obstruktive Kardiomyopathie (HCM/HOCM)</td> <td>MYBPC3, MYH7</td> </tr> <tr> <td>Dilatative Kardiomyopathie (DCM)</td> <td>TTN, LMNA, MYH7, MYBPC3</td> </tr> <tr> <td>Linksventrikuläre „non-compaction“ Kardiomyopathie (LVNC)</td> <td>MYH7</td> </tr> <tr> <td>Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC)</td> <td>PKP2, DSG2, DCS2</td> </tr> </table>		Long QT-Syndrom (LQTS)	KCNQ1, KCNH2, SCN5A	Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT)	RYR2	Brugada Syndrom	SCN5A, SCN10A	Short QT-Syndrom	Kein Hauptgen	Frühe Repolarisationsstörung (ERS)	Kein Hauptgen	Hypertrophe und hypertroph obstruktive Kardiomyopathie (HCM/HOCM)	MYBPC3, MYH7	Dilatative Kardiomyopathie (DCM)	TTN, LMNA, MYH7, MYBPC3	Linksventrikuläre „non-compaction“ Kardiomyopathie (LVNC)	MYH7	Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC)	PKP2, DSG2, DCS2
Long QT-Syndrom (LQTS)	KCNQ1, KCNH2, SCN5A																		
Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie (CPVT)	RYR2																		
Brugada Syndrom	SCN5A, SCN10A																		
Short QT-Syndrom	Kein Hauptgen																		
Frühe Repolarisationsstörung (ERS)	Kein Hauptgen																		
Hypertrophe und hypertroph obstruktive Kardiomyopathie (HCM/HOCM)	MYBPC3, MYH7																		
Dilatative Kardiomyopathie (DCM)	TTN, LMNA, MYH7, MYBPC3																		
Linksventrikuläre „non-compaction“ Kardiomyopathie (LVNC)	MYH7																		
Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC)	PKP2, DSG2, DCS2																		

Abschließende rechtsmedizinische Beurteilung (1)	Rechtsmedizin
<p>Besondere Beachtung weiterer gängiger tauchmedizinischer Befunde, gesundheitlicher Schädigungen und Todesursachen bei tödlichen Tauchunfällen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Barotrauma von Nasennebenhöhlen, Mittel-/Innenohr oder Mastoid ○ Pulmonales Barotrauma ohne arterielle Gasembolie, Pneumothorax ○ Taucherlungenödem/SDPE ○ Dekompressionskrankheit 	
<p>Hinweise für einen Ertrinkungstod</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Hoher Beweiswert: feinblasiger Schaumpilz vor Mund und Nase, weißlich schaumiger Inhalt in den Bronchien, Emphysema aquosum mit Bedeckung von Herz und Mediastinum, knisternde luftkissenartige Konsistenz des Lungengewebes, bleibende Impressionen des Lungengewebes durch Fingerdruck und Rippen, Paltauf-Flecken, Wydler-Zeichen, Sehrt-Schleimhautrisse ○ Niedriger Beweiswert: Svechnikov-Zeichen, Einblutungen in die Cellulae mastoidea, subfasziale Blutungen der Hals-/Rückenmuskulatur ○ Unspezifisch: entspeicherte Milz bei ansonsten Blutfülle der parenchymatösen Organe 	

Abschließende rechtsmedizinische Beurteilung (2)	Rechtsmedizin
<p>Hinweise für eine Lungenüberdehnung mit arterieller Gasembolie</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Schnelles Auftauchen mit anschließender Bewusstlosigkeit, unerfahrener Taucher/Tauchschilder, schwierige Situation wie Panik, eine „low on air“- oder „out of air“-Situation, Auftrieb durch überfüllte Tarierjackets oder abgelegte Gewichte, Aufzeichnung eines schnellen Aufstiegs durch einen Tauchcomputer, computertomographischer Nachweis von Gas im linken Herzen und Circulus Willisii, Koronararterien und Arterien der Retina sowie ein Pneumomediastinum oder Subkutanempysem, Nachweise von Gas im linken Ventrikel oder Hirngefäßen sowie eine geringe Wahrscheinlichkeit von Artefakten durch Fäulnis oder postmortale Dekompression 	
<p>Beurteilung des topographischen Verteilungsmusters von Gasblasen, der Gasanalyse und Abgrenzung zu postmortalen Dekompressionsartefakten</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Arterielle Gasembolie: Gasblasen initial arteriell, besonders spezifisch: Vorliegen im linken Herzen, Circulus Willisii, Arterien der Hirnbasis, Gaszusammensetzung entspricht der des verwendeten Atemgases, unmittelbarer Nachweis von Gasblasen ○ Dekompressionskrankheit: Gasblasen initial venös, Gaszusammensetzung enthält vermehrt Stickstoff und Stoffwechselprodukte wie Kohlenstoffdioxid, Auftreten subakut mit einer Progression über mehrere Stunden ○ Postmortale Dekompressionsartefakte: venös und arteriell, Gaszusammensetzung wie bei Dekompressionskrankheit, Auftreten subakut mit einer Progression über mehrere Stunden ○ Fäulnisgase: initial im gastrointestinalen Trakt, speziell in der Leber, den Leber- und Portalvenen, Gaszusammensetzung enthält hohe Anteile von Wasserstoff, Methan, Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff und ist faulig riechend, Auftreten meist nach > 24 h je nach Temperatur ○ Traumata/ Punktionen: initial lokale Ansammlungen von Gas ○ Gasansammlungen durch Wiederbelebensmaßnahmen: abhängig vom Sauerstoffanteil des Beatmungsgases 	
<p>Beurteilung von vorliegenden Grunderkrankungen und Akutereignissen für den Ablauf des tödlichen Tauchunfalls insbesondere</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Rhythmogene Ereignisse bei kardialen Vorerkrankungen ○ Kardiovaskuläre Ereignisse ○ Herzmuskelerkrankungen ○ Pulmonale Erkrankungen wie Asthma und COPD ○ Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus ○ Neurologische Erkrankungen, v.a. Epilepsie ○ Intoxikationen (Alkohol, Drogen, Medikamente/Sedativa) 	
<p>Beurteilung von vorliegenden Traumata für den Ablauf des tödlichen Tauchunfalls</p>	

Abschließende Beurteilung (2)	Rechtsmedizin
<p>Abschließende Beurteilung der CT-/Sektionsbefunde unter Berücksichtigung folgender Informationsquellen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Technisches Gutachten/Rücksprache mit dem technischen Sachverständigen ○ Auswertung des Tauchcomputerprofils ○ Allgemeine, tauchgangsspezifische Anamnese, insbesondere die medizinische Vorgeschichte und Substanzanamnese ○ Rücksprache mit einem Tauchmediziner, gemeinsame Gesamtbewertung 	
<p>Rechtsmedizinisches Gutachten</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Obduktionsergebnis, Vorgeschichte, Todesursache, Todesart, Beurteilung und Schlussfolgerung ○ Angabe zugrunde liegender Informationen, Asservate und Zusatzuntersuchungen 	

11. Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Klaus Püschel danke ich für die Möglichkeit, unter seiner Betreuung mit einer ausgesprochen interessanten Thematik zu promovieren und dabei spannende Einblicke in rechtsmedizinische Verfahren zu bekommen.

Meinem Vater Dr. med. Ulrich van Laak danke ich für die Inspiration für den Tauchsport und die Tauchmedizin, die mich seit meiner Kindheit begleitet. Ich danke ihm zudem für die zahlreichen und intensiven fachlichen Diskussionen im Rahmen der Fallanalysen und der Erarbeitung des standardisierten Verfahrens zur Untersuchung tödlicher Tauchunfälle. Auch danke ich ihm für die vielen Stunden, die er in die Korrekturbemerkungen meiner Dissertation investiert hat. Meinen beiden Eltern danke ich für die Ermöglichung einer guten Ausbildung und somit dem Fundament für meine weitere Entwicklung.

Ich danke Dr. rer. nat. Dietmar Berndt (EUR ING) für die umfangreiche Beratung und Schulung in Bezug auf die technischen Details im Rahmen der Fallanalysen und des standardisierten Verfahrens. Meine zahlreichen Fragen wurden von ihm mit großem Engagement beantwortet und mein Verständnis für die technische Analyse bei Tauchunfällen und viele tauchphysiologische Aspekte wurde durch ihn enorm erweitert. Einige für die Interpretation ausschlaggebende Aspekte wären bei der Analyse der Fälle ohne die technische Expertise von Dr. Berndt unbeachtet geblieben.

Ich danke Jana Kraas M.Sc. für ihre Unterstützung bei der statistischen Auswertung. Von ihrer Erfahrung in wissenschaftlichem Arbeiten konnte ich sehr profitieren.

Rechtsanwalt Peter Schetter danke ich für die Beratung in Bezug auf juristische Aspekte bei der Untersuchung tödlicher Tauchunfälle und für die Korrekturbemerkungen zu meiner Dissertation.

Ich danke Ashley Macquarrie dafür, dass sie als „native speaker“ und Ärztin die Korrektur des englischen Teils der Zusammenfassung durchgeführt hat.

Meiner Familie und vor allem meinem Mann Dr.-Ing. Ingo Schiller danke ich für die Geduld und Unterstützung während des Verfassens meiner Dissertation.

12. Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.

13. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Gettorf, den 12.06.2021

A handwritten signature in black ink that reads "Dorit Schiller". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.