

**Vorwissenschaftliche Arbeit  
im Rahmen der Reifeprüfung**

**Die physiologischen Eigenschaften von  
Haien und deren Anwendungen in der  
Medizin und Pharmazie**

Vorgelegt von

**Helena Klein**

**8A**

**Betreuer: Mag. Matthias Kreismayr**

**Datum der Abgabe:**

**17.02.2023**

## **Selbständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als angegeben verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ich gebe mein Einverständnis, dass ein Exemplar meiner vorwissenschaftlichen Arbeit in der Schulbibliothek meiner Schule aufgestellt wird.

Wien, \_\_\_\_\_

Ort, Datum

\_\_\_\_\_

Unterschrift

## **Abstract**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit ausgewählten anatomischen und physiologischen Eigenschaften und Besonderheiten von Haien und deren Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Medizin und Pharmazie. Dabei werden sowohl jene Eigenschaften beschrieben, die bereits Verwendung in der Humanmedizin finden, aber auch jene, die in der medizinischen Forschung zukünftig von Interesse sein könnten. In der vorliegenden Literaturlarbeit bekommt der Lesende ein Bewusstsein für die Relevanz des Hais in der Forschung. Zusätzlich macht die Arbeit auf die Wichtigkeit des Hais im Ökosystem Meer aufmerksam und geht auf die Gefahr des kommerziellen Haifangs ein. Insbesondere beim sogenannten „Livering“ ist das Lipid Squalen aus der Leber des Hais von großem Interesse. Aufgrund seiner feuchtigkeitsspendenden und nicht fettenden Eigenschaften wird Squalen in der Kosmetikindustrie bei der Herstellung von Salben, Cremes und Lotions verwendet. Auch in der pharmazeutischen Industrie wird das Lipid als Adjuvans zur Wirkverstärkung von Impfstoffen eingesetzt. Um den Hai zu schützen, werden alternative Quellen für die Squalenherstellung gesucht; hier sind erste erfolgversprechende Ergebnisse in der Biotechnologie zu nennen. In der medizinischen Forschung hat die Genomsequenzierung des Weißen Hais zu neuen Erkenntnissen über die Genetik und in diesem Zusammenhang über weitere physiologische Eigenschaften geführt. Wichtig dabei zu nennen ist das Immunglobulin IgNAR, das durch seine besonderen strukturellen Eigenschaften und der hohen Stabilität als Vorbild für die gentechnologische Entwicklung humaner Antikörper dient. Zusätzlich sind die Entdeckung der schnellen Wundheilung und der Genomstabilität des Hais wichtige forschungsweisende Errungenschaften. Auch internationale Schutzorganisationen und Maßnahmen für den Schutz des Hais werden in dieser Arbeit genannt, um dem Lesenden die Wichtigkeit des Haischutzes näher zu bringen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
2	Physiologische Eigenschaften des Hais.....	6
2.1	Das Immunsystem.....	6
2.2	Die Osmoregulation .....	8
2.3	Die Leber .....	9
2.3.1	Die Entdeckung von Squalen .....	10
2.3.2	Die Eigenschaften von Squalen.....	11
3	Bedeutung und Anwendungen der physiologischen Eigenschaften in der Medizin und Pharmazie .....	12
3.1	Anwendungen von Squalen .....	12
3.1.1	Squalen in der Kosmetik .....	12
3.1.2	Squalen in der Pharmakologie .....	14
3.2	Genomsequenzierung .....	16
3.3	Antikörper von Haien als Vorbild für humane Antikörper.....	17
4	Die Wichtigkeit von Haien im Ökosystem.....	19
5	Bedrohung.....	20
5.1	Haihandel und Haifang als wesentlichste Bedrohung .....	20
5.2	Beifang und Überfischung.....	21
5.3	Kommerzieller Haifang.....	22
5.3.1	Finning.....	22
5.3.2	Haifleisch.....	23
5.3.3	Haileberöl.....	24
6	Schutzmaßnahmen und Gesetze .....	25
6.1	Biotechnologische Squalenherstellung .....	25
6.2	Gesetze, Aktionspläne und Schutzmaßnahmen .....	27
7	Zusammenfassung und Fazit .....	28
	Literaturverzeichnis .....	31

# 1 Einleitung

Bereits seit über 400 Millionen Jahren existieren Haie in unseren Weltmeeren. Sie haben es seitdem geschafft, sich an die ständig veränderte ökologische Umwelt zu adaptieren und sich in dieser zu behaupten. Im Laufe der Evolution besiedelten sie alle Lebensbereiche im Wasser und haben sich perfekt an ihre jeweilige ökologische Nische angepasst. Durch diese Anpassungsstrategien und Formenvielfalt sorgen sie weltweit für ein gesundes und ausgeglichenes Ökosystem Meer.<sup>1</sup> Haie sind eine Schlüsselspezies und regulieren mit ihrem Fressverhalten die anderen Meeresbewohner und sind somit unverzichtbar.

Trotz der enormen Wichtigkeit der Haie eilt ihnen ein negativer Ruf voraus. Vor allem in veralteten Spielfilmen werden Haie als blutrünstige Killer und gefährliche Jäger dargestellt. Dieser Glaube wird vor allem durch Medienberichte verstärkt und damit wächst der Hass auf Haie bei wiederkehrenden Angriffen. Somit sind Haie nicht nur gefürchtete Jäger, sondern werden auch zu Gejagten, die zudem gnadenlos kommerziell ausgebeutet werden.

Für Forscher und Forscherinnen wird der Hai auch in Bereichen wie Medizin und Pharmazie immer bedeutender. Konkret befasst sich diese Literaturarbeit mit dem Immunsystem, der Osmoregulation und der Leber des Hais. Auch werden die Anwendungen in der Medizin und in der Pharmazie von diesen ausgewählten anatomischen und physiologischen Eigenschaften beschrieben. Insbesondere konzentriert sich die Arbeit auf die Relevanz und die Verwendung dieser Eigenschaften in der Humanmedizin. Zusätzlich wird auch auf das Lipid Squalen und dessen Anwendung in der Kosmetikindustrie sowie der Arzneimittelherstellung eingegangen. Zunächst werden diese physiologischen Eigenschaften und anschließend deren Verwendungen oder mögliche Anwendungen beschrieben. Abschließend bezieht sich die Arbeit auf den kommerziellen Haifang und internationale und nationale Schutzmaßnahmen, die versuchen, den Hai durch Maßnahmen zu schützen.

---

<sup>1</sup> Vgl. Mojetta, Angelo: Haie. Biografie eines Räubers. Hamburg: Jahr Verlag, 1997. S. 12ff.

## 2 Physiologische Eigenschaften des Hais

### 2.1 Das Immunsystem

Die wichtigste Aufgabe des Immunsystems ist die Erkennung und Abwehr von schädigenden Krankheitserregern und Fremdkörpern. Bei der adaptiven oder spezifischen Immunabwehr wird zwischen einer zellulären und einer humoralen Immunantwort unterschieden, die gemeinsam interagieren. Die zelluläre Abwehr erfolgt durch sogenannte T-Lymphozyten, bei der humoralen Abwehr sind die von den B-Zellen gebildeten Immunglobuline beteiligt.<sup>2</sup>

Einen großen Unterschied zwischen dem Immunsystem von Haien und dem des Menschen gibt es nicht; es existieren nur ein paar wenige Unterschiede. Das Immunsystem des Hais ist einfacher aufgebaut als das eines Menschen; auch besitzen Haie kein Knochenmark als Ort der Hämatopoese (Bildung der Blutzellen). Wie bei höheren Tieren gibt es Erythrozyten, Leukozyten und Thrombozyten, wobei hauptsächlich die Leukozyten beim Hai für eine Immunfunktion verantwortlich sind. Auch besitzen sie keine für den Informationsaustausch zwischen verschiedenen Abwehrzellen verantwortlichen Immunzellen aus der Gruppe der T-Helferzellen, die für den Menschen überlebenswichtig sind.<sup>3</sup> Die beim Hai und beim Menschen vorhandenen B-Zellen, die für die Bildung von Immunglobulinen verantwortlich sind, werden im lymphatischen Organ, der Milz, gespeichert. Bei Menschen findet man in der Milz zusätzlich noch T-Zellen. Auch im Thymus, ebenfalls ein lymphatisches Organ, reifen sowohl bei Haien als auch beim Menschen T-Zellen heran, die später im Blut zirkulieren.<sup>4</sup>

Neben Thymus und Milz besitzen Haie weitere wichtige lymphatische Gewebe. Ein darmassoziiertes Gewebe (GALT; „gut associated lymphoid tissue“), ein epigonales Organ, das mit den Keimdrüsen verbunden ist, sowie das mit der Speiseröhre

---

<sup>2</sup> Vgl. Koolman, Jan/Röhm, Klaus-Heinrich: Taschenatlas. Biochemie des Menschen. 5. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 2019. S. 320.

<sup>3</sup> Vgl. Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014. online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische> [27.11.2022].

<sup>4</sup> Vgl. Carrier, Jeffrey C./ Musick, John A./ Heithaus, Michael R.: Biology of Sharks and Their Relatives. Florida: CRC Press LLC. 2004. S. 374f.

verbundene Leydig Organ. Das Leydig Organ und das epigonale Organ sind das Äquivalent zum fehlenden Knochenmark.<sup>5</sup>

Die humorale Abwehr erfolgt durch die Immunglobuline. Immunglobuline sind aus zwei schweren und zwei leichten Proteinketten aufgebaut und haben eine Y-Form.<sup>6</sup> Hierzu gehören beim Hai die Immunglobuline IgM und IgW. Das IgM (Immunglobulin-M) ist in der monomeren und in der pentameren Form nachgewiesen worden. Das Molekül ist ein wichtiges Trägermolekül für die Immunverteidigung, kann aber auch mit der Anwesenheit von Serumalbumin im Haikörper ein wichtiger Parameter für die Osmoregulation sein. Über das im Hai vorkommende IgW (Immunglobulin-W) gibt es noch keine Informationen über seine Funktion.<sup>7</sup>

Ein weiteres Immunglobulin, das nicht beim Menschen vorkommt, ist das sogenannten IgNAR (Immunglobulin New Antigen Receptor). Das Besondere an diesem Immunglobulin ist, dass es aus nur zwei schweren Proteinketten besteht und auch besondere strukturelle Eigenschaften hat. IgNAR ist für die medizinische Forschung, wie später dargestellt, von großem Interesse.<sup>8</sup>

Um im menschlichen Immunsystem Gedächtniszellen gegen einen Erreger bilden zu können, ist ein Erstkontakt mit einem Antigen nötig. Beim Hai allerdings werden die Antikörper durch die Ei- und die Samenzellen weitervererbt. Somit benötigen sie keinen Erstkontakt, um Gedächtniszellen zu bilden.<sup>9</sup>

Obwohl Haie schon über 400 Millionen Jahre auf der Welt existieren, hat sich durch die Evolution nur wenig an der humoralen Abwehr geändert. Auch wenn das Immunsystem des Menschen komplexer als das des Hais aufgebaut ist, scheint das Immunsystem des Hais sehr effizient zu arbeiten und genauso wirksam und aktiv zu sein.<sup>10</sup>

---

<sup>5</sup> Vgl. Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014. online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische> [27.11.2022].

<sup>6</sup> Vgl. Koolman, Jan/Röhm, Klaus-Heinrich. 2019. S 324.

<sup>7</sup> Vgl. Smith, Sylvia L./ Sim, Robert B./ Flajnik, Martin F.: Immunobiology of the Shark. Florida: CRC Press. 2015. S. 60ff.

<sup>8</sup> Vgl. Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014. online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische> [27.11.2022].

<sup>9</sup> Vgl. Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014. online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische> [27.11.2022].

<sup>10</sup> Vgl. Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014. online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische> [27.11.2022].

## 2.2 Die Osmoregulation

Grundsätzlich kann man bei Wirbeltieren zwei Haupttypen der Osmoregulation feststellen: Die Osmoregulierer sowie die Osmokonformer. Die verbreitetste Form im Tierreich sind die Osmoregulierer. Durch eine aktive Regulierung können sie ihre osmotischen Werte beinahe konstant halten, obwohl ihre Außenwelt eine andere Osmolarität als ihr Körperinneres hat. Somit verhindern sie einen zu hohen Wasserverlust oder eine zu hohe Wasseraufnahme. Die zweite Form sind die Osmokonformer, zu diesen zählen die meisten marinen Lebewesen und somit auch die Haie. Haie zählen zusätzlich auch zu den sogenannten Harnstoff-Osmokonformern. Osmokonformer müssen im Gegensatz zu den Osmoregulierern ihren Wasserhaushalt nicht aktiv regulieren. Sie passen ihr osmotisches Innenmedium an die Konzentration der Umgebung an und sind damit isotonisch zu ihrem Lebensraum. Zusätzlich gelten sie auch als poikilosmotisch, das bedeutet, dass die Teilchenkonzentration in den Zellen von diesen Tieren genau der Konzentration des Meerwassers entsprechen muss. Bei einer beträchtlichen Veränderung des Salzgehaltes können diese Tiere anderenfalls nicht mehr in dem Lebensraum überleben.<sup>11 12</sup>

Auf dieses Phänomen müssen auch die Haie achten. Diese leben im Salzwasser, das eine Konzentration von etwa 1.000 mOsm (Milliosmol) aufweist; Haie selbst haben eine Innenkonzentration von ungefähr 1.021 mOsm. Damit haben Haie etwa die gleiche oder meistens eine etwas höhere osmotische Konzentration als das Meerwasser. Allerdings ist die Regulation der Innenkonzentration von Haien nicht ausschließlich auf die anorganischen Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  zurückzuführen, sondern hängt zusätzlich von einer hohen Menge gespeicherten Harnstoffs im Plasma und Zytoplasma ab.<sup>13</sup> Da Meerwasser aber hauptsächlich aus  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  Ionen besteht, die inneren Flüssigkeiten von Haien im Vergleich aber nur aus etwa 50%, muss dieser Unterschied durch die Regulierung der Ionen ausgeglichen werden. Problematisch ist dabei nur, dass der Haikörper keine höhere Konzentration von  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  Ionen aufnehmen kann, da es im Haikörper sonst

---

<sup>11</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 36.

<sup>12</sup> Vgl. Osmoregulation. StudySmarter. Veröffentlichungsdatum unbekannt.

online: <https://www.studysmarter.de/schule/biologie/oekologie/osmoregulation/> [27.11.2022].

<sup>13</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 36.



zur Denaturierung von Proteinen aber auch zu der Veränderung der elektrischen Gradienten an der Zellmembran kommen kann.<sup>14</sup>

Um dieses Problem zu umgehen, können Haie auf künstlichem Weg für einen hohen Salzgehalt sorgen, indem sie die natürlichen Abbauprodukte ihres Körpers im Blut zurückhalten.<sup>15</sup> Besonders durch die Regulierung der endogenen Konzentration von Harnstoff passen sie sich an einen veränderten Salzgehalt in der Umwelt an. Harnstoff wird in großen Mengen im Blut gespeichert und diese Retention hemmt den potenziellen osmotischen Wasserverlust.<sup>16</sup>

## 2.3 Die Leber

Die Leber ist die größte Drüse im Verdauungstrakt eines Hais, in der abgesehen von den physiologischen Funktionen der Leber auch Lipide produziert und eingelagert werden.<sup>17</sup> Insbesondere das Lipid Squalen ist bei jeder Haiart in der Leber vorhanden und kann teilweise bis zu 90% des Gesamtgewichts der Leber ausmachen.<sup>18</sup>

Der Hai benötigt Squalen für seinen Auftrieb im Wasser. Da Knorpelfische, zu denen der Hai gehört, im Gegensatz zu den Knochenfischen keine Schwimmblase für die Kontrolle des Auftriebes besitzen, brauchen sie eine andere Methode, um im Wasser einen neutralen Auftrieb zu bewahren.<sup>19</sup> Zwar besteht der Körper von Haien aus einem leichten Knorpelskelett und hat eine gewisse hydrodynamische Effizienz; dies ist jedoch nicht ausreichend. Die Dichte eines Haikörpers beträgt um die 1,10 g/ml, wobei Meerwasser nur eine Dichte von 1,026 g/ml aufweist. Dementsprechend unterstützt Squalen den Auftrieb des Hais mit seiner im Vergleich zu Wasser wesentlich geringeren Dichte von nur 0,86 g/ml.<sup>20</sup> Durch dieses Lipid kann der Auftrieb fast bis zur Neutralität erhöht werden. Außerdem bringt das Fehlen einer Schwimmblase auch ein Vorteil für

---

<sup>14</sup> Vgl. Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean: Shark Biology and Conservation. Essentials for educators, students and enthusiasts. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2020. S. 260ff.

<sup>15</sup> Vgl. Carwardine, Mark: Haie. Bielefeld: Delius Klasing Verlag. 2005. S. 41f.

<sup>16</sup> Vgl. Carrier, Jeffrey C./ Musick, John A./ Heithaus, Michael R. 2004. S 295.

<sup>17</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 21.

<sup>18</sup> Vgl. Nolding, Jana/ Grotjohann, Norbert: Haie. Ein Jäger wird zum Gejagten. BU-praktische. 2019. online: [https://www.bu-praktisch.de/index.php/bupraktisch/article/view/1199/1277S. 2.](https://www.bu-praktisch.de/index.php/bupraktisch/article/view/1199/1277S.2)

<sup>19</sup> Vgl. Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean. 2020. S. 19.

<sup>20</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 35.

den Hai. Da Luft im Gegenteil zu Ölen komprimierbar ist, können Knochenfische nicht schnell auf- oder absteigen, da es sonst zum Platzen der Schwimmblase kommen könnte. Haie hingegen können ohne Risiken und ohne Dekompressionsprobleme ihre Tauchtiefe durch schnelles Auf- oder Abtauchen verändern.<sup>21</sup>

Eine weitere Funktion der Leber ist die gleichzeitige Nutzung als Energiespeicher. Das in ihr angereicherte, konzentrierte Fett wird in Zeiten, in denen Nahrungsknappheit herrscht, verstoffwechselt.<sup>22</sup> Diese Fettreserven erlauben dem Hai einen längeren Zeitraum ohne Nahrung zu überstehen. Die ursprüngliche Größe der Leber kann während dieser Hungerszeit bis auf die Hälfte reduziert werden.<sup>23</sup>

Dieses Phänomen haben Forscher und Forscherinnen von der Stanford University in Pacific Grove bei der Untersuchung von Weißen Haien während ihrer Wanderungen herausgefunden. Im Laufe dieser Wanderungen schwimmen die Tiere mehrere tausend Kilometer und durchqueren dabei auch nahrungsarme Gewässer. In diesen Zeiten müssen sich die Haie von den Fettvorräten aus ihrer Leber ernähren. Mit Hilfe von kleinen Sensorenpaketen, die die ständige Position, Temperatur, Beschleunigung und Tauchtiefe feststellten, gelang den Forschern und Forscherinnen dieser Nachweis. Durch den Zusammenhang der Menge an Lipiden in der Leber und dem dadurch entstehenden Auftrieb, konnte man sehen, um wie viel die Fettreserven in der Leber im Verlauf ihrer Wanderung zurückgegangen sind. Dabei nahm während der Wanderung der Auftrieb fortlaufend ab. Mit diesem Ergebnis kann man nun eindeutig begründen, dass die Leber das Organ ist, in dem Energiereserven für lange Wanderungen gespeichert werden.<sup>24</sup>

### **2.3.1 Die Entdeckung von Squalen**

1906 entdeckte der japanische Wissenschaftler Mitsumaro Tsujimoto als erster Squalen, nachdem es als Reinsubstanz aus der Leber eines Rau-Langnasen-Dornhais (*Deania hystricosa*), aus der Familie der Squalidae, isoliert wurde. Der Name Squalen ist daher

---

<sup>21</sup> Vgl. Nolding, Jana/ Grotjohann, Norbert. 2019. S. 2.

<sup>22</sup> Vgl. Nolding, Jana/ Grotjohann, Norbert. 2019. S. 2.

<sup>23</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 22.

<sup>24</sup> Vgl. Raye, Gen Del /et al.: Travelling light. White sharks (*Carcharodon carcharias*) rely on body lipid stores to power ocean-basin scale migration. The Royal Society Publishing. 2013. online: <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rsph.2013.08365>. 2. [27.11.2022].

eine Anlehnung an den Namen der Haifischfamilie. Durch Keijiro Kogami von der Tokyo Imperial University wurden 1930 erstmals systematische medizinische Forschungen mit der Substanz durchgeführt. Im Jahr 1936 führte der Nobelpreisträger Paul Karrer die Forschungen fort und konnte die biochemische Struktur von Squalen detailliert beschreiben.<sup>25</sup>

Das Lipid wird in allen höheren Organismen produziert. Auch im menschlichen Stoffwechsel spielt die Substanz eine Rolle und kommt als wesentlicher Bestandteil der Hauptlipide im menschlichen Blutserum mit einer Konzentration von etwa 250ng/ml vor. Squalen entsteht bei der Biosynthese von Cholesterin, Steroiden und Vitamin D als Zwischenstufenprodukt.<sup>26</sup> Hauptvorkommen mit der höchsten Konzentration an Squalen ist Haifischleberöl. In einer Haifischleber kann die Konzentration bis zu 80% reines Squalen betragen. Da Haie im Vergleich zu anderen natürlich vorkommenden Quellen den höchsten Squalengehalt aufweisen, werden sie zur Squalennutzung gejagt. Besonders der Dornhai (*Squalus acanthias*), eine der häufigsten vorkommenden Haiarten, ist die Hauptquelle für kommerziell gewonnenes Squalen.<sup>27</sup>

### **2.3.2 Die Eigenschaften von Squalen**

Squalen wird mit der Summenformel  $C_{30}H_{50}$  beschrieben und ist eine ungesättigte, organische Verbindung aus der Gruppe der Terpene. Als farblose, schwach riechende und ölige Flüssigkeit ist Squalen gut in Benzin und Alkohol löslich, allerdings unlöslich in Wasser. Squalen wird als Antioxidans klassifiziert und gehört zu den Isoprenoiden. Anders als andere Antioxidantien, die sich bereits bei einer Konzentration von  $10\mu\text{Mol}$  pro Liter toxisch auf den menschlichen Körper auswirken, hat Squalen auch bei  $100\mu\text{Mol}$  pro Liter keine toxischen Auswirkungen. So kann es im menschlichen Organismus in hohen Konzentrationen gespeichert werden und wird anschließend auf natürlichem Wege vom Körper ausgeschieden.<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. Sanina, Nina: Vaccine Adjuvants Derived from Marine Organisms. Biomolecules. 2019. online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723903/S.2>. [15.08.2022].

<sup>26</sup> Vgl. Squalen. Psiram.com. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: [https://www.psiram.com/de/index.php?title=Squalen&mobileaction=toggle\\_view\\_mobile](https://www.psiram.com/de/index.php?title=Squalen&mobileaction=toggle_view_mobile) [15.08.2022].

<sup>27</sup> Vgl. Sanina, Nina. 2019. S. 2.

<sup>28</sup> Vgl. Squalen. Chemie.de. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: <https://www.chemie.de/lexikon/Squalen.html> [15.08.2022].

Diese geringe Toxizität qualifiziert Squalen für den Einsatz in der Kosmetikindustrie, Pharmazie und Humanmedizin. Dadurch eignet sich das Lipid nicht nur für die Verwendung in Kosmetikprodukten, sondern auch als Adjuvans in Impfstoffen, welche gegen einige Viruskrankheiten eingesetzt werden. Auch in der Alternativmedizin findet Squalen in Form von Haifischleberöl Anwendung als Nahrungsergänzungsmittel. Jedoch gibt es derzeit keine klinischen Studien, die die Wirkung von Haifischleberöl als Therapeutikum belegen.<sup>29</sup>

### **3 Bedeutung und Anwendungen der physiologischen Eigenschaften in der Medizin und Pharmazie**

#### **3.1 Anwendungen von Squalen**

##### **3.1.1 Squalen in der Kosmetik**

Trotz Verpflichtungen, dass westliche Kosmetikfirmen kein Squalen tierischen Ursprungs in ihren Produkten verwenden, ist weltweit die Kosmetikindustrie der größte Bereich, in dem tierisches Squalen zum Einsatz kommt. Vor allem Sonnencreme, Körperlotion und Make-up enthalten das vom Hai gewonnene Öl aufgrund seiner feuchtigkeitsspendenden, nicht fettenden Eigenschaften. Diese Verbindung, die reich an Fettsäuren und Antioxidantien ist, kann allerdings auch von Ersatzquellen, wie Oliven oder anderen Pflanzen gewonnen werden.<sup>30</sup>

Allerdings ist das Squalen in der Haileber in einer deutlich höheren Konzentration vorhanden. Spezialisierte Fischereien gehen deshalb gezielt auf die Jagd nach Tiefseehaien, da diese über eine besonders große Leber mit einer dementsprechend großen Menge an Squalen verfügen. 2,7 Millionen Tiefseehaie, von denen einige Arten vom Aussterben bedroht sind, müssen jährlich gefangen werden, um den Bedarf an

---

<sup>29</sup> Vgl. Szostak, Wiktor B./ Szostak-Wegierek, Dorota. Przegłąd Lekarski: Health properties of shark oil. PubMed. 2006. online: [https://www.researchgate.net/publication/6714107\\_Health\\_properties\\_of\\_shark\\_oil](https://www.researchgate.net/publication/6714107_Health_properties_of_shark_oil) S. 224. [15.08.2022].

<sup>30</sup> Vgl. Roth, Annie: Sonnenmilch & Co: Viele Kosmetika enthalten Öl aus Hailebern. National Geographic. 2018. online: <https://www.nationalgeographic.de/tiere/2018/07/sonnenmilch-co-viele-kosmetika-enthalten-oel-aus-hailebern> [07.08.2022].

Haifischleberöl für die Kosmetikindustrie zu decken. Auch wenn einige Squalenhersteller angeben, dass die Haie nur Beifang sind und sie diese nur verwerten wollen, zeigt eine Studie von BLOOM, dass ein spezialisierter Haifang und Produktion die Voraussetzung sind, um qualitatives, hochwertiges Öl herzustellen. Weitere Produkte, wie Vitaminpräparate und Impfstoffe enthalten ebenfalls Squalen. Trotzdem nutzt allein die Kosmetikindustrie 90% dieser Substanz für die Herstellung ihrer Produkte.<sup>31</sup>

Aufgrund des hohen Marktwerts von Haifischleberöl wird für Fischer der Haifang immer beliebter. Insbesondere in Indien, dem Südatlantik und dem Westpazifik handeln Fischereien mit Squalen.<sup>32</sup> Durch die mangelnden Regulierungen von Squalenfischereien und ausbleibenden Schutzmaßnahmen für Tiefseehaie tritt das ausgeprägte Phänomen des sogenannten „Livering“ immer öfters auf. Bei dieser Methode werden den gefangenen Haien nur die Leber entfernt und der danach unbrauchbare Kadaver wird im Meer entsorgt.<sup>33</sup>

Mit den im Jahre 2006 von der EU erlassenen Auflagen wurden Tiefseehaie im Nordostatlantik nur noch unter strengen Auflagen gefischt.<sup>34</sup> 2010 wurde die gezielte Fischerei auf Tiefseehaie sogar ganz verboten. Als Folge dessen und dem wachsenden öffentlichen Interesse für Artenschutz, wollen viele westliche Kosmetikunternehmen auf pflanzliches Squalen umsteigen, obwohl Squalen aus pflanzlicher Basis in der Herstellung fast 30% teurer ist. Im Kontrast zu den westlichen Unternehmen nutzen weltweit immer noch der Großteil der Kosmetikproduzenten tierisches Squalen. Hingegen haben Blindtests bei Produkten von bekannteren Kosmetikmarken gezeigt, dass es häufig vorkommt, dass die Lieferanten die Kosmetikunternehmen in dem Glauben lassen, ihr Squalen sei auf rein pflanzlicher Basis gewonnen worden, auch wenn dies nicht der Fall ist. Deshalb implementieren bekannte Firmen strenge Maßnahmen, um die Lieferanten und die Herkunft des Squalens zu kontrollieren. Der Verbraucher und die Verbraucherin können allerdings aufgrund von fehlenden Kennzeichnungsnormen in

---

<sup>31</sup> Vgl. The hideous price of beauty: cosmetics industry drives deep-sea shark extinctions. BLOOM. 2012. online: <http://www.bloomassociation.org/en/the-hideous-price-of-beauty/> [07.08.2022].

<sup>32</sup> Vgl. Roth, Annie. 2018.

<sup>33</sup> Vgl. The hideous price of beauty: cosmetics industry drives deep-sea shark extinctions. BLOOM. 2012. online: <http://www.bloomassociation.org/en/the-hideous-price-of-beauty/> [07.08.2022].

<sup>34</sup> Vgl. Smith, Jeremy. EU wants to cut quotas to protect deep sea fish. Reuters. 2008. online: <https://www.reuters.com/article/us-eu-fishing-deepsea/eu-wants-to-cut-quotas-to-protect-deep-sea-fish-idUSTRE4905G020081001> [07.08.2022].

der EU nicht die Herkunft des Squalens unterscheiden, da keine Angaben gemacht werden müssen, ob es sich dabei um tierisch oder pflanzlich gewonnenes Squalen handelt.<sup>35</sup>

Die gezielte Befischung der Industriefischerei auf Tiefseehaie hat schon zu einem drastischen Rückgang der Tiefseehaipopulationen geführt. Besonders diese Arten leiden darunter, weil sie durch ihre hohe Langlebigkeit nur langsam wachsen und sich unregelmäßig fortpflanzen. 26 von 60 Haiarten, die gejagt werden, um Squalen zu erhalten, werden von der Weltnaturschutzunion als gefährdet eingestuft. Jedoch kann man die genauen Folgen, die mit dieser Ausrottung zusammenhängen, noch nicht genau einschätzen.<sup>36</sup>

### **3.1.2 Squalen in der Pharmakologie**

In der Pharmazie wird das Lipid Squalen als Adjuvans eingesetzt. Das Wort Adjuvanzien kommt von dem lateinischen Wort „adiuvare“, was übersetzt so viel wie helfen oder unterstützen bedeutet. Sie sind Wirkverstärker für Impfstoffe, die als Zusatzstoff die antigenspezifische Immunantwort verstärken oder auch die Richtung der Immunantwort beeinflussen können. Adjuvanzien umfassen Substanzen aus verschiedenen Stoffklassen (z.B. unlösliche Aluminiumsalze, Öl-in-Wasser-Emulsionen z.B. Squalen).<sup>37</sup> Sie sorgen dafür, dass mehr immunkompetente Zellen zu der Injektionsstelle wandern. Diese können die Antigene effizienter aufnehmen und zu benachbarten Lymphknoten transportieren. Die Folge ist eine verstärkte Immunantwort, weil auf diese Weise mehr T-Zellen und B-Zellen aktiviert werden und somit auch die Antikörperproduktion ansteigt. Zusätzlich sind durch die Verwendung von Adjuvanzien auch kleine Mengen an Antigen pro Impfdosis ausreichend. Aus einzelnen Antigen-Untereinheiten bestehende Totimpfstoffe oder andere Vakzine können überhaupt erst durch die Zugabe von Adjuvanzien eine ausreichend starke

---

<sup>35</sup> Vgl. The hideous price of beauty: cosmetics industry drives deep-sea shark extinctions. BLOOM. 2012. online: <http://www.bloomassociation.org/en/the-hideous-price-of-beauty/> [07.08.2022].

<sup>36</sup> Vgl. Roth, Annie. 2018.

<sup>37</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard: Zusammensetzung und Wirkmechanismen von Adjuvanzien in zugelassenen viralen Impfstoffen. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 4. 2019. online: [https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2019\\_04\\_Wagner.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2019_04_Wagner.pdf?__blob=publicationFile) S. 462. [09.08.2022].

Immunantwort auslösen.<sup>38</sup> Dies ist vor allem bei pandemischen Influenzaimpfstoffen entscheidend: So können innerhalb von kurzer Zeit viele Impfstoffdosen für große Teile der Bevölkerung hergestellt werden.<sup>39</sup> Außerdem ist ein weiterer Aspekt die Verbreiterung der Immunantwort. Das bedeutet, dass Patienten auch automatisch einen verbesserten Schutz für neu gebildete Varianten der gleichen Influenzaviren haben.<sup>40</sup>

Eine neuere Art von Adjuvans ist die Öl-in-Wasser-Emulsion, die erst seit den 1990er-Jahren zugelassen ist. Davor wurden in Humanimpfstoffen, beispielsweise die Aluminiumsalze (Alum) als Adjuvanzien genutzt. Öl-in-Wasser-Emulsionen fanden erst Anwendung in der Humanmedizin, als man anstelle von Mineralölen Squalen für die Herstellung von Emulsionen nutzt. Squalen ist ein vollständig metabolisierbares Lipid und ist daher besser einsetzbar im Gegensatz zu Mineralölen, die zu Abszessen führten und nur schlecht metabolisierbar waren.<sup>41</sup> In reiner Form hat Squalen keine adjuvanten Eigenschaften, erst wenn man seine Emulsionen mit Tensiden zusammenfügt, hat das Gemisch einen verstärkenden Effekt auf die Immunantwort.<sup>42</sup> Die Wirksamkeit von squalenhaltigen Adjuvanzien ist davon abhängig, ob die Emulsion im Wasser als kleine Lipidtröpfchen vorkommt. Wirkungslos hingegen wäre eine reine Mischung von Squalen in Wasser.<sup>43</sup>

Das mittlerweile am häufigsten eingesetzte Adjuvans ist MF59<sup>®</sup> von Novartis, welches biokompatibles Squalen enthält. Verwendung findet MF59<sup>®</sup> in dem Influenzaimpfstoff von Flud<sup>®</sup> der jährlich gegen die Grippe eingesetzt wird.<sup>44</sup> MF59<sup>®</sup> besteht aus: 9,75mg Squalen, 1,175mg Polysorbat 80 (Tween 80), 1,175mg Trioleat 85.<sup>45</sup> Das Einsetzen dieses Impfstoffverstärkers hat die Wirkung, dass Makrophagen und dendritische Zellen das Antigen effizienter aufnehmen. Dadurch kommt es zu einer verstärkten Aktivierung der

---

<sup>38</sup> Vgl. Schuster, Nicole: Adjuvanzien. Booster für die Impfung. PZ-Pharmazeutische Zeitung – Die Zeitschrift der deutschen Apotheker. 2017. online: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/ausgabe-132017/booster-fuer-die-impfung/> [09.08.2022].

<sup>39</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard. 2019. S. 463.

<sup>40</sup> Vgl. Schuster, Nicole. 2017.

<sup>41</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard. 2019. S. 466.

<sup>42</sup> Vgl. Sanina, Nina: Vaccine Adjuvants Derived from Marine Organisms. Biomolecules. 2019. online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723903/> S. 2. [09.08.2022].

<sup>43</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard. 2019. S. 464.

<sup>44</sup> Vgl. Sanina, Nina. 2019. S. 3.

<sup>45</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard. 2019. S. 466.

T-Zellen und B-Zellen, die wiederum dafür sorgen, dass Antikörper in größeren Mengen produziert werden.<sup>46</sup>

Ein ähnlicher Wirkungsmechanismus hat das ebenfalls auf Squalen basierende Adjuvans System 03 (AS03). AS03 besteht aus 10,68mg Squalen, 4,86mg Polysorbat 80 und 11,86mg Alpha-Tocopherol.<sup>47</sup> Es stimuliert Zytokine, Monozyten und Makrophagen und sorgt somit für eine verstärkte Antigenpräsentation und Anregung der T-Zellen und B-Zellen.<sup>48</sup>

Die Pharmafirmen Sanofi und GSK (Glaxo Smith Kline) haben einen Covid-19-Impfstoff entwickelt, der das Adjuvans AS03 enthält. Dieser Impfstoff wurde im November 2022 in Europa zugelassen und wird zur Auffrischungsimpfung eingesetzt.<sup>49</sup>

### 3.2 Genomsequenzierung

Erstmals ist es Forschern und Forscherinnen gelungen, das gesamte Genom eines Weißen Hais zu sequenzieren und zu entschlüsseln. Die aus ersten Analysen gewonnenen Erkenntnisse könnten eine wichtige Rolle für die medizinische Forschung spielen und daher sind Forscher und Forscherinnen bereits dabei, die genetischen Besonderheiten des Hais in die Humanmedizin einzubringen.<sup>50</sup>

Im Vergleich zum menschlichen Genom ist das des Hais ausgesprochen umfangreich und eineinhalbmal so groß. In dem sequenzierten Genom wurden viele genetische Veränderungen bei den Erbanlagen gefunden, welche das Genom des Menschen nicht aufweist. Diese Veränderungen sind für die DNA-Reparatur und die Toleranz gegenüber genetischen Schäden notwendig, helfen aber somit auch bei der Aufrechterhaltung der

---

<sup>46</sup> Vgl. Hüttemann, Daniela: Grippeimpfstoffe. Flud Tetra erhält EU-Zulassung. PZ-Pharmazeutische Zeitung – Die Zeitschrift der deutschen Apotheker. 2020. online: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/flud-tetra-erhaelt-eu-zulassung-118109/> [09.08.2022].

<sup>47</sup> Vgl. Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard. 2019. S. 466.

<sup>48</sup> Vgl. Schuster, Nicole. 2017.

<sup>49</sup> Vgl. Anhang I. Zusammenfassung der Merkmale des Arzneimittels. European Medicines Agency (EMA). Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/vidprevtyn-beta-epar-product-information\\_de.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/vidprevtyn-beta-epar-product-information_de.pdf) S. 2. [21.12.2022].

<sup>50</sup> Vgl. Vieweg, Martin: Haigenom mit Potenzial für die Medizin. wissenschaft.de. 2019. online: <https://www.wissenschaft.de/gesundheit-medizin/haigenom-mit-potenzial-fuer-die-medizin/#:~:text=Ein%20Promi%20hat%20seinen%20genetischen,medizinische%20Forschung%20interessant%20sein%20k%C3%B6nnten> [04.06.2022].



Genomstabilität. Beim Menschen ist dagegen die Genominstabilität verantwortlich für Krebserkrankungen und altersbedingte Krankheiten. Aber nicht nur die adaptive Veränderung der Genomstabilitätsgene sind für die Genomstabilität mitverantwortlich, sondern auch die Tatsache, dass das Hai-genom mit mehreren dieser Gene angereichert ist. Diese Vorteile könnten sich unter anderem in dem großen Körperbau und in der langen Lebensdauer widerspiegeln.<sup>51</sup>

Haie sind außerdem für ihre Fähigkeit zur schnellen Wundheilung bekannt. Die Grundlage dieser physiologischen Besonderheit wurde ebenfalls in der evolutionären Anpassung von Erbanlagen, die mit der Wundheilung und der Blutgerinnung zusammenhängen, entdeckt. Diese positive Selektion und Anreicherung des Gengehalts sind mit dem grundlegendsten Prinzip der Wundheilung verbunden und lassen daher auch große Wunden schnell und effizient heilen.<sup>52</sup>

Die Natur hat raffinierte Strategien entwickelt, um die Stabilität des Erbgutes über lange Zeit zu erhalten, die auch gute Anwendungen in der Humanmedizin hätten; hierfür müsste man herausfinden, wie diese Prozesse ablaufen. Durch die Erforschung des Hai-genoms hat die Medizin viele wichtige Informationen erhalten, die dazu beitragen könnten, menschliche Krankheiten zu bekämpfen und deren Therapien zu verbessern.<sup>53</sup>

### **3.3 Antikörper von Haien als Vorbild für humane Antikörper**

In der Humanmedizin spielen heutzutage gentechnisch hergestellte Antikörper eine besondere Rolle. Sie finden zunehmend ihre Anwendung in der Krebstherapie, der Krebsdiagnostik und bei der Behandlung von Autoimmunerkrankungen, wie z.B. Multiple Sklerose, rheumatoide Arthritis oder bei Viruserkrankungen. Diese Antikörper erkennen spezifische Strukturen auf der Oberfläche von Bakterien, Viren oder Krebszellen. Jedoch ist die Stabilität der Antikörper ein wichtiger Faktor. Diese Stabilität

---

<sup>51</sup> Vgl. Marra, Nicholas J./et al.: White shark genome reveals ancient elasmobranch adaptations associated with wound healing and the maintenance of genome stability. PNAS. 2019. online: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1819778116> S. 4446. [04.06.2022].

<sup>52</sup> Vgl. Papadopoulos, Loukia: Genom des Weißen Hais entschlüsselt, enthüllt Geheimnisse der Langlebigkeit. wissenschaft-x.com. 2019. online: <https://www.wissenschaft-x.com/great-white-shark-genome-decoded-revealing-longevity-secrets> [04.06.2022].

<sup>53</sup> Vgl. Marra, Nicholas J./et al. 2019. S 4453.

muss vor allem während der Produktion, der Lagerung und bei dem therapeutischen Einsatz aufrechterhalten werden. Hier bietet der Haifischantikörper IgNAR (Immunoglobulin New Antigen Receptor) neue Ansätze für die gentechnische Herstellung.<sup>54</sup>

Wie schon in dem Kapitel zur Osmoregulation beschrieben, reichert der Hai sein Blut mit Harnstoff an, um dem osmotischen Wasserverlust entgegenzuwirken. Allerdings denaturieren Proteine, wenn sie in Berührung mit Harnstoff gelangen und nicht ausreichend stabil sind. Daraus haben Forscher und Forscherinnen gefolgert, dass Hai-Antikörper aufgrund des hohen Harnstoffgehalts im Blut strukturelle Eigenschaften besitzen müssen, die die Antikörper besonders widerstandsfähig machen.<sup>55</sup> Auch beim Erhitzen reagieren sie andersartig als die Antikörper beim Menschen. Dabei zerfällt zwar zunächst die räumliche Struktur der Hai-Antikörper, aber diese sind sofort wieder einsatzbereit, sobald sie abgekühlt sind.<sup>56</sup>

Diese besonderen Eigenschaften wurden durch verschiedene Strukturanalysen und biochemischen Untersuchungen von IgNAR bestätigt. Die hohe Stabilität liegt an einer weiteren Salzbrücke (elektrostatische Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken) zwischen für die Struktur wichtigen Aminosäureketten und einem großen unpolaren Kern (Aminosäuren mit hydrophoben Seitenketten) der Immunglobulin-Faltung im Hai-Antikörper.<sup>57</sup>

Die Transplantation dieser beiden Stabilitätsfaktoren in einen menschlichen Antikörper machten es nicht nur deutlich stabiler, sondern erhöhten auch den Schmelzpunkt um zehn Grad im Vergleich zum ursprünglichen Molekül. Durch diese neuen Eigenschaften können die Antikörper länger im menschlichen Organismus aktiv bleiben und so ihr

---

<sup>54</sup> Vgl. Lernen vom Haifisch - Optimierung menschlicher Antikörper. Helmholtz Zentrum München. 2014. online: <https://www.helmholtz-munich.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilungnews/article/24207/index.html> [24.08.2022].

<sup>55</sup> Vgl. Feige, Matthias J./et al.: The structural analysis of shark IgNAR antibodies reveals evolutionary principles of immunoglobulins. PNAS. 2014. online: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1321502111> [24.08.2022].

<sup>56</sup> Vgl. „Hai-Antikörper sind genial!“. „Pro“ Magazin. 2020. online: <https://www.merckgroup.com/de/pro/articles/shark-antibodies-are-great.html> [24.08.2022].

<sup>57</sup> Vgl. Ottleben, Dr. Ilka: Therapeutische Antikörper. Haifisch-Antikörper inspirieren Optimierung menschlicher Antikörper. Laborpraxis. 2014. online: <https://www.laborpraxis.vogel.de/haifisch-antikoerper-inspirieren-optimierung-menschlicher-antikoerper-a-446073/> [22.01.2023].

ganzes therapeutisches Potenzial nutzen. Die höhere Stabilität führte auch dazu, dass die veränderten Antikörper, die normalerweise in Säugetierzellen produziert werden, in einer deutlich höheren Anzahl synthetisiert werden. Diese Erkenntnisse sollen dabei helfen, den Aufbau von therapeutischen und diagnostischen Antikörpern zu verbessern. Zusätzliche positive Effekte dieser Antikörper sollen die einfachere Herstellung und bessere Lagerung sein. Ergänzend, um ihr ganzes therapeutisches Potenzial nutzen zu können, sollen sie im menschlichen Organismus länger aktiv bleiben.<sup>58</sup>

## 4 Die Wichtigkeit von Haien im Ökosystem

Haie bilden die Spitze der marinen Nahrungskette und sind von hoher Notwendigkeit, um das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Arten im Meer aufrechtzuerhalten. Ihre Fressgewohnheiten bilden die Grundlage für eine funktionierende Ökologie im Meer und sind gleichzusetzen mit einer effizienten Strategie, die sich seit über 400 Millionen Jahren entwickelte. Ihre Beutetiere wählen Haie nicht willkürlich aus, sondern sie fressen nur alte, kranke, verletzte oder schwache Tiere. Des Weiteren beugt der Hai durch das Fressen von Aas dem Ausbreiten von Krankheiten vor, gleichermaßen verhindert er zusätzlich ein unkontrolliertes Vermehren der Beutetiere. Somit sind sie die Regulatoren in den Weltmeeren.<sup>59</sup>

Durch die oben angeführten Gründe qualifiziert sich der Hai als eine sogenannte Schlüsselspezies: Dies sind Tierarten, die eine entscheidende Rolle in ihrem jeweiligen Ökosystem spielen. Das Fehlen solcher Arten kann zu drastischen Veränderungen oder zum Verschwinden dieses Ökosystems führen.<sup>60</sup>

Dieses oben genannte Phänomen wird in vielen Studien behandelt und untersucht. Eine viermonatige Studie von der University of Western Australia beobachtete die Entwicklung von Korallenriffen, die zwischen den Städten Broome an der Westküste und Cairns an der Ostküste in Australien liegen. In Korallenriffen mit einer größeren Anzahl

---

<sup>58</sup> Vgl. Feige, Matthias J./et al. 2014. S. 8159.

<sup>59</sup> Vgl. Kemper, Christian: Die Rolle des Hais im Ökosystem. Aktion Tier. 2015. online: <https://www.aktiontier.org/artikel/die-rolle-des-hais-im-oekosystem> [24.09.2022].

<sup>60</sup> Vgl. Mckeever, Amy: Schlüsselspezies? Wie Haie Ökosysteme am Leben halten. National Geographic. 2021. online: <https://www.nationalgeographic.de/tiere/2021/08/schluesselspezies-wie-haie-oekosysteme-am-leben-halten> [24.09.2022].

an Haien sind die Korallen gesünder, lautet das veröffentlichte Fazit der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen. Haie regulieren mit ihrem Fressverhalten die anderen Meeresbewohner, weshalb es mehr pflanzenfressende Fische gibt, die Algen fressen. Diese Algen überwuchern sonst die Korallen und erschweren diesen die anschließende Erholung nach einer Korallenbleiche oder anderen schädlichen Einflüssen. Haie spielen somit auch in diesem Ökosystem eine Schlüsselrolle.<sup>61</sup>

## 5 Bedrohung

### 5.1 Haihandel und Haifang als wesentlichste Bedrohung

Haie werden heute auf vielfache Weise bedroht, allerdings sind die zwei häufigsten Todesursachen eine Folge des menschlichen Handelns. Sowohl der kommerzielle Fang von Haien als auch der zufällige Beifang von Fischereien sind für die Mehrzahl der Tode von Haien im Jahr verantwortlich.<sup>62</sup> Gemäß wissenschaftlichen Studien ist bis jetzt noch keine Haiart offiziell als ausgestorben erklärt worden, allerdings sind mehrere Arten ernsthaft gefährdet. Vor allem erkennt man bei regionalen Beständen, dass gewisse Haiarten ganz oder teilweise dezimiert wurden, was darauf schließen lässt, dass auch schon davor ohne unser Wissen ganze Arten verschwunden sein könnten.<sup>63</sup> Es gibt keine zuverlässigen Zahlen was den Haifang und -handel angeht.<sup>64</sup> Experten und Expertinnen sowie anerkannte wissenschaftliche Schätzungen gehen von 100-150 Millionen Haien aus, die vom Menschen jährlich getötet werden.<sup>65</sup> Um globale Zahlen über Haifänge zusammenstellen zu können, ist die konsequente Überwachung von Haifang und -handel dringend erforderlich.<sup>66</sup> Kein anderes wildlebende Tier wird momentan so brutal und in großen Mengen abgeschlachtet wie der Hai.<sup>67</sup>

---

<sup>61</sup> Vgl. Healthy sharks sustain healthy oceans. The University of Western Australia. 2017. online: <https://www.news.uwa.edu.au/archive/201707249790/international/healthy-sharks-sustain-healthy-oceans/> [03.10.2022].

<sup>62</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 113f.

<sup>63</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 85.

<sup>64</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 127.

<sup>65</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 113.

<sup>66</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 127.

<sup>67</sup> Vgl. Kemper, Christian. 2015.

## 5.2 Beifang und Überfischung

An der Überfischung leidet der Hai mehr als andere Tierpopulationen, da diese auch wenn die Bestände geschützt werden, mehrere Jahre brauchen, um sich zu erholen. Das liegt hauptsächlich an der langsamen Vermehrung. Grund dafür sind die späte Geschlechtsreife, die lange Tragezeit und die wenigen Nachkommen, die pro Jahr auf die Welt kommen.<sup>68</sup> Haiarten, die von begrenzten Verbreitungsgebieten, kleinen Populationsgrößen oder von speziellen Habitaten oder Geburtsplätzen betroffen sind, sind besonders gefährdet.<sup>69</sup> Als Räuber stehen Haie an der Spitze der marinen Nahrungskette und sind es somit nicht gewohnt, intensiv bejagt zu werden. Sie können sich an die neuen Bedingungen nicht einfach anpassen, da sie von Natur aus eine geringe natürliche Sterblichkeit gewohnt sind.<sup>70</sup>

Die meisten Haiarten werden nicht direkt befishet, sie landen allerdings als Beifang in den Netzen der Fischer. Fangtechniken wie die Treibnetze, Beutelnetze und Langleinen können Haie und anderen Meeresbewohnern leicht zum Verhängnis werden und dafür sorgen, dass diese zufällig gefangen werden.<sup>71</sup> Die Menge und die Art des Beifangs hängen stark von der angewandten Fangtechnik und den genutzten Fischereigebieten ab. Dies übt einen gewissen Druck auf die Haipopulationen aus. Diese versuchen sich an die neuen Gefahren mittels verkürzten Generationszeiten und höheren Populationszuwachsrate anzupassen. Die Verluste, die durch die lebensbedrohliche Befischung erzielt werden, können aber auch nicht durch eine angepasste Fortpflanzungszeit kompensiert werden. Dafür pflanzt sich der Hai nicht schnell genug fort. Es wird zum Aussterben verschiedener Arten kommen, wenn das direkte oder indirekte Befischen von Haien in Zukunft weiterhin auf einem so hohen Niveau weitergeführt wird.<sup>72</sup>

---

<sup>68</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 123ff.

<sup>69</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 85.

<sup>70</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 123ff.

<sup>71</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 114.

<sup>72</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 82.

## 5.3 Kommerzieller Haifang

Schätzungen ergeben, dass der kommerzielle Haifang 1% der weltweiten Fischfänge ausmacht.<sup>73</sup> Heutzutage nimmt der kommerzielle Haifang vermehrt zu, da Haie wegen ihrer Flossen, ihres Fleisches und des Öls gejagt werden. Auch der Knorpel, die Haut, die Zähne und der Kiefer sind beliebte Produkte und ebenfalls Grund, den Hai zu fangen. Durch verschiedene Maßnahmen im Laufe der Zeit hat sich die Nachfrage der einzelnen Produkte zwar verändert, allerdings ist der Verkauf von Haiflossen ein boomender Handel. Noch nie zuvor war der Bedarf an Flossen so groß wie heute und die teure Delikatesse ist vor allem im asiatischen Raum sehr beliebt.<sup>74</sup>

### 5.3.1 Finning

Unter dem Begriff „Finning“ versteht man die gezielte, aber illegale Jagd auf die Flossen der Haie, welche dem lebenden Tier meistens an Bord von Schiffen abgeschnitten werden. Danach wird der nun bewegungsunfähige Körper des Hais im Meer entsorgt. Dort sinken die Köper zu Boden und der Hai muss qualvoll ersticken. Allerdings gibt es auch das legale „Finning“. Dabei werden Haie erlaubterweise gefangen und im Ganzen zum Hafen zurückgebracht. Bei dieser Methode wird der Hai aber nicht nur auf Grund seiner Flossen getötet, sondern auch sein Fleisch, Haut, Zähne und Lebertran werden genutzt.<sup>75</sup>

Weltweit zählen Haiflossen zu den lukrativsten Essprodukten und damit sind sie das Wertvollste am Hai. Der Preis der Flossen wird durch die Nachfrage bestimmt und kann im Vergleich zu Haifleisch, welches nur wenige Dollar wert ist, in Hongkong bis zu 725 US-\$/kg betragen. Der hohe Wert motiviert global, dass Fischereien gezielt Jagd auf Haiflossen machen. Diese verwerten aber nur die Flossen des Hais und werfen den restlichen Körper ins Meer zurück, um an Bord Platz für lukrativere Fische zu haben.<sup>76</sup>

Aus den Flossen wird das, vor allem im asiatischen Raum, beliebte traditionelle chinesische Gericht Haiflossensuppe zubereitet. Seit dem 2. Jahrhundert vor Christus ist

---

<sup>73</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 81.

<sup>74</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 114.

<sup>75</sup> Vgl. Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean. 2020. S. 350ff.

<sup>76</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 115f.

es für die obere chinesische Gesellschaftsschicht eine Delikatesse.<sup>77</sup> Die Zubereitung ist schwierig und erfolgt in mehreren Schritten, wobei das Endergebnis Fasern sind, die selbst kaum Eigengeschmack und Nährwert haben. Trotzdem wird Haiflossensuppe in der traditionellen chinesischen Heilkunde als Aphrodisiakum und Stärkungsmittel angesehen. Untersuchungen haben hingegen ergeben, dass die Haie durch Verschmutzung und Verunreinigung der Meere stark belastet sind. Die Haiflossen weisen daher einen hohen Gehalt von Schadstoffen und Schwermetallen auf. Zusätzlich steigt die Konzentration von Quecksilber durch das Trocknen der Flossen auf bis zu 15 ppm an und überschreitet damit deutlich die maximale zulässige Grenze von 0,5 ppm. Dadurch kann es der Verzehr von Haiflossen nicht nur gesundheitsschädlich, sondern auch gefährlich sein.<sup>78</sup>

Mittlerweile nimmt die Nachfrage für Haiflossensuppe stetig zu, da es sich nun auch die chinesische Mittelschicht leisten kann. Darüber hinaus steigt die Beliebtheit der Haiflossensuppe auch in anderen Teilen der Welt trotz der Kritik und den zunehmenden Versuchen von westlichen Ländern, das "Finning" zu verbieten.<sup>79</sup> Trotz Bestimmungen und Artenschutzüberlegungen sind weltweit 125 Länder am Handel mit Haiflossen beteiligt. Genaue Daten und Zahlen über den Handel zu erheben ist schwierig, da Informationen lückenhaft oder von manchen Ländern gar nicht angegeben werden.<sup>80</sup>

### **5.3.2 Haifleisch**

Auch wenn die Haiflossen zwar mehr Gewinn bringen, gilt Haifleisch aufgrund seines hohen Eiweißgehaltes in Entwicklungsländern wie Indien, Sri Lanka, Mexiko und in Gebieten in Afrika als eines der Grundnahrungsmittel. Im Westen wurde das Fleisch erst in den letzten Jahren als Nahrungsmittel anerkannt. Auch einige Marketingkampagnen sollten gegen die Abneigung gegenüber Haifleisch ankämpfen.<sup>81</sup> Erst in den 1980er-Jahren wurde Haifleisch mehr zu einer akzeptablen Alternative gegenüber Schwertfisch- und Thunfischfleisch.<sup>82</sup> Mittlerweile wird das Fleisch des Hais auch in Europa verkauft,

---

<sup>77</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 83.

<sup>78</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 117.

<sup>79</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 84.

<sup>80</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 118.

<sup>81</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 119.

<sup>82</sup> Vgl. Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean. 2020. S. 352.

dabei werden im Verkauf oft andere Namen verwendet: In England wird Hai als „Rock Salmon“ (übersetzt als „Felsenlachs“) angeboten. In französischen Supermärkten findet man das Fleisch als „Saumonette“ (übersetzt als „kleiner Lachs“). Und auch in Deutschland nutzen Firmen gezielt die Produktbezeichnungen „Seeaal“ und „Schillerlocke“, um den Verkauf zu steigern.<sup>83</sup> Durch die Tatsache, dass das Haifleisch wenige gesättigte und viele mehrfach ungesättigte Fettsäuren aufweist, wird es gerne als Ersatz für rotes Fleisch genutzt. Davor galt es als minderwertig und ungenießbar, da das Fleisch ohne die richtige Verarbeitungsweise einen strengen Geschmack und Geruch nach Ammoniak bekommt, der durch den hohen Harnstoffgehalt in den Muskeln entsteht.<sup>84</sup> Allerdings ist Haifleisch in der Regel durch die Aufnahme von Beutetieren, die toxische Stoffe aufgenommen haben, mit giftigen Substanzen, unter anderem Quecksilber, kontaminiert. Den Tieren selbst ist die Vergiftung nicht anzumerken, daher kam es schon des Öfteren zu tragischen Vergiftungsunfällen und zu Todesfällen als Vergiftungsfolge.<sup>85</sup>

### **5.3.3 Haileberöl**

Das größte Organ des Hais ist die Leber, die reich an Öl ist und bei manchen Arten bis zu 19,2% deren Körpergewichtes ausmachen kann. 1930 entdeckte man, dass das Öl aus der Leber des Hais reich an Vitamin A ist. Dieses Vitamin ist ein wichtiger Bestandteil für das Wachstum, das Sehvermögen, die Immunabwehr und für die Zellbildung. Seit der Entdeckung der synthetischen Herstellung von Vitamin A spielt das Leberöl als Lebertran für die Versorgung von Vitamin A keine Rolle mehr. Vitamin A kann in großen Mengen und zu einem Bruchteil der Kosten hergestellt werden.<sup>86</sup> Heutzutage findet Haileberöl kaum noch Anwendungen, im Gegenteil zu Squalen.<sup>87</sup>

---

<sup>83</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 82.

<sup>84</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 119.

<sup>85</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 83.

<sup>86</sup> Vgl. Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean. 2020. S. 353f.

<sup>87</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 119.



## 6 Schutzmaßnahmen und Gesetze

### 6.1 Biotechnologische Squalenherstellung

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnt wurde, wird Squalen zwar von allen höheren Lebewesen produziert, hingegen nicht in den Mengen, die von der Kosmetik- und Pharmaindustrie benötigt werden. Geschätzt 3.000 Haie müssen für die Erzeugung einer Tonne Squalen getötet werden. Umweltschutzorganisationen machen deshalb immer wieder darauf aufmerksam, dass dringend an alternativen, nachhaltigen und nicht tierischen Optionen für die Squalenherstellung geforscht werden müsse.<sup>88</sup>

Pflanzliche Ersatzquellen würden zwar, in der Theorie den Hai entlasten, die Nutzung würde allerdings in einem klaren Widerspruch zu der Landwirtschaft stehen. Für die Squalenherstellung könnten Pflanzen, wie zum Beispiel Zuckerrohr, Amaranth oder Olivenbäume eingesetzt werden, welche primär jedoch als Nahrungsmittel genutzt werden sollten. Der Verbrauch dieser Lebensmittel sei weder im Sinne der Verbraucher und Verbraucherinnen, noch ist es eine effiziente Lösung für die Landwirtschafts- und Nahrungsmittelindustrie.<sup>89</sup> Besonders der erheblich geringere Anteil an gewonnenem Squalen - in Olivenöl und Reiskeimöl beträgt die Konzentration weniger als 1%<sup>90</sup> - und der Kostenanstieg um 30% machen diese Methode sehr unattraktiv.<sup>91</sup> Für das Wachstum benötigen die Pflanzen Wasser, Dünger, Pestizide und Ackerland und würden auf diese Weise wichtige Ressourcen in Anspruch nehmen. Außerdem hängt der Anteil und die Qualität des Squalens von vielen Bedingungen ab. Dazu zählen unter anderem eine optimale Temperatur und Feuchtigkeit, aber auch begünstigte Klima- und Bodenbedingungen. Die Pharmaindustrie ist ohne Ausnahmen auf die gleichbleibende

---

<sup>88</sup> Vgl. Walpot, Martin: Impfstoffboost aus dem Labor statt der Haileber. Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB). 2020. online: <https://idw-online.de/de/news755418> [15.08.2022].

<sup>89</sup> Vgl. Walpot, Martin. 2020.

<sup>90</sup> Vgl. Squalen. Spektrum Akademischer Verlag. 2001. online: <https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/squalen/8283> [15.08.2022].

<sup>91</sup> Vgl. Podbregar, Nadja: Impfstoff-Verstärker aus dem Labor statt aus der Haileber. wissenschaft.de. 2020. online: <https://www.wissenschaft.de/gesundheit-medizin/impfstoff-verstaerker-aus-dem-labor-statt-aus-der-haileber/> [15.08.2022].

Menge und Qualität des Squalens angewiesen, weshalb in der Branche keinesfalls auf pflanzliches Squalen umgestiegen werden kann.<sup>92</sup>

Im Zuge der Forschung nach alternativen und umweltschonenden Quellen von Squalen ist das Forschungsteam um Harald Pichler von dem Institut für Molekulare Biotechnologie an der Technischen Universität Graz und vom „Austria Centre of Industrial Biotechnology (ACIB)“ auf einen bestimmten Mikroorganismus gestoßen.<sup>93</sup> Die handelsübliche Bäckerhefe, der Hefestamm *Saccharomyces cerevisiae*, ist bereits in der Lage, Squalen herzustellen, allerdings in nur sehr geringen Mengen. Durch Metabolic Engineering und durch das Einsetzen von verschiedenen biotechnologischen Methoden, konnten bestimmte Stoffwechselwege so moduliert werden, dass die natürliche Squalenproduktion gesteigert werden konnte.<sup>94</sup> Zusätzlich wurde die Synthese von anderen zellulären Lipidverbindungen unterdrückt, weshalb das Squalen einen hohen Reinheitsgrad aufweist.<sup>95</sup> Mittlerweile ist es schon gelungen, mehrere Gramm an reinem Squalen zu gewinnen. Dies ist der Beweis, dass sich diese Prozesse zur Squalenproduktion eignen. Mithilfe von weiterentwickelten Stämmen, an denen momentan geforscht wird, könnte man im großen Maßstab Squalen für die Industrie herstellen und somit alle tierischen und pflanzlichen Quellen vollständig ersetzen.<sup>96</sup>

Anders als bei den pflanzlichen Quellen verbrauchen Mikroorganismen kaum Ressourcen. Durch ihre Anpassungsfähigkeit und das schnelle Wachstum können sie sich rasch vermehren und daher leicht für die Herstellung optimiert werden. Außerdem ernähren sie sich von Kohlenstoffquellen, die billig, nachhaltig und beinahe unerschöpflich sind. Dies können beispielsweise Essensabfälle, Biomasse oder landwirtschaftliche Melasse sein. Wichtig für die Pharmazie ist die gleichbleibende Qualität des Squalens, welche durch die Mikroorganismen gewährleistet ist. So wäre dies die perfekte Lösung, um unsere Umwelt und Tierwelt zu schonen.<sup>97</sup>

---

<sup>92</sup> Vgl. Walpot, Martin. 2020.

<sup>93</sup> Vgl. Walpot, Martin. 2020.

<sup>94</sup> Vgl. Walpot, Martin. 2020.

<sup>95</sup> Vgl. Innovative Squalenherstellung. DBU. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: [https://www.dbu.de/123artikel31961\\_2430.html](https://www.dbu.de/123artikel31961_2430.html) [15.08.2022].

<sup>96</sup> Vgl. Podbregar, Nadja. 2020.

<sup>97</sup> Vgl. Walpot, Martin. 2020.

## 6.2 Gesetze, Aktionspläne und Schutzmaßnahmen

Naturschutzorganisationen wollen ein internationales Handelsverbot für Haiflossen durchsetzen, da der Hai hauptsächlich aufgrund der preislich wertvollen Flossen gejagt wird. Nicht notwendig sei ein Verbot für den generellen Haifang, da viele Gebiete der Welt abhängig von dem eiweißhaltigen Haifleisch sind.<sup>98</sup> Problematisch ist die Tatsache, dass Haipopulationen unter hohem Druck von Fischereien stehen und zudem nicht nachhaltig bewirtschaftet werden.<sup>99</sup>

Auf der 9. CITES-Konferenz (Convention on International Trade in Endangered Species) im Jahre 1994 wurde diese Problematik erstmals angesprochen.<sup>100</sup>

Das Washingtoner Artenschutzübereinkommen CITES hat die Hauptaufgabe den internationalen Handel mit über 5.000 Tier- und 30.000 Pflanzenarten zu kontrollieren. Diese Arten sind entsprechend ihrem Grad der Schutzbedürftigkeit auf drei CITES Anhänge (I, II, III) unterteilt. Appendix I umfasst dabei jene Arten, die am stärksten bedroht sind und folglich ist der kommerzielle internationale Handel mit diesen Arten untersagt. Arten, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vom Aussterben bedroht sind, es aber potenziell werden könnten, werden im Appendix II aufgelistet. In Appendix III können Länder bedrohte Arten unilateral aufnehmen, für deren Schutz sie Unterstützung und Zusammenarbeit von anderen Ländern erbitten wollen.<sup>101</sup>

Als eine Folge der ersten Schutzbemühungen für den Hai, kam es zu zahlreichen Konferenzen zwischen nationalen und internationalen Fischerei- und Umweltorganisationen. Bei der CITES-Konferenz 1997 wurden eine große Anzahl an Beschlüssen gefasst: Daraus hat sich der „International Plan of Action for Sharks“ (IPOS-Sharks) entwickelt.<sup>102</sup> 2002 nahm die Organisation erstmals den Walhai und Riesenhai als Haiarten in den internationalen Schutz mit auf.<sup>103</sup> In Europa sprach sich die

---

<sup>98</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 127.

<sup>99</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 87.

<sup>100</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S.87.

<sup>101</sup> Vgl. Tiere und Pflanzen CITES-gelistet und dokumentenpflichtig. Bundesministerium. Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/naturschutz/artenhandel/liste.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/naturschutz/artenhandel/liste.html) [03.10.2022].

<sup>102</sup> Vgl. Brunnschweiler, Juerg M. 2005. S. 87.

<sup>103</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 130.

Kommission 2003 für ein Verbot des „Finning“ aus. Dies sollte das Abtrennen von Haiflossen auf allen EU-registrierten Schiffen und auf allen Schiffen, die in EU-Gewässern fahren, untersagen. Jedoch wird dringend ein globales Abkommen benötigt, damit auch Haie, die in internationalen Gebieten leben und Grenzen überschwimmen auch geschützt sind. Die FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) hat einen Aktionsplan zum Schutz der Haie entworfen. Jener enthält viele Empfehlungen, welche aber nicht bindend sind.<sup>104</sup> Bei der Konferenz vom 14. November bis zum 25. November 2022 wurde erstmal der Schutz für fast 100 Hai- und Rochenarten beschlossen; darunter 54 Arten aus der Familie der Grundhaie und sechs Arten von Hammerhaien wurden in den Anhang II der CITES aufgenommen. Damit ist der internationale Handel mit den Arten nur noch erlaubt, solange die Bestände keiner Gefährdung ausgesetzt sind. Dieser Beschluss gilt auch als historischer Erfolg für den Schutz der Meere.<sup>105</sup>

Haifang lässt sich nur äußerst schwer kontrollieren. Umso wichtiger ist es, dass Haie gesetzlich geschützt werden und dass wir den verdienten Schutz auch sicherstellen. Um ihre Zukunft zu sichern, müssen wir mehr in die Überwachung, das Management und die Erforschung von Haien investieren.<sup>106</sup>

## **7 Zusammenfassung und Fazit**

Ausgewählte physiologische Eigenschaften des Hais zeigen in seiner über 400 Millionen jährigen Existenz, wie er sich in seiner ökologischen Umwelt angepasst und behauptet hat. Entscheidend dabei ist die sehr effiziente humorale Immunabwehr, die sich insbesondere durch das Immunglobulin IgNAR vom menschlichen Immunsystem unterscheidet. Durch dessen Aufbau und biochemischen Eigenschaften bleibt die Funktion des Immunglobulin IgNAR als Antikörper trotz der hohen Salzkonzentration im

---

<sup>104</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 129.

<sup>105</sup> Vgl. CITES-Konferenz in Panama endete mit Schutzpaket für Haie. Salzburger Nachrichten. 2022. online: <https://www.sn.at/panorama/international/cites-konferenz-in-panama-endete-mit-schutzpaket-fuer-haie-130337269> [22.01.2023].

<sup>106</sup> Vgl. Carwardine, Mark. 2005. S. 130.

Blut erhalten. Das Immunglobulin dient auch aufgrund seiner Struktur und Stabilität als Grundlage für die gentechnologische Entwicklung neuer humaner Antikörper.

Die erhöhte Stabilität des Immunglobulins IgNAR wird wegen des hohen Harnstoffgehaltes im Blut benötigt, da die Antikörper sonst denaturieren würden. Der Hai benötigt allerdings den hohen Harnstoffgehalt für die Osmoregulation. Das Stoffwechselprodukt Harnstoff wird dabei als Osmolyt genutzt, damit sich der Hai an die Ionenkonzentrationen des Meerwassers anpassen kann.

Die Leber, als größte Drüse des Verdauungstraktes des Hais, ist ebenfalls eine anatomische Besonderheit. Sie ist neben den leberspezifischen Stoffwechselfunktionen für den Auftrieb und für die Energieversorgung bei großen Wanderungen zuständig. Verantwortlich hierfür ist das in der Leber gebildete und gespeicherte Lipid Squalen. Für die Kosmetik- und pharmazeutische Industrie ist Squalen von großer Bedeutung. Mit seinen feuchtigkeitsspendenden und antioxidierenden Eigenschaften wird es in Salben, Cremes und Lotions verwendet. Als Adjuvans wird es zur Wirkverstärkung von Impfstoffen eingesetzt.

Außerdem hat die Sequenzierung des Genoms beim Weißen Hai zu neuen Erkenntnissen über seine Genetik und in diesem Zusammenhang auch über besondere physiologische Eigenschaften, wie zum Beispiel die schnelle Wundheilung geführt. Weitere Erkenntnisse für die Humanmedizin sind zukünftig zu erwarten.

Haie sind für das Ökosystem im Meer unverzichtbar. Sie sorgen nicht nur für gesunde Fischpopulationen, sondern schützen auch die ökologisch sehr wichtigen Korallenriffe vor schädlichen Einflüssen. Durch den Fischfang, den Handel mit Haifleisch, insbesondere mit den Flossen und durch die kommerzielle Nutzung von Squalen, sind Haie sehr gefährdet. Um die Haipopulationen zu schützen, werden verschiedene Maßnahmen ergriffen:

Für das besonders wertvolle Squalen wird nach alternativen Quellen gesucht. Hier sind erste erfolgversprechende Ergebnisse in der Biotechnologie zu nennen, bei der Mikroorganismen als Ersatz für die Haileber verwendet werden.

Des Weiteren werden auf nationaler und internationaler Ebene Schutzmaßnahmen seit den 1990er- Jahren beschlossen. Hier ist insbesondere das Washingtoner Artenschutzübereinkommen CITES zu nennen, das im Jahre 2022 große Fortschritte für den Haischutz erzielt hat.

Der Hai hat mit seinen anatomischen und physiologischen Eigenschaften wichtige Entwicklungen in der Humanmedizin, in der Pharmazie und in der Kosmetikindustrie möglich gemacht. Auch ist der Hai hinsichtlich zukünftiger medizinischer Forschungen von großer Relevanz und daher unbedingt schützenswert. Aufklärungsprogramme und Bildung sollten über die Wichtigkeit des Hais für die Forschung und für das Ökosystem Meer informieren. Internationale und nationale Schutzorganisationen und Maßnahmen sind für die Reduzierung des kommerziellen Haifangs unverzichtbar, um den Hai vor dem Aussterben zu bewahren.

Diese Arbeit behandelt nur einige wenige anatomische und physiologische Eigenschaften von Haien, die in der zukünftigen Forschung relevant sein könnten. Allerdings ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass es noch viele andere Besonderheiten von Haien gibt, die Relevanz und Wichtigkeit in der Humanmedizin oder Pharmazie bekommen könnten. Durch vermehrtes Interesse und Studien an diesen Tieren ist es möglich noch zu weiteren Erkenntnissen zu kommen. Vor allem neue Entdeckungen in dem Bereich des Immunsystems könnten für die Humanmedizin von Bedeutung sein. Auch könnten zukünftig weitere Methoden für die biotechnologische Squalenherstellung gefunden werden, die somit den Hai schützen könnten.

# Literaturverzeichnis

## Literatur

Abel, Daniel C. / Grubbs, R. Dean: Shark Biology and Conservation. Essentials for educators, students and enthusiasts. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2020.

Brunnschweiler, Juerg M.: Was Haie sind. Aspekte der Knorpelfischbiologie. Göttingen: Cuvillier Verlag. 2005.

Carrier, Jeffrey C./ Musick, John A./ Heithaus, Michael R.: Biology of Sharks and Their Relatives. Florida: CRC Press LLC. 2004.

Carwardine, Mark: Haie. Bielefeld: Delius Klasing Verlag. 2005.

Koolman, Jan/Röhm, Klaus-Heinrich: Taschenatlas. Biochemie des Menschen. 5. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 2019.

Mojetta, Angelo: Haie. Biografie eines Räubers. Hamburg: Jahr Verlag. 1997.

Smith, Sylvia L./ Sim, Robert B./ Flajnik, Martin F.: Immunobiology of the Shark. Florida: CRC Press. 2015.

## Onlinequellen

Anhang I. Zusammenfassung der Merkmale des Arzneimittels. European Medicines Agency (EMA). Veröffentlichungsdatum unbekannt.  
online: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/vidprevtyn-beta-epar-product-information\\_de.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/vidprevtyn-beta-epar-product-information_de.pdf)

CITES-Konferenz in Panama endete mit Schutzpaket für Haie. Salzburger Nachrichten. 2022. online: <https://www.sn.at/panorama/international/cites-konferenz-in-panama-endete-mit-schutzpaket-fuer-haie-130337269>

Feige, Matthias J./et al.: The structural analysis of shark IgNAR antibodies reveals evolutionary principles of immunoglobulins. PNAS. 2014.  
online: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1321502111>

Hai-Antikörper sind genial!“. „Pro“ Magazin. 2020.  
online: <https://www.merckgroup.com/de/pro/articles/shark-antibodies-are-great.html>

Healthy sharks sustain healthy oceans. The University of Western Australia. 2017.  
online: <https://www.news.uwa.edu.au/archive/201707249790/international/healthy-sharks-sustain-healthy-oceans/>

Hüttemann, Daniela: Grippeimpfstoffe. Flud Tetra erhält EU-Zulassung. PZ-Pharmazeutische Zeitung – Die Zeitschrift der deutschen Apotheker. 2020.  
online: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/flud-tetra-erhaelt-eu-zulassung-118109/>

Immunologische Besonderheiten von Knorpelfischen - mögliche Perspektiven für Immuntherapie. Vetphysiol. 2014.  
online: <http://www.wiki.vetphysiol.hu/Knorpelfische>

Innovative Squalenherstellung. DBU. Veröffentlichungsdatum unbekannt.  
online: [https://www.dbu.de/123artikel31961\\_2430.html](https://www.dbu.de/123artikel31961_2430.html)

Kemper, Christian: Die Rolle des Hais im Ökosystem. Aktion Tier. 2015.  
online: <https://www.aktiontier.org/artikel/die-rolle-des-hais-im-oekosystem>

Lernen vom Haifisch - Optimierung menschlicher Antikörper. Helmholtz Zentrum München. 2014. online: <https://www.helmholtz-munich.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilungnews/article/24207/index.html>

Marra, Nicholas J./et al.: White shark genome reveals ancient elasmobranch adaptations associated with wound healing and the maintenance of genome stability. PNAS. 2019. online: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1819778116>

Mckeever, Amy: Schlüsselspezies? Wie Haie Ökosysteme am Leben halten. National Geographic. 2021.  
online: <https://www.nationalgeographic.de/tiere/2021/08/schluesselspezies-wie-haie-oekosysteme-am-leben-halten>

Nolding, Jana/ Grotjohann, Norbert: Haie. Ein Jäger wird zum Gejagten. BU-praktische. 2019.  
online: <https://www.bu-praktisch.de/index.php/bupraktisch/article/view/1199/1277>

Osmoregulation. StudySmarter. Veröffentlichungsdatum unbekannt.  
online: <https://www.studysmarter.de/schule/biologie/oekologie/osmoregulation/>

Ottleben, Dr. Ilka: Therapeutische Antikörper. Haifisch-Antikörper inspirieren Optimierung menschlicher Antikörper. Laborpraxis. 2014.  
online: <https://www.laborpraxis.vogel.de/haifisch-antikoerper-inspirieren-optimierung-menschlicher-antikoerper-a-446073/>

Papadopoulos, Loukia: Genom des Weißen Hais entschlüsselt, enthüllt Geheimnisse der Langlebigkeit. wissenschaft-x.com. 2019.  
online: <https://www.wissenschaft-x.com/great-white-shark-genome-decoded-revealing-longevity-secrets>



Podbregar, Nadja: Impfstoff-Verstärker aus dem Labor statt aus der Haileber. wissenschaft.de. 2020. online: <https://www.wissenschaft.de/gesundheitsmedizin/impfstoff-verstaerker-aus-dem-labor-statt-aus-der-haileber/>

Raye, Gen Del /et al.: Travelling light. White sharks (*Carcharodon carcharias*) rely on body lipid stores to power ocean-basin scale migration. The Royal Society Publishing. 2013. online: <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rspb.2013.0836>

Roth, Annie: Sonnenmilch & Co: Viele Kosmetika enthalten Öl aus Hailebern. National Geographic. 2018. online: <https://www.nationalgeographic.de/tiere/2018/07/sonnenmilch-co-viele-kosmetika-enthalten-oel-aus-hailebern>

Sanina, Nina: Vaccine Adjuvants Derived from Marine Organisms. Biomolecules. 2019. online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723903/>

Sanina, Nina: Vaccine Adjuvants Derived from Marine Organisms. Biomolecules. 2019. online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6723903/>

Schuster, Nicole: Adjuvanzen. Booster für die Impfung. PZ-Pharmazeutische Zeitung – Die Zeitschrift der deutschen Apotheker. 2017. online: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/ausgabe-132017/booster-fuer-die-impfung/>

Smith, Jeremy. EU wants to cut quotas to protect deep sea fish. Reuters. 2008. online: <https://www.reuters.com/article/us-eu-fishing-deepsea/eu-wants-to-cut-quotas-to-protect-deep-sea-fish-idUSTRE4905G020081001>

Squalen. Chemie.de. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: <https://www.chemie.de/lexikon/Squalen.html>

Squalen. Psiram.com. Veröffentlichungsdatum unbekannt. online: [https://www.psiram.com/de/index.php?title=Squalen&mobileaction=toggle\\_view\\_mobile](https://www.psiram.com/de/index.php?title=Squalen&mobileaction=toggle_view_mobile)

Squalen. Spektrum Akademischer Verlag. 2001. online: <https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/squalen/8283>

Szostak, Wiktor B./ Szostak-Wegierek, Dorota. Przegląd Lekarski: Health properties of shark oil. PubMed. 2006. online: [https://www.researchgate.net/publication/6714107\\_Health\\_properties\\_of\\_shark\\_oil](https://www.researchgate.net/publication/6714107_Health_properties_of_shark_oil)

The hideous price of beauty: cosmetics industry drives deep-sea shark extinctions. BLOOM. 2012. online: <http://www.bloomassociation.org/en/the-hideous-price-of-beauty/>

Tiere und Pflanzen CITES-gelistet und dokumentenpflichtig. Bundesministerium.  
Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

Veröffentlichungsdatum unbekannt. online:

[https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/naturschutz/artenhandel/liste.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/naturschutz/artenhandel/liste.html)

Vieweg, Martin: Haigenom mit Potenzial für die Medizin. wissenschaft.de. 2019.

online: <https://www.wissenschaft.de/gesundheits-medizin/haigenom-mit-potenzial-fuer-die->

[medizin/#:~:text=Ein%20Promi%20hat%20seinen%20genetischen,medizinische%20Forschung%20interessant%20sein%20k%C3%B6nnten](https://www.wissenschaft.de/gesundheits-medizin/haigenom-mit-potenzial-fuer-die-medizin/#:~:text=Ein%20Promi%20hat%20seinen%20genetischen,medizinische%20Forschung%20interessant%20sein%20k%C3%B6nnten)

Wagner, Ralf/Hildt, Eberhard: Zusammensetzung und Wirkmechanismen von

Adjuvanzen in zugelassenen viralen Impfstoffen. Bundesgesundheitsblatt-

Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 4. 2019. online:

[https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2019\\_04\\_Wagner.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Bundesgesundheitsblatt/Downloads/2019_04_Wagner.pdf?__blob=publicationFile)

Walpot, Martin: Impfstoffboost aus dem Labor statt der Haileber. Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB). 2020. online: <https://idw-online.de/de/news755418>