

Gymnasium Neusiedl
Bundeschulstraße 3
7100 Neusiedl am See

VORWISSENSCHAFTLICHE ARBEIT

Ausgewählte anthropogene Einflüsse auf
Korallenriffe am Beispiel des Great Barrier Reefs

Verfasserin:

Sissi Marlene Sieben

Neusiedl am See, März 2022

Klasse: 8B

Schuljahr: 2021/22

Betreuer: Mag. Andrea Horvath

Abstract

Korallenriffe gehören zu den bedeutendsten Ökosystemen der Erde. Sie stellen nicht nur für Millionen marine Lebewesen einen unverzichtbaren Lebensraum dar, sondern dienen auch dem Menschen als wichtige Nahrungs- und Einnahmequelle.

Doch mit dem Zeitalter des Menschen, dem Anthropozän, gehen auch zahlreiche Bedrohungen der Riffe einher. Wissenschaftler rechnen mit dem baldigen Aussterben aller Korallen, wenn keine Gegen- und Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Sowohl der Klimawandel als auch lokale Problematiken haben drastische Auswirkungen auf die Gesundheit des Ökosystems.

Im Zuge der Erläuterung zahlreicher anthropogener Einflüsse, wird auf die biologischen, geografischen und geschichtlichen Aspekte der Riffe eingegangen. Die folgende Arbeit legt in diesem Zusammenhang besonderes Augenmerk auf das größte Barriereriff der Welt, das Great Barrier Reef. So leidet dieses vor allem unter den Folgen des Klimawandels, der Nutzung der Küstengebiete, der Fischerei sowie dem Tourismus. Die Problematik zeigt sich im Rückgang der Korallenriffe durch großflächiges Korallensterben. Doch die australische Regierung setzt sich für den aktiven Riffschutz ein, um das Great Barrier Reef auch für die zukünftigen Generationen zu erhalten. Hierbei zählen vor allem die Korallenzucht und *The Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan* zu den vielversprechendsten Maßnahmen.

Vorwort

Think about this: If water is the blood of our planet flowing through veinous rivers, streams, and into our oceans, what does that make coral? Our heart. We simply cannot survive without our heart; therefore, it's mandatory we heal and protect our coral reefs now.

- Ian Somerhalder

Ich habe schon viele lehrreiche und unvergessliche Momente erlebt. Aber der aufschlussreichste war, als ich während meines Auslandsjahres in Australien zwischen den Korallen des Great Barrier Reefs tauchen durfte. Zuerst fasziniert vom Leben unter dem Meeresspiegel, von dem man an Land nichts mitbekommt, später geschockt, als ich auf verblasste, tote Korallen und kleinste Müllreste aufmerksam gemacht wurde. Egal wie schön es im ersten Moment schien, dem Great Barrier Reef und seinen Bewohnern geht es schlecht und wir Menschen sind nicht unschuldig.

Ich wurde von der Problematik der anthropogenen Einflüsse auf Korallenriffe gefesselt, zum Nachdenken angeregt und inspiriert. Nun habe ich eine ganze Arbeit zu diesem Thema geschrieben. Es war für mich eine Chance, mich noch genauer zu informieren und ich habe jedes Mal aufs Neue etwas dazu gelernt.

In diesem Zuge möchte ich meiner Betreuungslehrerin Mag. Andrea Horvath für die Bereitstellung zahlreicher Bücher und ihre Unterstützung meinen größten Dank aussprechen. Außerdem bedanke ich mich hiermit auch bei meiner Familie, die mir alle Möglichkeiten der Recherche zur Verfügung gestellt und viel Motivation entgegengebracht hat.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Vorwort	3
1 Einleitung	6
2 Ökosystem Korallenriff	7
2.1 Was sind Korallen?	7
2.1.1 Aufbau einer Koralle	7
2.1.2 Fortpflanzung	9
2.1.3 Nahrungs- und Energiequellen.....	11
2.1.4 Symbiose zwischen Koralle und Zooxanthellen	12
2.2 Was ist ein Korallenriff?	13
2.2.1 Entstehung und Wachstum.....	13
2.2.2 Steuerungsfaktoren.....	14
2.2.2.1 Abiotische Steuerungsfaktoren.....	14
2.2.2.2 Biotische Steuerungsfaktoren.....	16
2.2.3 Arten von Korallenriffen	16
2.2.4 Bedeutung für den Menschen	18
3 Das Great Barrier Reef	19
3.1 Entstehung und Geschichte.....	20
3.2 Biodiversität.....	22
3.3 Wert und Nutzen.....	24
4 Anthropogene Einflüsse auf das Great Barrier Reef	25
4.1 Folgen des Klimawandels	25
4.1.1 Erwärmung der Meere	25
4.1.2 Ozeanversauerung	28
4.2 Nutzung der Küstengebiete	29
4.2.1 Sedimentbelastung	29

4.2.2	Eutrophierung.....	30
4.3	Überfischung und destruktive Fischerei	32
4.4	Tourismus.....	34
5	Die Zukunft des Great Barrier Reefs.....	36
5.1	Riffschutz.....	36
5.2	Fortschritte und zukünftige Projekte	37
5.2.1	Korallenzucht	37
5.2.2	The Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan	38
6	Fazit.....	40
7	Verzeichnisse.....	41
7.1	Literaturverzeichnis	41
7.2	Internetquellenverzeichnis	42
7.2.1	Internetquellen mit Autor.....	42
7.2.2	Internetquellen ohne Autor	43
7.3	Abbildungsverzeichnis	48

1 Einleitung

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Vorwissenschaftlichen Arbeit auf Gendering verzichtet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

Wie funktioniert das Ökosystem Korallenriff? Welche Aufgaben hat das Great Barrier Reef als eines der größten Korallenriffe der Welt? Welchen anthropogenen Einflüssen ist es ausgesetzt und wie wirken sich jene auf seine Zukunft aus?

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Antworten auf diese Fragen. So wird anfangs für das Verständnis notwendiges Hintergrundwissen über Korallen und Korallenriffe erläutert und danach auf die wichtigsten Merkmale des Great Barrier Reefs eingegangen, darunter die Historie, die Biodiversität aber auch der Nutzen für den Menschen. Da auch das Great Barrier Reefs unter den Folgen zahlreicher anthropogener Einflüsse leidet, werden im Anschluss die Bedrohungen des Riffs durch den Klimawandel, die übermäßige Nutzung der Küstengebieten, die Fischerei sowie den Tourismus genauer erklärt. Schlussendlich soll die Zukunft des Riffs durch die Nennung aktueller Maßnahmen zum Riffschutz wie beispielsweise der Korallenzucht aufgezeigt werden.

Die Zielsetzung der Arbeit liegt darin, mit Hilfe digitaler als auch schriftlicher Quellen die Bedeutung der Korallenriffe und deren anthropogene Bedrohungen dem Leser zu übermitteln. Das Fundament der Arbeit bilden ausgewählte Literatur sowie Internetquellen, wobei sich der Großteil der Arbeit auf folgende Quellen stützt:

Hutchings, Pat; Kingsford, Mike; Hoegh-Guldberg, Ove: The Great Barrier Reef. Biology, Environment and Management. Collingwood: CSIRO Publishing, 2008.

Van Treek, Peter: Korallenriffe. Lebendige Metropolen im Meer. Darmstadt: WGB (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 2017.

Great Barrier Reef Marine Park Authority: Home. 2022
<https://www.gbrmpa.gov.au> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

2 Ökosystem Korallenriff

Das Ökosystem Korallenriff ist das größte durch Lebewesen geschaffene Ökosystem weltweit.¹ Rund ein Viertel aller marinen Lebewesen kommt in den Riffen vor, weshalb sie auch *Regenwälder der Meere* genannt werden, wobei der Artenreichtum der Korallenriffe gemessen nach den dort vorkommenden Tierstämmen weitaus vielfältiger ist als jener der Regenwälder, bei denen die Diversität ausschließlich von Gliederfüßern, insbesondere Insekten, bestimmt wird.² Doch das Ökosystem Korallenriff stellt nicht nur einen wichtigen Lebensraum für tausende Tier- und Pflanzenarten dar, sondern ist auch für den Menschen von enormer Bedeutung (siehe Kapitel 2.2.4 *Bedeutung für den Menschen*).³

2.1 Was sind Korallen?

Aufgrund ihrer ortsgebundenen Lebensweise und ihrem blumenartigen Aussehen wurde lange gedacht, Korallen seien Pflanzen.⁴ Doch Korallen sind sessil lebende Tiere und werden den Nesseltieren (Cnidaria) zugeordnet.⁵

2.1.1 Aufbau einer Koralle

Es existieren über 6.000 Korallenarten, die sich in ihrer Lebensweise und ihrem Aussehen unterscheiden, doch sich in ihrem Grundaufbau sehr ähneln (siehe Abb. 1).⁶ Auf der Oberfläche eines toten Kalkskelettes haftet eine dünne, lebendige Gewebeschicht (Coenosarc, exothecaler Raum), das eigentliche Tier.

¹ vgl. Umwelt Bundesamt für Mensch und Umwelt: Korallen durch Klimaerwärmung stark gefährdet. 04.10.2012

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/357/publikationen/korallenriffe_durch_klimaerwaermung_stark_gefaehrdet.pdf, S. 1 (letzter Zugriff am 07.07.2021).

² vgl. Hempel, Gotthilf; Bischof, Kai; Hagen, Wilhelm: Faszination Meeresforschung. Ein ökologisches Lesebuch. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017, S. 305.

³ vgl.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/357/publikationen/korallenriffe_durch_klimaerwaermung_stark_gefaehrdet.pdf, S. 1 (letzter Zugriff am 07.07.2021).

⁴ vgl. Goreau, Thomas F.; Goreau, Nora I.; Goreau, Thomas J.: Corals and Coral Reefs. 1979 <https://www.jstor.org/stable/24965267#content> (letzter Zugriff am 07.07.2021).

⁵ vgl. Van Treeck, Peter: Korallenriffe. Lebendige Metropolen im Meer. Darmstadt: WGB (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 2017, S. 19.

⁶ vgl. National Geographic Society: Coral. 13.09.2019

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/coral/> (letzter Zugriff am 28.07.2021).

Eine Koralle ist eine Kolonie aus vielen millimeterkleinen Einzeltieren, sogenannten Polypen, die auf den Korallenkelchen sitzen. Typisch für Nesseltiere besitzen Korallenpolypen einen einfachen Körperbau mit nur einer Körperöffnung (Schlundrohr), die sowohl als Mund zur Nahrungsaufnahme, als auch als After zur Ausscheidung von Exkrementen und Geschlechtsprodukten dient. Im Körper befindet sich ein Magenraum (Gastralraum), dessen Oberfläche durch radial *in den Magen hineinragende Hautlappen*⁷ (Mesenterien) vergrößert wird. Nach außen hin schließt ein Kranz aus Tentakeln an das Schlundrohr an. Diese enthalten Nesselzellen (Cniden) und Nesselkapseln (Nematocysten), die zur Beutejagd genutzt werden (siehe Kapitel 2.1.3 *Nahrungs- und Energiequellen*).⁸ Der Polyp ist über die Theca, das Kalkseptum und die Fußscheibe fest mit dem Kalkskelett verbunden. Zur Stabilisierung bilden sich manchmal eine senkrechte Kalksäule (Columella) und Quersepten (Tabulae oder Dissepimente).⁹ Eine Koralle wächst, indem der Polyp nach unten hin Kalk abscheidet (Coenosteum).¹⁰

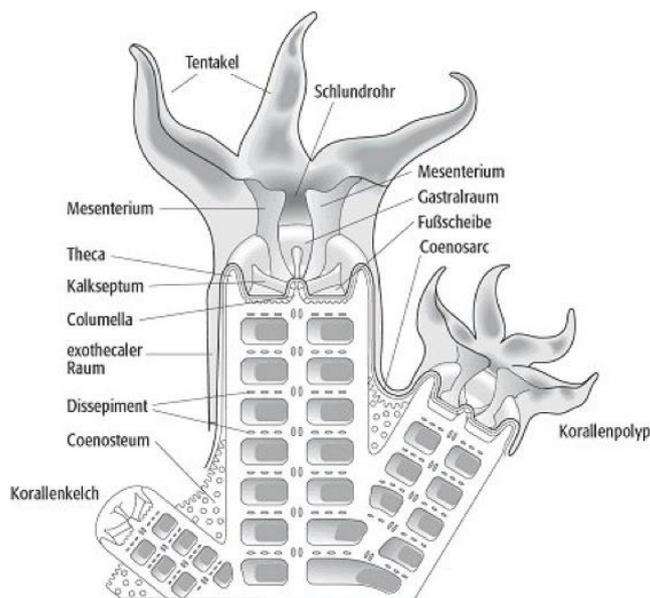


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Steinkorallenpolypen und seines Skelettes¹¹

⁷ Krimmer, Heinz: Netzwerk Korallenriff. Wertvoller als Google, Apple und Co. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, 2017, S. 43.

⁸ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 21f.

⁹ vgl. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Steinkorallen. 1999 <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/steinkorallen/63531> (letzter Zugriff am 28.07.2021).

¹⁰ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 22f.

¹¹ Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Korallen. 2000 <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/korallen/8783> (letzter Zugriff am 28.07.2021).

Korallen gehören zur Untergruppe der Blumentiere (Anthozoa), die sich in zwei große Klassen aufteilen lässt, die Octocorallia und die Hexacorallia. Die beiden unterscheiden sich in der Symmetrie ihrer Mesenterien und Anzahl der Tentakel. So besitzen Arten der Octocorallia acht Mesenterien und Tentakel und jene der Hexacorallia entweder sechs Mesenterien und Tentakel oder ein Vielfaches davon, beispielsweise 12 oder 18 (siehe Abb. 2).¹²

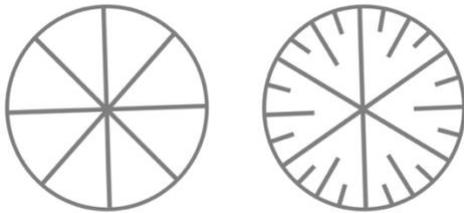


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Septensymmetrie. Octocorallia (links) und Hexacorallia (rechts)¹³

In der Regel sind Octocorallia ahermatypisch (nicht-riffbildend) und Hexacorallia hermatypisch (riffbildend).¹⁴ Wird in der folgenden Arbeit der Begriff „Koralle“ benutzt, bezieht sich dieser auf die der Klasse der Hexacorallia zugehörige hermatypische Steinkoralle, deren Masse rund 90% der Gesamtmasse der Korallenriffe ausmacht.¹⁵

2.1.2 Fortpflanzung

Korallen können sich sowohl geschlechtlich als auch ungeschlechtlich fortpflanzen.¹⁶ Viele Spezies vermehren sich vegetativ, indem sich der Polyp teilt und so neue, genetisch idente Tochterkolonien gründet. Auf diesem Wege können sich durch Stürme oder starke Strömungen abgebrochene Teile der Korallen anderswo ansiedeln und neue Kolonien bilden. Diese Methode wird auch bei der Korallenzucht oder Rehabilitation beschädigter Riffe angewendet (siehe Kapitel 5.2.1 *Korallenzucht*).¹⁷

¹² vgl. Krimmer, Netzwerk Korallenriff, S. 42f.

¹³ Van Treeck, Korallenriffe, S. 19.

¹⁴ vgl. Dubinsky, Zvy; Stambler, Noga: Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Science+Business Media B.V., 2011, S. 59.

¹⁵ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 83.

¹⁶ vgl. Bolten, Götz: Korallenriffe. 24.03.2020 <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/index.html> (letzter Zugriff am 08.01.2022).

¹⁷ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 29.

Doch für eine weiträumige Verbreitung einer Art und den Austausch genetischen Materials ist die sexuelle Fortpflanzung von entscheidender Bedeutung. Unter den Korallenspezies gibt es sowohl getrenntgeschlechtliche als auch zwitterige Arten. Manche Korallen geben nur Spermien ab, die in den Gastralraum anderer Korallen gelangen und dort die Eier befruchten. Aus den befruchteten Eiern entwickeln sich im Polyp Larven, die oft als Larvenpakete ins Wasser abgegeben werden. Bei Zwitter-Korallen reifen Eier und Spermien gleichzeitig in den Geschlechtsorganen (Gonaden) heran und werden einmal im Jahr ausgestoßen. Die Befruchtung findet dann frei im Wasser statt.¹⁸ Da die Geschlechtsprodukte für viele Meeresbewohner potenzielle Nahrung darstellen, kommt es jedes Jahr zu einem sogenannten Massenlaichen, das die *Kapazitäten aller Fressfeinde überfordert*¹⁹ und somit den Verlust geringhält. Fast wie abgesprochen werden Milliarden Eier und Spermien zur selben Zeit ins Wasser abgegeben (siehe Abb. 3). Forscher gehen davon aus, dass sich die Korallen an den Mondphasen oder Jahreszeiten orientieren und so den passenden Moment zum synchronen Laichen finden.²⁰



Abbildung 3: Massenlaichen am Great Barrier Reef im Jahr 2021²¹

¹⁸ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 29.

¹⁹ Krimmer, Netzwerk Korallenriff, S. 47.

²⁰ vgl. Schuhmacher, Helmut: Korallen. Baumeister am Meeresgrund. München: BLV Buchverlag, 2010, S. 50.

²¹ Campbell, Sara: Everything you need to know about coral spawning on the Great Barrier Reef. 2021 <https://www.queensland.com/us/en/places-to-see/experiences/great-barrier-reef/coral-spawning> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

Die befruchtete Eizelle entwickelt sich zu einer birnenförmigen Larve, die zum Bodenleben übergeht, nachdem sie Stunden oder Wochen von Meeresströmungen angetrieben frei im Wasser gedriftet ist. Jedoch überprüft die Larve die Bedingungen ihres zukünftigen Standortes genau (siehe Kapitel 2.2.2 *Steuerungsfaktoren*), denn sobald sie sich einmal niedergelassen hat, ist kein Ortswechsel mehr möglich.²²

2.1.3 Nahrungs- und Energiequellen

Generell kann gesagt werden, dass in den klaren Wassern der Meere nur wenige Nährstoffe frei verfügbar sind. Aus diesem Grund nutzen viele marine Lebewesen mehrere Energiequellen, so auch die Korallen. Die sessilen Lebewesen sind in erster Linie Planktonfänger und nutzen ihre Tentakel, um bei Nacht aus den Tiefen aufsteigendes Plankton zu erbeuten. Zusätzlich machen Korallen, wie alle Nesseltiere, beim Beutefang von ihren Nesselkapseln Gebrauch. Die Nesselkapsel in den Tentakeln *bestehen aus einer blasenartigen Hülle, in der ein schraubig aufgedrehter Faden steckt, der mit einem kleinen Dorn besetzt sein kann.*²³ Bei Berührung platzen die Nesselkapseln auf und binnen Bruchteilen einer Sekunde wird die Haut potenzieller Beute von Nesselfäden durchdrungen und Nesselgift wird injiziert. Die Beute wird durch den Mund in den Gastralraum transportiert, dort verdaut und nicht Verdauliches wird wieder ausgeschieden. Kleinere Organismen werden auch über eine Schleimschicht in den Mund befördert. Neben der eben genannten heterotrophen Ernährung besitzen Korallen auch die Möglichkeit im Wasser gelöste organische Verbindungen über *Transportproteine an der Körperoberfläche*²⁴ aufzunehmen. Dies ist vergleichbar mit der Aufnahme von Nährstoffen aus dem Darm in die Blutbahn beim Menschen.²⁵

²² vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 50.

²³ Van Treeck, Korallenriffe, S. 25.

²⁴ ebd. S. 26.

²⁵ vgl. ebd. S. 24-26.

Doch die meisten Nährstoffe erhalten Korallen durch ihre autotrophe Ernährung in der Wechselbeziehung mit symbiontischen Algen (siehe Kapitel 2.1.4 *Symbiose zwischen Koralle und Zooxanthellen*).²⁶

2.1.4 Symbiose zwischen Koralle und Zooxanthellen

Oft leben Korallen in einer Wechselbeziehung mit einzelligen Algen (Zooxanthellen)²⁷, *welche mit Häufigkeiten bis über eine Million Individuen pro Quadratzentimeter im Gewebe der Korallenpolyphen sitzen*.²⁸ Da in dieser Wechselbeziehung beide Arten voneinander profitieren, spricht man von Symbiose.²⁹ Geschützt in den Polyphen betreiben die Zooxanthellen Photosynthese und produzieren so Nährstoffe wie Glukose, Aminosäuren und Fette³⁰, von denen sie teilweise über 90% an ihren Wirten abtreten müssen.³¹ Gleichzeitig wird die Alge von der Koralle mit CO₂ und Pflanzennährstoffen (Stickstoff- und Phosphatverbindungen) versorgt.³²

Korallen, die symbiontisch leben, wachsen schneller³³, denn durch den CO₂-Verbrauch der Zooxanthellen erhöht sich der pH-Wert lokal, *wodurch es zur leichteren Ausfällung von CaCO₃ (Kalziumkarbonat/Kalk) kommt*.³⁴ Dies ermöglicht eine enorme Beschleunigung der Kalkproduktion und somit des Skelettwachstums der Korallen.³⁵

Häufig verleihen auch erst die Algen mit ihren Chlorophyll-Pigmenten den von Natur aus weißen Skeletten der Korallen ihre bunten Farben.³⁶

²⁶ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Corals. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/corals> (letzter Zugriff am 28.07.2021).

²⁷ vgl. Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 303.

²⁸ Leinfelder, Reinhold: Korallenriffe. Zentren der Artenvielfalt und Evolution. 2003 http://userpage.fu-berlin.de/leinfelder/palaeo_de/edu/pdf_divers/Leinfelder_in_Hansch03.pdf, S. 4 (letzter Zugriff am 26.07.2021).

²⁹ vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 154.

³⁰ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 26.

³¹ vgl. Sommer, Ulrich: Biologische Meereskunde. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2005, S. 257.

³² vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 26.

³³ vgl. Sommer, Biologische Meereskunde, S. 257.

³⁴ Van Treeck, Korallenriffe, S. 27.

³⁵ vgl. ebd. S. 27.

³⁶ vgl. http://userpage.fu-berlin.de/leinfelder/palaeo_de/edu/pdf_divers/Leinfelder_in_Hansch03.pdf, S. 5 (letzter Zugriff am 26.07.2021).

2.2 Was ist ein Korallenriff?

Für Wissenschaftler ist ein Riff definiert als:

[...] eine maßgeblich von Organismen gebaute (biogene) Struktur, die vom Meeresboden bis zur Wasseroberfläche aufragt. Die Struktur muss groß genug sein, um die physikalischen und damit auch ökologischen Bedingungen in und an der Struktur selbst und der unmittelbaren Umgebung deutlich zu beeinflussen. Die Struktur ist stabil genug, um den hydraulischen Kräften der Wasserbewegungen zu widerstehen und bildet einen facettenreichen, kleinräumig strukturierten Lebensraum, der von speziell angepassten Bewohnern besiedelt ist.³⁷

Korallenriffe sind Riffe, die von Gemeinschaften aus Kalk sezernierenden Organismen gebildet werden. Zudem weist ein Korallenriff mit dem dazugehörigen Wasservolumen eine höhere Biomassendichte auf als der restliche Ozean.³⁸ Der Großteil heutiger Korallenriffe besteht aus hermatypischen Steinkorallen. Andere wichtige Riffbildner sind Organismen mit Kalkskeletten wie beispielsweise Moostierchen, Röhrenwürmer, Muscheln, kalkinkrustierte Rotalgen und Grünalgen.³⁹

2.2.1 Entstehung und Wachstum

Rezente Korallenriffe können nicht überall entstehen. Nur rund 0,2% der Meeresfläche sind mit Korallenriffen bedeckt. Sie sind das Ergebnis tausender Jahre Wachstum und Veränderungen. Meist findet sich der Beginn eines Korallenriffs in vulkanischen Aktivitäten, die Siedlungsräume unter Wasser entstehen lassen, auf denen Steinkorallen wachsen können. Mit jeder Larve, die sich ansiedelt, beginnen sich die Kolonien auszubreiten. Neue Larven setzen sich auf den Kalkskeletten verstorbener Riffbauer fest und Riffe, die einst aus

³⁷ Van Treeck, Korallenriffe, S. 13.

³⁸ vgl. Hatcher, Bruce G.: Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts? 31.01.1997
https://www.researchgate.net/publication/227336806_Coral_reef_ecosystems_How_much_greater_is_the_whole_than_the_sum_of_the_parts (letzter Zugriff am 07.07.2021).

³⁹ vgl. Sommer, Biologische Meereskunde, S. 258.

wenigen Pionierarten bestanden haben, weisen mit der Zeit eine große Artenvielfalt auf.⁴⁰

Doch das Riffwachstum entspricht nicht gleich dem Korallenwachstum, denn gleichzeitig ist ein Riff zwei natürlichen Prozessen ausgesetzt, die im Austrag von Kalk aus dem Riff resultieren: Bioerosion und mechanischer Abtrag/Export. Mit Bioerosion wird der *Abtrag von Kalksubstrat durch Organismen*⁴¹ bezeichnet. Mechanischer Abtrag/Export von Kalkmaterial ist die Folge von starken Strömungskräften wie sie bei Stürmen vorkommen.⁴²

Somit lässt sich folgende Gleichung, die das Riffwachstum beschreibt, aufstellen:

$$\text{Riffwachstum} = \text{Korallenwachstum} - \text{Bioerosion} - \text{mechanischer Abtrag/Export}^{43}$$

Schon minimale Veränderungen der einzelnen Prozesse haben enorme Auswirkungen auf das Wachstum.⁴⁴

2.2.2 Steuerungsfaktoren

Von den Steuerungsfaktoren hängt ab, ob und wie gut ein Riff wächst. Hierbei muss zwischen abiotischen und biotischen Steuerungsfaktoren unterschieden werden.

2.2.2.1 Abiotische Steuerungsfaktoren

Abiotische Steuerungsfaktoren sind jene Faktoren, die die unbelebte Natur betreffen und nicht aktiv von Lebewesen beeinflusst werden.⁴⁵

Klares Wasser mit niedrigen Sedimentfrachten ist aus zwei Gründen wichtig. Zum einen, weil durch zu hohe Sedimentfrachten keine dauerhafte Durchlichtung gegeben ist, was das Betreiben von Photosynthese für die symbiontischen Algen erschwert oder gar unmöglich macht. Zum anderen, weil es Korallen viel Energie kostet, sich von Sedimentpartikeln auf ihrer Oberfläche zu befreien. Korallen

⁴⁰ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 35-37.

⁴¹ Schuhmacher, Korallen, S. 153.

⁴² vgl. ebd. S. 85.

⁴³ ebd. S. 81.

⁴⁴ vgl. ebd. S. 81.

⁴⁵ vgl. Oxford University Press: Abiotisch. 2021 <https://languages.oup.com> (letzter Zugriff am 16.07.2021).

haben zwar die Möglichkeit sich von Feinsediment zu befreien, indem sie einen Schleim produzieren und die Partikel wegschieben, allerdings schwächt sie diese Maßnahme auf Dauer enorm.⁴⁶

Zudem sollte auch eine stetige Wasserbewegung gegeben sein, um die sessilen Korallen mit Sauerstoff und Nahrung zu versorgen und Abfallstoffe wie CO₂ oder Ausscheidungen abzutransportieren.⁴⁷

Korallenskelette werden aus gelösten Mineralien aus dem Meerwasser gebildet, weshalb eine stabile Salinität wichtig ist.⁴⁸ Der ideale Wert liegt bei 36‰ beziehungsweise jenem der offenen Meere, mit akzeptierten Schwankungen im Bereich von 30‰ bis 40‰.⁴⁹

Korallenriffe sind sehr von den Wassertemperaturen abhängig. Die optimale Temperatur liegt bei 26°C bis 27°C, wobei Abweichungen, die zwischen 18°C und 36°C liegen, kurzzeitig toleriert werden können. Bei zu großen Temperaturschwankungen oder längeren Kälte- beziehungsweise Hitzeperioden kann es zur lokalen Austreibung der Zooxanthellen, Korallenbleiche und bleibenden Schäden kommen, die bis zum Tod der Koralle führen können.⁵⁰ Bedingt durch den Klimawandel haben erhöhte Ozeantemperaturen und das El-Niño-Phänomen, das für große Schwankungen der Wassertemperatur sorgt, negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallen.⁵¹ Dies wird jedoch im Kapitel *4.1 Folgen des Klimawandels* näher diskutiert.

Der letzte abiotische Steuerungsfaktor, auf den in dieser Arbeit eingegangen wird, ist die Sedimentation. Damit ein Korallenriff entstehen kann, benötigt es, zumindest zu Beginn der Riffbildung, einen stabilen Untergrund bis durch die Skelette der Pionierarten eine robuste Struktur entstanden ist, auf der sich andere Bewohner des Riffs niederlassen können.⁵²

⁴⁶ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 101.

⁴⁷ vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 82.

⁴⁸ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 101.

⁴⁹ vgl. Hutchings, Pat; Kingsford, Mike; Hoegh-Guldberg, Ove: *The Great Barrier Reef. Biology, Environment and Management*. Collingwood: CSIRO Publishing, 2008, S. 5.

⁵⁰ vgl. ebd. S. 5.

⁵¹ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 103.

⁵² vgl. ebd. S. 103.

2.2.2.2 Biotische Steuerungsfaktoren

Biotische Steuerungsfaktoren schließen alle Faktoren ein, bei denen Lebewesen aktiv beteiligt sind.⁵³

Der Platz in einem Korallenriff ist begrenzt, weshalb unter den Bewohnern große Raumkonkurrenz herrscht. Sogenannte „Riffwachstumsbehinderer“ wie Weichkorallen oder schnellwachsende Algen, nehmen den Steinkorallen die Möglichkeit, sich effektiv zu verbreiten, indem sie mit rasanter Geschwindigkeit große Flächen der Riffe besiedeln.⁵⁴

Korallen haben nur wenige natürliche Feinde, die durch ihr Fressverhalten eher effektiv zur Riffgestaltung beitragen und die Bioerosion fördern, als den Korallen zu schaden. Doch in den letzten Jahren kommt es zu erschreckenden Aufzeichnungen rasant wachsender Populationen ernsthafter Korallenfeinde. So zerstört der Dornenkronenseestern (*Acanthaster planci*) riesige Teile des Great Barrier Reefs (siehe Kapitel 4.2.2 *Eutrophierung*) und einige Schneckenarten (*Quoyula* oder *Drupella cornus*) richten durch ihr Massenauftreten erhebliche Schäden an.⁵⁵

2.2.3 Arten von Korallenriffen

Es existieren zwei Arten von rezenten Korallenriffen: tropische Flachwasserriffe und tiefe Kaltwasserriffe. Die folgende Karte (Abb. 4) zeigt die globale Verbreitung der beiden Arten.

⁵³ vgl. Oxford University Press: Biotisch. 2021 <https://languages.oup.com> (letzter Zugriff am 20.07.2021).

⁵⁴ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 103f.

⁵⁵ vgl. ebd. S. 106-108.

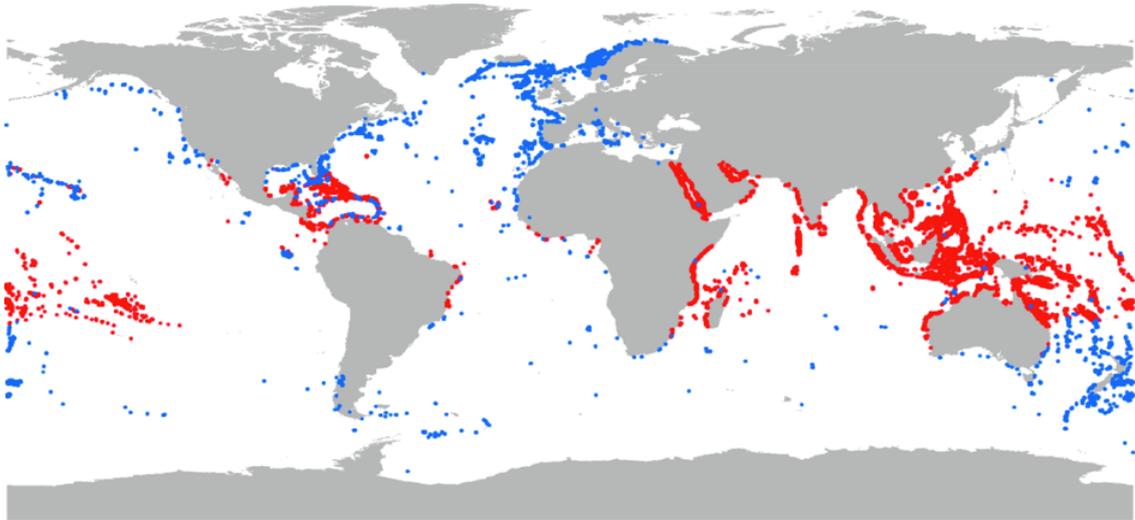


Abbildung 4: Globale Verbreitung der tropischen Flachwasserriffe (rot) und tiefen Kaltwasserriffe (blau)⁵⁶

Tropische Flachwasserriffe kommen in der euphotischen Zone der Ozeane in den Tropen und Subtropen, wo die Wassertemperaturen im Jahresmittel über 22°C liegen, vor. Die meisten Korallen dieser Riffe profitieren von dem lichtdurchfluteten Wasser und leben in Symbiose mit Zooxanthellen, die Photosynthese betreiben. Tropische Korallenriffe lassen sich in vier Typen einteilen: Saumriffe, Barriereriffe, Plattformriffe und Atolle. Während Saumriffe unmittelbar im küstennahen Wasser entstehen, befinden sich die Komplexe der Barriereriffe meist mehrere 100km vor den Küsten, orientieren sich in ihrer Wuchsrichtung dennoch entlang der Küstenlinie. Im Gegensatz dazu können Plattformriffe überall im Meer entstehen, wo das Wasser seicht genug ist, sodass ausreichend Licht den Grund erreicht. So bilden sich Riffe, die bis zur Meeresoberfläche reichen und in alle Richtungen wachsen können, da sie stets von gleichmäßig tiefem Wasser umgeben sind. Atolle sind ehemalige ringförmige Saumriffe, die sich um Vulkaninseln gebildet haben. Da diese aber mit der Zeit durch die Senkung des Meeresbodens oder den Meeresspiegelanstieg versunken sind, bleibt nur das ringförmige Riff des Atolls zurück.⁵⁷

Insgesamt nehmen alle tropischen Korallenriffe weltweit eine Fläche von rund 284.000km² ein.⁵⁸

⁵⁶ Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 304.

⁵⁷ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 38-42.

⁵⁸ vgl. Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 304.

Kaltwasserriffe befinden sich in Tiefen bis zu 1.000m unter dem Meeresspiegel. Im Dunkeln leben die Korallen bei 4°C bis 12°C und ernähren sich heterotroph und ausschließlich von Plankton. Im Vergleich zu Flachwasserriffen wachsen Kaltwasserriffe langsamer.⁵⁹

Außerdem gibt es die sogenannten mesophotischen Korallenriffe, eine Art Mischung aus tropischen Flachwasserriffen und tiefen Kaltwasserriffen, da sie in Küstennähe beziehungsweise im flachen Wasser beginnen und bis in Tiefen von 30m bis 150m reichen.⁶⁰

Die Nennung des Ökosystems „Korallenriff“ bezieht sich in der folgenden Arbeit immer auf tropische Korallenriffe.

2.2.4 Bedeutung für den Menschen

Korallenriffe sind nicht nur für Millionen Tier- und Pflanzenarten von enormer Bedeutung, sondern auch für den Menschen.

Rund 800 Millionen Menschen aus den Riffregionen nutzen die Korallenriffe als Nahrungsquelle und sind vom Fischfang aus den Riffen abhängig.

Wirtschaftlich gesehen gilt der Riffkalk als wichtiger Baustoff und wird demnach in den Küstenregionen abgebaut und anschließend in die ganze Welt weiterverkauft. Aber auch durch den Tourismus werden jährlich Milliarden Euro eingenommen. Doch die hohen Zahlen an Touristen bringen viele Nachteile mit sich (siehe Kapitel *4.4 Tourismus*).⁶¹

Zusätzlich stellen Korallenriffe auch einen natürlichen und nachwachsenden Küsten- und Tsunamischutz dar, denn Wellen werden, wenn sie gegen das Riff schlagen, entkräftet und richten so weniger Schaden an. Ist kein Riff vorhanden, müssen oft Betontetrapoden aufgestellt werden, um Promenaden oder Häfen vor der Brandung zu schützen.⁶²

⁵⁹ vgl. Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 304.

⁶⁰ vgl. Loya, Yossi; Puglise, Kimberly A.; Bridge, Tom C.L.: Mesophotic Coral Ecosystems. New York: Springer, 2019, S. 3-27.

⁶¹ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 159-165.

⁶² vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 124.

3 Das Great Barrier Reef

Das Great Barrier Reef ist der größte Zusammenschluss aus Korallenriffen weltweit. Es gilt seit 1981 als UNESCO Welterbe⁶³ und zählt zu den sieben Weltwundern.⁶⁴

Die von Korallenriffen bedeckte Fläche beträgt 26.000km²⁶⁵ und ist sogar aus dem Weltall zu sehen (siehe Abb. 5).⁶⁶ Das Great Barrier Reef ist kein durchgehendes großes Korallenriff, sondern besteht aus 2.900 einzelnen Riffen, die 10% aller Korallenriffe weltweit ausmachen⁶⁷, und erstreckt sich über 14 geographische Breitengrade, etwa 2.200km entlang der Nord-Ostküste des australischen Bundesstaates Queensland (siehe Abb. 6).⁶⁸

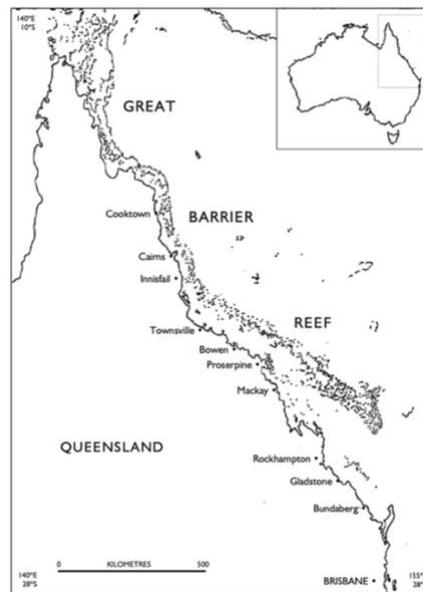


Abbildung 5: (links) Satellitenbild des Great Barrier Reefs⁶⁹

Abbildung 6: (rechts) Geographische Lage des Great Barrier Reefs⁷⁰

⁶³ vgl. Daley, Ben: The Great Barrier Reef. An environmental history. London, New York: Routledge Tylor & Francis Group, 2014, S. 1.

⁶⁴ vgl. WWF-Australia: Great Barrier Reef. 2018 <https://www.wwf.org.au/what-we-do/oceans/great-barrier-reef#gs.8ard5b> (letzter Zugriff am 06.08.2021).

⁶⁵ vgl. Veron, J. E. N.: A reef in time: The Great Barrier Reef from Beginning to End. Cambridge, Massachusetts, London, England: Harvard University Press, 2008, S. 12.

⁶⁶ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 1.

⁶⁷ vgl. <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/reef-facts> (letzter Zugriff am 07.08.2021).

⁶⁸ vgl. Daley, The Great Barrier Reef, S. 1.

⁶⁹ NASA Visible Earth: Great Barrier Reef, Australia. 2012

<https://visibleearth.nasa.gov/images/122245/great-barrier-reef-australia/1222491> (letzter Zugriff am 05.08.2021).

⁷⁰ Daley, The Great Barrier Reef, S. 2.

3.1 Entstehung und Geschichte

Das Fundament des Great Barrier Reefs ist eine alte Kalksteinstruktur, die aus verstorbenen Organismen entstanden ist. Es wird geschätzt, dass die älteren Teile dieser Struktur bis zu 18 Millionen Jahre alt sind. Mit der Zeit sind diese von Kalkablagerungen jüngerer Generationen bedeckt worden und eine feste Formation hat sich gebildet, auf der neue Korallen wachsen, die Habitats für andere marine Lebewesen darstellen.⁷¹

Während der letzten Eiszeit war der Meeresspiegel vor der Küste Queensland rund 120m niedriger als heute. Als dieser wieder anstieg, haben sich die Korallenriffe mit der aktuellen Struktur und Form entwickelt. Demnach kann gesagt werden, dass das heutige Riff aus geologischer Sicht noch recht jung ist und in den letzten 9.000 bis 6.000 Jahren des Holozäns entstanden ist, als sich der Meeresspiegel in der Nähe des heutigen Niveaus stabilisiert hat.⁷² Das Holozän ist als nacheiszeitliche Warmzeit definiert und reicht von 10.000 Jahren vor heute bis in die Gegenwart.⁷³

Es ist unklar, wann Menschen das erste Mal in Kontakt mit dem Riff getreten sind. Bekannt ist jedoch seine wichtige Bedeutung als Nahrungsquelle für die Aborigines und Torres Strait Islander, die vor etwa 60.000 Jahren begonnen haben Australien zu besiedeln. Außerdem sind sie durch ihre Traditionen und Kultur spirituell mit dem Ökosystem verbunden gewesen. Nach der Eroberung Australiens durch die Europäer hat das Great Barrier Reef und seine Ressourcen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Kolonie gespielt.⁷⁴

Mit der Gründung des Great Barrier Reef Marine Park (GBRMP) 1975 wird das Riff aktiv geschützt.⁷⁵ Ziele sind *to protect values, reduce threats, and improve*

⁷¹ vgl. Bolten, Götz: Great Barrier Reef. 24.03.2020 <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/great-barrier-reef-108.html> (letzter Zugriff am 07.08.2021).

⁷² vgl. Australian Academy of Science: Biodiversity of the Great Barrier Reef. 2016 <https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).

⁷³ vgl. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Holozän. 2000 <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/holozaen/7053> (letzter Zugriff am 23.02.2022).

⁷⁴ vgl. Daley, The Great Barrier Reef, S. 1.

⁷⁵ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Our story. 2022 <https://www.gbrmpa.gov.au/about-us/about-us> (letzter Zugriff am 03.01.2022).

the current and long-term outlook for the Reef and the communities that depend on it.⁷⁶

Seit 1981 ist das gesamte Ökosystem aufgrund seiner unglaublichen Schönheit und seiner historischen sowie ökologischen Bedeutung UNESCO Welterbe.⁷⁷ Dabei darf die Größe des Great Barrier Reefs nicht mit jener des Great Barrier Reef Marine Parks (siehe Abb. 7) oder des Great Barrier Reef Welterbes gleichgesetzt werden, da bei diesen die Korallenriffe von Torres Strait im Norden nicht eingeschlossen werden.⁷⁸



Abbildung 7: Great Barrier Reef Marine Park⁷⁹

⁷⁶ <https://www.gbrmpa.gov.au/about-us/about-us> (letzter Zugriff am 03.01.2022).

⁷⁷ vgl. UNESCO World Heritage Centre: Great Barrier Reef. <https://whc.unesco.org/en/list/154/> (letzter Zugriff am 06.08.2021).

⁷⁸ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 7.

⁷⁹ Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coastal ecosystems. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/coastal-ecosystems> (letzter Zugriff am 05.08.2021).

3.2 Biodiversität

*Biodiversity is the term used to describe the variety of life on Earth at all its levels from genes to ecosystems, and the ecological and evolutionary processes that sustain it.*⁸⁰

Die Biodiversität des Great Barrier Reefs stellt eine der vielfältigsten der Welt dar und kann auf verschiedene Weisen bestimmt werden.

Zum einen zeigt die Artenvielfalt des Great Barrier Reefs wie einzigartig dieses Ökosystem ist (siehe Abb. 8). Insgesamt sind 9.000 marine Lebewesen im australischen Riff zu Hause. Jedoch ist hierbei nicht die hohe Anzahl an unterschiedlichen Mikroben, Plankton und Pilzen inkludiert.⁸¹ Neben 600 Arten von Hart- und Weichkorallen existieren rund 100 Quallenarten, 3.000 Weichtierarten, 500 Wurmarten, 1.625 Fischarten, 133 verschiedene Arten von Haien und Rochen und mehr als 30 Wal- und Delfinarten im Great Barrier Reef.⁸²



Abbildung 8: Artenvielfalt des Great Barrier Reefs⁸³

⁸⁰ Great Barrier Reef Marine Park Authority: Biodiversity. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/biodiversity> (letzter Zugriff: 04.08.2021).

⁸¹ vgl. <https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).

⁸² vgl. <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/biodiversity> (letzter Zugriff am 04.08.2021).

⁸³ <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/great-barrier-reef-108.html> (letzter Zugriff am 07.08.2021).

Mit funktionaler Diversität in einem Ökosystem ist die *Vielfältigkeit an ökologischen Funktionen und Prozessen, die in einem Ökosystem ablaufen*⁸⁴ gemeint, oder mit anderen Worten die Arbeitsteilung. Je mehr Arten es gibt, desto höher ist auch die funktionale Diversität. So hat jedes marine Lebewesen im Korallenriff eine Aufgabe, damit das Ökosystem als Ganzes funktioniert. Da viele Aufgaben nur von einzelnen Spezies, hauptsächlich von Fischen, ausgeführt werden, herrscht Besorgnis darüber, was passiert, wenn jene Arten überfischt werden oder aussterben und niemand ihren „Job“ übernimmt. So zeigt Abbildung 9, dass 38,5% der Aufgaben gefährdet sind, da sie nur von einer Art verrichtet werden.⁸⁵

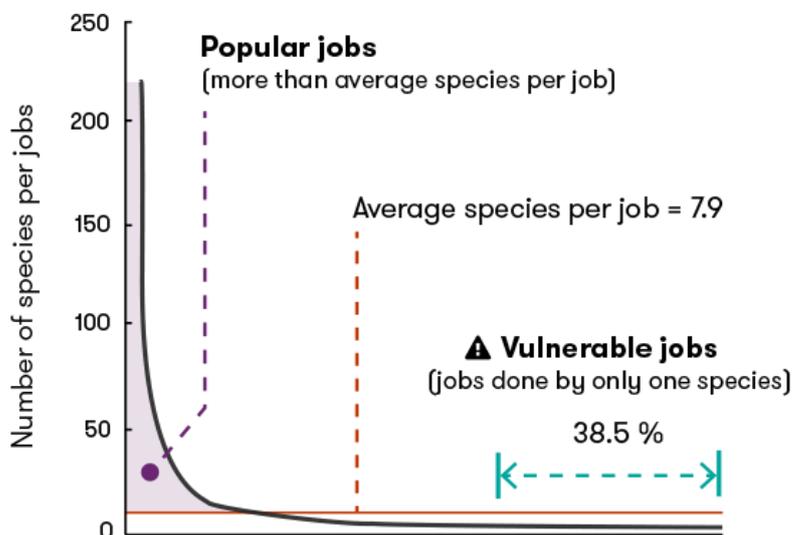


Abbildung 9: Funktionale Diversität der Fischgemeinschaften im indo-pazifischen Ozean, zu dem auch das Gebiet des Great Barrier Reefs gehört⁸⁶

Doch auch die Vielfalt an Lebensräumen ist bezüglich der Biodiversität eines Ökosystems wichtig. Obwohl das Great Barrier Reef für seine Korallenriffe bekannt ist, machen diese nur rund 7% des Great Barrier Reef Marine Park aus. Der restliche Teil setzt sich aus den 13 anderen marinen Lebensräumen *lagoon floors, islands, open water, seagrasses, coastline, estuaries, freshwater wetlands, forest floodplain, heath and shrublands, grass and sedgeland*s,

⁸⁴ Probst, Nik: Biologische Vielfalt. 2013 https://www.thuenen.de/media/institute/sf/Aktuelles/TI-Kolumne/K23_Q2_2013_Biologische_Vielfalt.pdf, S. 1 (letzter Zugriff am 07.08.2021).

⁸⁵ vgl. <https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).

⁸⁶ <https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).

*woodlands, forests, and rainforests*⁸⁷ zusammen, die essenziell für die Erhaltung und Entwicklung sind.⁸⁸

3.3 Wert und Nutzen

Biologisch gesehen, stellt das Riff Habitate für tausende marine Lebewesen dar. Manche Arten, wie Schildkröten und Krokodile, leben seit Millionen Jahren am Riff und haben nur wenige Veränderungen durchgemacht, andere sind noch zur Gänze unentdeckt.⁸⁹

Wie der Name schon sagt, ist das Great Barrier Reef ein Barriereriff und schützt große Teile der Küste Queensland, indem es die Energie der Wellen und Kräfte des Wassers absorbiert.⁹⁰

Doch auch wirtschaftlich gesehen hat das Great Barrier Reef an Bedeutung gewonnen. Ganze 64.000 Vollzeitarbeitsplätze existieren im Zusammenhang mit dem Riff. Außerdem werden durch die Sektoren *tourism, commercial fishing and aquaculture, recreational activities and scientific research and reef management*⁹¹ jährlich 6,4 Milliarden Dollar zur australischen Wirtschaft beigetragen.⁹²

Wie in Kapitel 3.1 *Entstehung und Geschichte* angesprochen, spielt das Great Barrier Reef in der Geschichte Australiens, insbesondere für die Aborigines und Torres Strait Islander eine wichtige Rolle. So hat es für sie nicht nur als wichtige Nahrungsquelle gegolten, sondern sie haben auch heute noch eine sehr starke kulturelle und spirituelle Verbindung zum Riff und seiner Umgebung.⁹³

⁸⁷ <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/coastal-ecosystems> (letzter Zugriff am 05.08.2021).

⁸⁸ vgl. ebd.

⁸⁹ vgl. <https://www.wwf.org.au/what-we-do/oceans/great-barrier-reef#gs.8ard5b> (letzter Zugriff am 06.08.2021).

⁹⁰ vgl. The University of Sydney: Great Barrier Reef protecting against landslides, tsunamis. 25.11.2015 <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2015/11/25/great-barrier-reef-protecting-against-landslides--tsunamis-.html> (letzter Zugriff am 27.12.2021).

⁹¹ Deloitte. Access Economics: At what price? The economic, social and icon value of the Great Barrier Reef. 2017

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-great-barrier-reef-230617.pdf>, S. 1 (letzter Zugriff am 07.08.2021).

⁹² vgl. <https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/reef-facts> (letzter Zugriff am 07.08.2021).

⁹³ vgl. Daley, The Great Barrier Reef, S. 1.

4 Anthropogene Einflüsse auf das Great Barrier Reef

Die Bedrohungen für die Korallenriffe durch die Lebensweise des Menschen sind vielfältig.⁹⁴ Auch das Great Barrier Reef ist zahlreichen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt, die negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben. Zwischen 1985 und 2012 hat das australische Riff rund 50% seiner Korallenbedeckung aufgrund lokaler sowie globaler Bedrohungen verloren.⁹⁵

4.1 Folgen des Klimawandels

Durch übermäßige Emission an Treibhausgasen, beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO₂), das beim Verbrennen von fossilen Brennstoffen entsteht, erwärmt sich die Atmosphäre.⁹⁶ So ist der CO₂-Wert heute höher als je zuvor und hat seit vorindustriellen Zeiten zu einem durchschnittlichen globalen Temperaturanstieg von 1,0 °C geführt.⁹⁷

Das Leben der Korallen und das Korallenwachstum sind seit ungefähr 1980 vom Klimawandel beeinflusst.⁹⁸ Die Effekte des Klimawandels auf das Great Barrier Reef zeigen sich auf viele Arten, die in Folge genauer erläutert werden.

4.1.1 Erwärmung der Meere

Mit dem Temperaturanstieg in der Atmosphäre erwärmen sich auch die oberen Schichten der Ozeane, so auch jene, in denen sich das Great Barrier Reef befindet (siehe Abb. 10).⁹⁹ Dies hat Auswirkungen auf alle marinen Lebewesen.¹⁰⁰

⁹⁴ vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 124.

⁹⁵ vgl. WWF-Australia: COTS Report 2018. 2018
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjrgZuCG6byAhVth_0HHeRZBF4QFnoECDcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.wwf.org.au%2FArticleDocuments%2F353%2FWWF-CROWN_OF_THORNS-REPORT.pdf.aspx&usg=AOvVaw1cNSmPhxDIs1RZE1Wrr8F0, S. 7 (letzter Zugriff am 10.08.2021).

⁹⁶ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 168.

⁹⁷ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Climate Change. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change> (letzter Zugriff am 10.08.2021).

⁹⁸ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 89.

⁹⁹ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 168.

¹⁰⁰ vgl. Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 346.

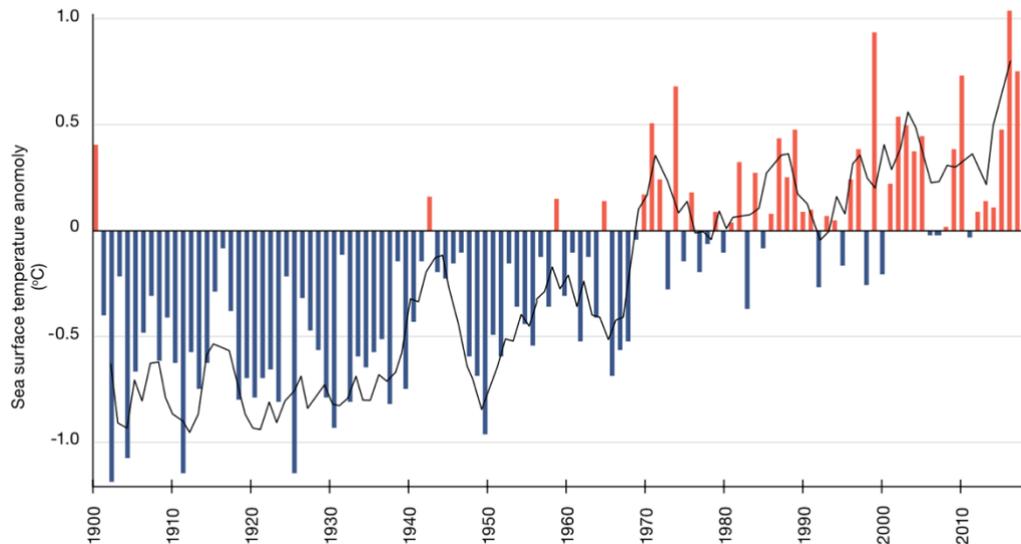


Abbildung 10: Anomalien der Meeresoberflächentemperatur in den Gewässern des Great Barrier Reefs, 1900-2018¹⁰¹

Besonders die Korallen des Great Barrier Reefs leiden unter den Veränderungen, da einer der wichtigsten Prozesse der Korallenriffbildung, die Photosynthese, beeinflusst wird.¹⁰² Dies wird an den steigenden Zahlen der Korallenbleichen und häufig vorkommenden Massenbleichen deutlich.

Als Korallenbleiche wird das Phänomen bezeichnet, wenn Korallen aufgrund von Stress die einzelligen symbiontischen Algen (Zooxanthellen) wieder ins Wasser abgeben¹⁰³, mit dem Resultat, dass die Korallen ihre Farbe verlieren und durch das durchscheinende Kalkskelett weiß erscheinen (siehe Abb. 11).¹⁰⁴ Folglich muss die Koralle *ohne photosynthetische Nahrungsgrundlagen auskommen*¹⁰⁵ und ist außerdem anfälliger für Krankheiten.¹⁰⁶ Gründe für den Stress sind zum Beispiel verminderte Salinität, hohe oder niedrige Bestrahlungsstärke, Toxine wie

¹⁰¹ Great Barrier Reef Marine Park Authority: Great Barrier Reef Outlook Report 2019. 2019 <https://elibrary.gbrmpa.gov.au/jspui/bitstream/11017/3474/10/Outlook-Report-2019-FINAL.pdf>, S. 56 (letzter Zugriff am 20.08.2021).

¹⁰² vgl. Roder, Cornelia; Heiss, Georg A.: Korallenriffe - Auswirkungen von Erwärmung und Versauerung auf die Biodiversität. 2016 https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/biodiversitaet/warnsignal_klima-die_biodiversitaet-kapitel-4_7.pdf, S. 254 (letzter Zugriff am 11.08.2021).

¹⁰³ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 168.

¹⁰⁴ vgl. Van Oppen, Madeleine J.H.; Lough, Janice M.: Coral Bleaching. Patterns, Processes, Causes and Consequences. Second Edition. Cham: Springer International Publishing AG, 2018, S. 2.

¹⁰⁵ https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/biodiversitaet/warnsignal_klima-die_biodiversitaet-kapitel-4_7.pdf, S. 256 (letzter Zugriff am 11.08.2021).

¹⁰⁶ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 169.

Cyanid, oder eben auch zu hohe oder niedrige Wassertemperaturen.¹⁰⁷ Bleicht eine Koralle, bedeutet dies nicht sofort, dass sie tot ist, aber wenn gewisse Faktoren zu lange vom Sollwert abweichen, können sich Korallen, die einmal ihre Zooxanthellen abgegeben haben, nicht regenerieren und sterben an *Nährstoffmangel oder Krankheitsbefall*^{108, 109}.



Abbildung 11: Korallenbleichen am Great Barrier Reef¹¹⁰

Zusätzlich zu den erhöhten Ozeantemperaturen trägt das unregelmäßige Klimaphänomen El-Niño zu noch ausgeprägteren Korallenbleichen bei. Während eines El-Niños kommt es zu veränderten Strömungsmustern im Pazifik und warmes Wasser gelangt weiter in den Süden als normalerweise.¹¹¹ So sind die großflächigsten Massenbleichen im Great Barrier Reef in den El-Niño Jahren, zum Beispiel 1987/88 oder 2016, aufgetreten.¹¹²

Auch wenn das Phänomen des Massenbleichens immer wieder im 20. Jahrhundert beobachtet worden ist, ist es in den letzten Jahren häufiger als zuvor aufgetreten. So sind allein über die letzten fünf Jahre Massenbleich-Ereignisse in den Jahren 2016, 2017 und 2020 aufgezeichnet worden¹¹³, wobei die

¹⁰⁷ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 99.

¹⁰⁸ https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/biodiversitaet/warnsignal_klima-die_biodiversitaet-kapitel-4_7.pdf, S. 256 (letzter Zugriff am 11.08.2021).

¹⁰⁹ vgl. ebd.

¹¹⁰ Great Barrier Reef Foundation: Coral Bleaching. 2022 <https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/coral-bleaching> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

¹¹¹ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 169.

¹¹² vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 100.

¹¹³ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Sea temperature. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change/sea-temperature> (letzter Zugriff am 11.08.2021).

Korallenbleiche im Jahr 2016 mit 22% toten Korallen am Great Barrier Reef die schlimmste aller Zeiten gewesen ist.¹¹⁴

Doch die Erwärmung wirkt sich auch auf andere Lebewesen des Great Barrier Reefs aus. So werden beispielsweise biologische Prozesse der Fische, das Brutverhalten von Seevögeln, die Regulation der Körpertemperatur mariner Reptilien oder die Photosynthese von Seegrass negativ beeinflusst.¹¹⁵

4.1.2 Ozeanversauerung

Ein weiteres Phänomen, das durch den Klimawandel hervorgerufen wird, ist die Ozeanversauerung, denn nicht nur die Wärme aus der Atmosphäre gelangt in die Meere, sondern auch überschüssige Gase, vor allem CO₂. Dies ändert die chemische Zusammensetzung des Wassers sowie den pH-Wert. Mit anderen Worten: gelöstes CO₂ reagiert mit Wasser zu Kohlensäure und das Wasser wird sauer. Schon lange haben die Weltmeere überschüssiges CO₂ absorbiert, doch mit den übermäßigen CO₂-Emissionen hat sich der Säuregehalt gefährlich erhöht. Der pH-Wert der Ozeane ist über Jahrtausende bei 8,3 gelegen, doch seit der Industrialisierung ist er auf 8,1 abgesunken. Diese Ozeanversauerung stellt eine Gefahr für alle kalkbildenden Organismen dar.¹¹⁶

Normalerweise ist das Wasser der Ozeane reich an gelöstem Kalzium und Karbonat, was marinen Lebewesen wie Korallen, Muscheln oder Krebstiere als Grundlage zur Produktion von Schalen und Skeletten dient.¹¹⁷ Sie können aus den beiden Stoffen Kalk bilden, indem sie den pH-Wert aktiv, je nachdem wo die Kalzifizierung stattfinden soll, erhöhen. Dies hat zur Folge, dass die Kalkausfällung mit sinkendem pH-Wert entsprechend energieaufwendiger wird.¹¹⁸

¹¹⁴ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coral Bleaching. 2017 https://www.gbrmpa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/252385/GBRMPACoralBleaching_FactSheet_Updated5May2017.pdf, S. 1 (letzter Zugriff am 11.08.2021).

¹¹⁵ vgl. <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change/sea-temperature> (letzter Zugriff am 11.08.2021).

¹¹⁶ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 170f.

¹¹⁷ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Ocean acidification. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change/ocean-acidification> (letzter Zugriff am 12.08.2021).

¹¹⁸ vgl. Hempel, Bischof, Hagen, Faszination Meeresforschung, S. 358f.

Da ein Korallenriff nur wachsen kann, wenn das Wachstum der Riffbildner (Korallen oder andere kalkbildende Organismen) größer ist als die biologische und physiologische Erosion (siehe Kapitel 2.2.1 *Entstehung und Wachstum*) kann die Versauerung der Meere zu einem Rückgang der Riffe führen, vor allem dann, wenn sich schon bestehende Riffstrukturen durch den sinkenden pH-Wert auflösen.¹¹⁹

Ein weiterer Effekt der Ozeanversauerung ist die Erhöhung der Schalldurchlässigkeit des Wassers für niedrige Frequenzen, was die Kommunikation von Fischen, Walen und Delfinen beeinflusst.¹²⁰

4.2 Nutzung der Küstengebiete

Mit der Entwicklung der Küstengebiete des Great Barrier Reefs zu wichtigen wirtschaftlichen und sozialen Zentren nehmen auch die Rodungen für landwirtschaftliche, städtische und industrielle Entwicklungen sowie die Menge der Abwässer zu.¹²¹ Dies hat direkte Auswirkungen auf das Riff und seine Bewohner.

4.2.1 Sedimentbelastung

Häufig sind Küstenentwicklungen mit hoher Sedimentbelastung durch Bodenerosion in der Landwirtschaft, industrielle Bagger- und Bohrarbeiten oder direktes Abwasser verbunden. Gerade das Great Barrier Reef leidet unter dem schlammigen Sediment vom Festland, welches sich an der Küste Queensland angestaut hat. Eine zu hohe Sedimentbelastung beeinflusst das Korallenwachstum (siehe Kapitel 2.2.2.1 *Abiotische Steuerungsfaktoren*), denn einerseits müssen sich die Korallen mit viel Energieaufwand von Sedimentpartikeln auf ihrer Oberfläche befreien, andererseits verringert die Trübung des Wassers die für die Photosynthese notwendige Lichtmenge, die die

¹¹⁹ vgl. https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/biodiversitaet/warnsignal_klima-die_biodiversitaet-kapitel-4_7.pdf, S. 256 (letzter Zugriff am 12.08.2021).

¹²⁰ vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 141.

¹²¹ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coastal development. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/coastal-development> (letzter Zugriff am 14.08.2021).

Korallen erreicht.¹²² Außerdem schädigen große Mengen an feinen Sedimenten die Kiemen und beeinträchtigen den Stoffwechsel mancher Fischarten.¹²³

4.2.2 Eutrophierung

Eutrophierung beschreibt die *überschüssige Anreicherung von Nährstoffen*.¹²⁴ Heutzutage führt die Überdüngung in der küstennahen Landwirtschaft Australiens dazu, dass viele Nährstoffe, vorwiegend Stickstoff, im Meer landen. So sind 30.000t von den 50.000t an Stickstoffdünger, die auf den Zuckerrohrplantagen Queensland zum Einsatz kommen, überflüssig. Ein großer Teil des Überschusses endet schlussendlich im Meer und somit im Riff.¹²⁵ Diese Eutrophierung bringt große Probleme mit sich. So sind übermäßiges Wachstum von Algen, Mangel an Sauerstoff oder Verlust der Biodiversität mögliche Folgen der Eutrophierung.¹²⁶

Insbesondere für hermatypische Steinkorallen ist das schnelle Algenwachstum und die Förderung von ahermatypischen Spezies wie Schwämmen, Weichkorallen oder Seescheiden ein ernstes Problem, da diese die Korallen überwuchern und ihnen langfristig den Platz und Lichtzugang nehmen.¹²⁷

Die zunehmende Eutrophierung fördert zudem die rasche Vermehrung einzelner Arten, die als Überpopulation eine Gefahr für das Ökosystem darstellen können. Durch die Eutrophierung nimmt auch die Dichte an Plankton zu. Dieses gilt als Hauptnahrung der Larven der Dornenkronenseesterne.¹²⁸ Der Dornenkronenseestern ist eine natürlich vorkommende Spezies in den Uferriffen des Great Barrier Reefs und für das Gleichgewicht des Riffs wichtig, da er schnell

¹²² vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 88.

¹²³ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Land-based run-off. 2021 <https://www.gbmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/declining-water-quality> (letzter Zugriff am 15.08.2021).

¹²⁴ Begon, Michael; Howarth, Robert W.; Townsend, Colin R.: Ökologie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 2017, S. 407.

¹²⁵ vgl. WWF: The Starfish that eat the reef. 2015 <https://www.wwf.org.au/ArticleDocuments/353/pub-the-starfish-that-eat-the-reef-11dec15.pdf.aspx?Embed=Y> (letzter Zugriff am 15.08.2021).

¹²⁶ vgl. Balla, Dorian: Ausgewählte anthropogene Einflüsse auf marine Ökosysteme und dessen Folgen. 2019 https://pub-data.leuphana.de/frontdoor/deliver/index/docId/948/file/Bachelorarbeit_Bibversion_Balla.pdf, S. 21 (letzter Zugriff am 02.01.2022).

¹²⁷ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 173.

¹²⁸ vgl. <https://www.wwf.org.au/ArticleDocuments/353/pub-the-starfish-that-eat-the-reef-11dec15.pdf.aspx?Embed=Y> (letzter Zugriff am 15.08.2021).

wachsende Korallen frisst und so Platz für langsam Wachsende schafft. Doch der Nahrungsüberschuss führt zu einer Überpopulation und sogenannten „Outbreaks“ des Dornenkronenseesterns (siehe Abb. 12), wodurch anhaltende Schäden an den Korallen verursacht werden.¹²⁹ *If 15 Crown of Thorns Starfish are found in a one hectare area, it's called an outbreak.*¹³⁰ Die Dornenkronenseesterne fressen und vernichten große Mengen an Korallen, die weder wiedergewonnen noch durch nachwachsende Korallen kompensiert werden können.¹³¹ Zudem werden durch Überfischung Arten, die sich von den Larven oder Juvenilstadien der Seesterne ernähren, aus den Riffen entfernt, was eine ungehinderte Ausbreitung ermöglicht.¹³² Laut einer Studie des Australian Institute of Marine Science sind die Dornenkronenseesterne zusammen mit tropischen Zyklonen Hauptgrund für den Korallenverlust in den letzten 27 Jahren gewesen.¹³³



Abbildung 12: Dornenkronenseesterne¹³⁴

¹²⁹ vgl. Great Barrier Reef Foundation: Crown-of-Thorns Starfish. 2021 <https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/Crown-of-thorns%20starfish> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

¹³⁰ ebd.

¹³¹ vgl. <https://www.wwf.org.au/ArticleDocuments/353/pub-the-starfish-that-eat-the-reef-11dec15.pdf.aspx?Embed=Y> (letzter Zugriff am 15.08.2021).

¹³² vgl. Jackson, Jeremy: Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. 2001 http://web.mit.edu/12.000/www/m2011/pdf/jackson_2001.pdf, S. 633 (letzter Zugriff am 16.08.2021).

¹³³ vgl. National Center for Biotechnology Information: The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. 2012

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497744/> (letzter Zugriff am 09.08.2021).

¹³⁴ Australian Institute of Marine Science: Crown-of-thorns starfish. 01.08.2013

<https://photos.aap.com.au/asset/20130801000751244654> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

Die „Outbreaks“ kämen von Natur aus maximal einmal pro Jahrhundert vor, doch ihre Häufigkeit hat aufgrund der Eutrophierung und Überfischung zugenommen, sodass in den letzten 50 Jahren vier „Outbreaks“ aufgezeichnet worden sind.¹³⁵

Um die Population einzudämmen und zu kontrollieren, hat die Great Barrier Reef Marine Park Authority 2012 das *Crown-of-thorns Starfish Control Program* entwickelt. Hierbei versuchen Taucher zum einen, die Tiere manuell mit tödlichen Injektionen von Gallensalz oder Essig zu entfernen, um zu verhindern, dass ganze Riffe vernichtet werden (siehe Abb. 13). Zum anderen wird die Population streng überwacht, um sicherzustellen, dass Fortschritte gemacht und die Ergebnisse in der Bekämpfung weiter eingehalten werden.¹³⁶



Abbildung 13: Taucher injiziert Dornenkronenseestern¹³⁷

4.3 Überfischung und destruktive Fischerei

Durch die Folgen des Klimawandels oder die intensive Nutzung der Küstengebiete verlieren die Korallenriffe an Resilienz. Eine stabile Resilienz zeichnet sich durch besonders viele Arten aus, die gut auf Veränderungen im Ökosystem reagieren können. Mit der Überfischung und Dezimierung einzelner mariner Lebewesen sinkt die Resilienz und somit auch die Anpassungsfähigkeit

¹³⁵ vgl. <https://www.wwf.org.au/ArticleDocuments/353/pub-the-starfish-that-eat-the-reef-11dec15.pdf.aspx?Embed=Y> (letzter Zugriff am 15.08.2021).

¹³⁶ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Crown-of-thorns starfish control program. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/our-programs-and-projects/crown-of-thorns-starfish-management/crown-of-thorns-starfish-control-program> (letzter Zugriff am 16.08.2021).

¹³⁷ <https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/Crown-of-thorns%20starfish> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

an die zunehmenden Veränderungen durch menschliches Handeln und den Klimawandel.¹³⁸

Schon lange haben Korallenriffe eine wichtige Nahrungsquelle für die Menschen, die in den Gebieten an den Küsten leben, dargestellt. Mit dem Bevölkerungswachstum kann der Bedarf jedoch nicht mehr auf nachhaltigem Wege gedeckt werden und die Riffe leiden an den Folgen der Überfischung oder destruktiven Fischerei.¹³⁹

Überfischung wird als *die dauerhafte Dezimierung von Fischbeständen durch Fischfang, dessen Umfang das natürliche Nachwachsen und die Zuwanderung von Fischen übersteigt*¹⁴⁰ definiert und gilt als *the first and farthest-reaching anthropogenic cause of decline in coastal marine ecosystems*.¹⁴¹

Die von der Überfischung am meisten betroffenen Riffe befinden sich im südostasiatischen und karibischen Raum¹⁴², aber auch im Gebiet des Great Barrier Reefs, wo der Druck durch die Fischerei vergleichsweise gering ist, sind Auswirkungen auf den Fischbestand aufgezeichnet worden. So haben sich die Vorkommen fleischfressender Fische im Great Barrier Reef, zum Beispiel von Zackenbarschen oder Schnappern, um das Vier- bis Fünffache im Vergleich zu den Populationen in sogenannten „No-Take Areas“ oder „No-Take Zones“ verringert.¹⁴³

*A no-take zone is an area set aside by a government where no extractive activity is allowed. Extractive activity is any action that extracts, or removes, any resource.*¹⁴⁴

Werden durch die Überfischung algenfressende Fischarten ausgelöscht, ergünen die Riffe innerhalb kürzester Zeit und hermatypische Korallen leiden

¹³⁸ vgl. https://pub-data.leuphana.de/frontdoor/deliver/index/docId/948/file/Bachelorarbeit_Bibversion_Balla.pdf, S. 18 (letzter Zugriff am 02.01.2022).

¹³⁹ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 174.

¹⁴⁰ Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Hauptgutachten. Welt im Wandel. Menschheitserbe Meer. 2013 https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2013/pdf/wbgu_hg2013.pdf, S. 42 (letzter Zugriff am 17.08.2021).

¹⁴¹ Dubinsky, Stambler, Coral Reefs: An Ecosystem in Transition, S. 21.

¹⁴² vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 130.

¹⁴³ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 87.

¹⁴⁴ National Geographic Society: No-take zone. 20.06.2011 <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/no-take-zone/> (letzter Zugriff am 27.12.2021).

unter Licht- und Platzmangel.¹⁴⁵ Ein großes Problem stellt zudem die globale Überfischung fortpflanzungsfähiger und langlebiger Raubfische des höchsten Trophieniveaus dar, was mit anderen Worten die Nahrungskette von oben verkürzt und auf diese Weise die Fischbestände aus dem natürlichen Gleichgewicht bringt. So hat sich die Zahl der großen Raubfische durch die industrielle Fischerei um rund 90% dezimiert.¹⁴⁶

Zusätzlich werden große Teile der Riffe durch Methoden der destruktiven Fischerei zerstört. In der Dynamitfischerei wird mit Hilfe von Sprengkörpern eine Druckwelle erzeugt, die Fische in großer Zahl tötet, doch so sterben auch alle anderen Organismen und Korallen werden unter Schutt begraben.¹⁴⁷ Beifang, Gifte, die zur Betäubung von Fischen eingesetzt werden, oder Schleppnetze verändern zudem aktiv die Struktur und Zusammensetzung des Ökosystems und sorgen für eine Abnahme der Fischvielfalt.¹⁴⁸

4.4 Tourismus

Das Great Barrier Reef ist für die australische Wirtschaft von großer Bedeutung. Vor allem im Tourismussektor werden jährlich Milliarden Dollar Umsatz gemacht. Dem Riff wird nachgesagt, das unberührteste auf der Welt zu sein, was ihm ermöglicht, mit anderen Korallenriffen in der Karibik und dem indischen Ozean zu konkurrieren.¹⁴⁹ Jedes Jahr empfängt das Great Barrier Reef zwei Millionen Besucher. Nur 7% des Great Barrier Reef Marine Park sind für die Touristen zugänglich, wobei 86% des gesamten Tourismus in Cairns, Port Douglas oder den Whitsundays stattfindet. Doch mit dem Massentourismus gehen auch viele negative Auswirkungen auf das Riff und die Ökosysteme an der Küste Queensland einher.¹⁵⁰

¹⁴⁵ vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 130.

¹⁴⁶ vgl. Sommer, Biologische Meereskunde, S. 216.

¹⁴⁷ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 174.

¹⁴⁸ vgl. <https://pub->

[data.leuphana.de/frontdoor/deliver/index/docId/948/file/Bachelorarbeit_Bibversion_Balla.pdf](https://pub-data.leuphana.de/frontdoor/deliver/index/docId/948/file/Bachelorarbeit_Bibversion_Balla.pdf), S. 19 (letzter Zugriff am 02.01.2022).

¹⁴⁹ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 106.

¹⁵⁰ vgl. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Tourism on the Great Barrier Reef. 2021 <https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/Managing-multiple-uses/tourism-on-the-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 24.08.2021).

Durch die Entwicklung neuer Infrastrukturen in den Küstengebieten, wie das Bauen von Hotels oder Abwassereinleitungsstellen, trägt der Tourismus zur erhöhten Sediment- und Nährstoffbelastung in den Gewässern des Great Barrier Reefs bei.¹⁵¹ Auch der bei Renovierungen produzierte Schutt landet oft im Meer.¹⁵²

Insbesondere direkter Riff- und Tauchtourismus führt örtlich zum Sterben vieler Korallen. Unnatürliche Wasserbewegungen und Ankerschäden von Tauchschiffen oder Taucher mit Flossen brechen Teile der marinen Lebewesen ab, die sich daraufhin nicht mehr von den Verletzungen erholen können.¹⁵³

Die meisten lokalen Probleme können durch die Weiterbildung der Touristen eingedämmt werden, doch die Belastung des Riffs durch die Bebauung der Küste, vermehrte Abwässer und Müll bleibt trotz zahlreicher Aktionen des Landes Queensland weiter bestehen.¹⁵⁴

¹⁵¹ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 91.

¹⁵² vgl. Schuhmacher, Korallen, S. 126.

¹⁵³ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, The Great Barrier Reef, S. 91.

¹⁵⁴ vgl. Tourism and Events Queensland: Schutz des Great Barrier Reef. 08.05.2021 <https://www.queensland.com/de/de/places-to-see/experiences/great-barrier-reef/caring-for-the-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 05.01.2022).

5 Die Zukunft des Great Barrier Reefs

Dass das menschliche Handeln negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Korallenriffe, vor allem auf jene des Great Barrier Reefs hat, wird in Kapitel 4 *Anthropogene Einflüsse auf das Great Barrier Reef* deutlich.

Ein weiterer Faktor, der enorm zur Bedrohung der Korallenriffe beiträgt und durch die sich ändernden Bedingungen gefördert wird, ist die steigende Abnahme der Resilienz der Korallenriffe und ihrer Bewohner.¹⁵⁵ *Resilience is the ability of reefs to absorb and recover from recurrent disturbances.*¹⁵⁶ Demnach wird es für das Riff immer schwieriger zukünftige Bedrohungen zu überleben.¹⁵⁷

In den letzten 30 Jahren sind rund 50% aller Korallen gestorben.¹⁵⁸ Prognosen gehen bei einer durchschnittlichen Erwärmung der Erdoberfläche von 1,5°C von einem Sterben 90% aller Korallen aus. Bei einer Erwärmung von 2°C kann es zu einem gänzlichen Verschwinden aller Korallenriffe kommen.¹⁵⁹ In Kombination mit jeglichen lokalen Bedrohungen, kann mit großer Wahrscheinlichkeit ein starker Rückgang der Korallenriffe in den nächsten Jahrzehnten erwartet werden.

Um dem Aussterben der Korallenriffe entgegenzuwirken, ist das Management um den Riffschutz und die Stärkung der Resilienz der marinen Ökosysteme gefordert.

5.1 Riffschutz

Riffschutz ist für alle Korallenriffe weltweit von großer Bedeutung. Hierbei geht es sowohl um die Regenerierung geschädigter Riffe als auch um die Verhinderung zukünftiger Schäden. So gilt es in erster Linie, globale Bedrohungen unter Kontrolle zu bringen, vor allem den Klimawandel und die Treibhausgasemissionen. Da dies jedoch schwer ist, gilt es, zusätzlich lokale

¹⁵⁵ vgl. Hutchings, Kingsford, Hoegh-Guldberg, *The Great Barrier Reef*, S. 93.

¹⁵⁶ ebd. S. 93.

¹⁵⁷ vgl. ebd. S. 93.

¹⁵⁸ vgl. SECORE International: *Why coral reefs need our help*. 2018

<https://www.secore.org/site/corals/detail/why-coral-reefs-need-our-help.23.html> (letzter Zugriff am 02.01.2022).

¹⁵⁹ vgl. Great Barrier Reef Foundation: *This is the critical decade for coral reef survival*.

18.10.2021 <https://barrierreef.org/news/blog/this-is-the-critical-decade-for-coral-reef-survival> (letzter Zugriff am 02.01.2022).

Maßnahmen zu ergreifen, um gezielt die Verschlechterung der Gesundheit einzelner Riffe zu stoppen und nach Möglichkeiten umzukehren.¹⁶⁰

5.2 Fortschritte und zukünftige Projekte

Seit in den letzten Jahrzehnten die Schäden am Great Barrier Reef zugenommen haben, beschäftigt sich Australien aktiv mit dem Riffschutz und versucht alle anthropogenen Einflüsse so gut es geht zu reduzieren, um das Riff zu erhalten. Jährlich werden rund 200 Millionen Dollar in den Riffschutz des Great Barrier Reefs investiert.¹⁶¹

5.2.1 Korallenzucht

Wie in Kapitel 2.1.2 *Fortpflanzung* angesprochen, wird die vegetative Fortpflanzung der Korallen auch für den Riffschutz genutzt. Indem aktiv Korallenzucht betrieben wird, können aus abgebrochenen Korallenteilen neue Kolonien entstehen.

Mit der Unterstützung des nationalen Umweltschutzprogramms der australischen Regierung und Forschern der James Cook University züchtet die Reef Restoration Foundation in sogenannten „Nursery Stations“ (siehe Abb. 14) jährlich mindestens 25.000 Korallen und pflanzt diese anschließend in passenden Untergrund ein.¹⁶²

Die Korallenzucht erfolgt durch die Entnahme kleiner Mengen an Stecklingen von gesunden Korallen, die die Bleichevents der Jahre 2016 und 2017 überlebt haben. Diese Korallen weisen meist eine von Natur aus höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber erhöhten Wassertemperaturen und Korallenbleichen auf. Nachdem die Fragmente 6 bis 12 Monate an den „Nursery

¹⁶⁰ vgl. Van Treeck, Korallenriffe, S. 179.

¹⁶¹ vgl. Department of Agriculture, Water and Environment: What Australia is doing to manage the Great Barrier Reef. 2015 <https://www.environment.gov.au/marine/gbr/publications/what-australia-doing-manage-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 19.09.2021).

¹⁶² vgl. Reef Restoration Foundation. 2021 <https://reefrestorationfoundation.org> (letzter Zugriff am 30.10.2021).

Stations“ befestigt gewachsen sind, werden sie an beschädigten Riffen angesiedelt, um diese zu regenerieren und zu stärken.¹⁶³



Abbildung 14: „Nursery Station“ der Reef Restoration Foundation¹⁶⁴

5.2.2 The Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan

Im Juni 2015 ist der *Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan* vorgestellt worden, mit dem Ziel die Resilienz zu stärken und den einzigartigen Wert des Great Barrier Reefs zu erhalten.¹⁶⁵

Der Plan basiert auf allen verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen und Erfahrungen aus den letzten 40 Jahren. Neben einem eingeführten Verbot der Entsorgung von Hafenaushubmaterial, einer Reduktion und Beschränkung von Baggerarbeiten in Küstennähe und einer Aufstockung der Mittel zur Verringerung von Meeresabfällen wurden unter anderem die Mittel zur Bekämpfung des Dornenkronenseesterns verdoppelt und strengere Sanktionen für Wilderei von Schildkröten und Dugongs eingeführt. So sollen einerseits die Auswirkungen anthropogener Einflüsse gemildert und andererseits Artenschutz betrieben werden.¹⁶⁶

¹⁶³ vgl. <https://reefrestorationfoundation.org> (letzter Zugriff am 30.10.2021).

¹⁶⁴ <https://reefrestorationfoundation.org> (letzter Zugriff am 30.10.2021).

¹⁶⁵ vgl. <https://www.environment.gov.au/marine/gbr/publications/what-australia-doing-manage-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 19.09.2021).

¹⁶⁶ vgl. ebd.

In den ersten Jahren nach in Kraft treten des *Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan* wurden bereits über 29 Millionen Dollar von der australischen Regierung für das Erreichen genannter Ziele bereitgestellt. Schon jetzt konnten erhebliche Verbesserungen in der Wasserqualität der Einzugsgebiete des Great Barrier Reefs festgestellt werden. Geschätzt wurde die Pestizidbelastung um 28%, die Sedimentbelastung um 11%, die Gesamtstickstoffbelastung um 10% und der gelöste anorganische Stickstoff um 16% im Vergleich zum Ausgangswert von 2009 gesenkt.¹⁶⁷

Zukünftig soll durch enge Zusammenarbeit mit Landbesitzern der Stickstoff- sowie Sedimentabfluss weiter verringert werden, um den Zustand des Ökosystems zu verbessern. Außerdem wird ein *reef-wide Integrated Monitoring and Reporting Program*¹⁶⁸ für die genaue Überwachung entwickelt: In einem jährlichen Bericht werden alle Fortschritte zusammengefasst und alle fünf Jahre erfolgt eine vollständige Überprüfung zur Sicherstellung der Relevanz für die Bewältigung der Belastungen.¹⁶⁹

¹⁶⁷ vgl. <https://www.environment.gov.au/marine/gbr/publications/what-australia-doing-manage-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 19.09.2021).

¹⁶⁸ ebd.

¹⁶⁹ vgl. ebd.

6 Fazit

Mithilfe der durchgeführten Recherchen und Auswertungen können Antworten auf jene zu Beginn gestellten Fragen gefunden und zusammengefasst werden: Das Ökosystem Korallenriff ist durch das Zusammenspiel von Steuerungsfaktoren und Biodiversität zu einem der wichtigsten Ökosysteme der Erde geworden. In diesem Zusammenhang ist vor allem die autotrophe Ernährung der Korallen in Symbiose mit Zooxanthellen von Bedeutung, denn nur so erhalten sie in den nährstoffarmen Wassern genügend Nahrung und Energie und große Riffkomplexe können entstehen. Zu diesen zählt auch das Great Barrier Reef an der Ostküste Australiens, das einen Lebensraum für zahlreiche marine Lebewesen, einen natürlichen Küstenschutz und eine wesentliche Einnahmequelle der australischen Wirtschaft darstellt.

Doch über die letzten Jahre ist es zu vermehrtem Korallensterben sowie Abnahme der Resilienz und Biodiversität des Great Barrier Reefs gekommen. Gründe dafür sind zahlreiche anthropogene Einflüsse, wobei im Zuge der Arbeit deutlich geworden ist, dass die Folgen des Klimawandels mit der Erwärmung der Meere und der Ozeanversauerung die größten globalen Bedrohungen darstellen. Doch auch lokale Probleme wie zunehmende Sedimentbelastung und Eutrophierung durch die übermäßige Nutzung der Küstengebiete, Überfischung sowie destruktive Fischerei, und der Rifftourismus schaden dem Riff und seinen Bewohnern.

Auch wenn die Frage, wie die Zukunft des Great Barrier Reefs aussieht, nicht eindeutig beantwortet werden kann, sind Fortschritte im Bereich des Riffschutzes aufgezeichnet worden. Vor allem die Korallenzucht und Maßnahmen des Landes Australien selbst, wie *The Reef 2050 Long-Term Sustainability Plan*, tragen zur Besserung der Gesundheit und Erholung des Great Barrier Reefs bei. Doch es ist nicht zu leugnen, dass ein großer Teil dieses in schlechtem Zustand ist und bereits Prognosen, die das Aussterben der Korallenriffe bis 2050 voraussagen, im Raum stehen.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

Begon, Michael; Howarth, Robert W.; Townsend, Colin R.: Ökologie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 2017.

Daley, Ben: The Great Barrier Reef. An environmental history. London, New York: Routledge Tylor & Francis Group, 2014.

Dubinsky, Zvy; Stambler, Noga: Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Science+Business Media B.V., 2011.

Hempel, Gotthilf; Bischof, Kai; Hagen, Wilhelm: Faszination Meeresforschung. Ein ökologisches Lesebuch. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017.

Hutchings, Pat; Kingsford, Mike; Hoegh-Guldberg, Ove: The Great Barrier Reef. Biology, Environment and Management. Collingwood, Vic.: CSIRO Publishing, 2008.

Krimmer, Heinz: Netzwerk Korallenriff. Wertvoller als Google, Apple und Co. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, 2017.

Loya, Yossi; Puglise, Kimberly A.; Bridge, Tom C.L.: Mesophotic Coral Ecosystems. New York: Springer, 2019.

Schuhmacher, Helmut: Korallen. Baumeister am Meeresgrund. München: BLV Buchverlag, 2010.

Solomon, Eldra P.; Berg, Linda R.; Martin, Diana W.: Biology. Eight Edition. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2008.

Sommer, Ulrich: Biologische Meereskunde. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2005.

Van Oppen, Madeleine J.H.; Lough, Janice M.: Coral Bleaching. Patterns, Processes, Causes and Consequences. Second Edition. Cham: Springer International Publishing AG, 2018.

Van Treeck, Peter: Korallenriffe. Lebendige Metropolen im Meer. Darmstadt: WGB (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 2017.

Veron, J. E. N.: A reef in time: The Great Barrier Reef from Beginning to End. Cambridge, Massachusetts, London, England: Harvard University Press, 2008.

7.2 Internetquellenverzeichnis

7.2.1 Internetquellen mit Autor

Balla, Dorian: Ausgewählte anthropogene Einflüsse auf marine Ökosysteme und dessen Folgen. 2019 https://pub-data.leuphana.de/frontdoor/deliver/index/docId/948/file/Bachelorarbeit_Bibversion_Balla.pdf (letzter Zugriff am 02.01.2022).

Bolten, Götz: Great Barrier Reef. 24.03.2020 <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/great-barrier-reef-108.html> (letzter Zugriff am 07.08.2021).

Bolten, Götz: Korallenriffe. 24.03.2020 <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/index.html> (letzter Zugriff am 08.01.2022).

Campbell, Sara: Everything you need to know about coral spawning on the Great Barrier Reef. 2021 <https://www.queensland.com/us/en/places-to-see/experiences/great-barrier-reef/coral-spawning> (letzter Zugriff am 23.01.2022).

Goreau, Thomas F.; Goreau, Nora I.; Goreau, Thomas J.: Corals and Coral Reefs. 1979 <https://www.jstor.org/stable/24965267#content> (letzter Zugriff am 07.07.2021).

- Hatcher, Bruce G.: Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts? 31.01.1997
https://www.researchgate.net/publication/227336806_Coral_reef_ecosystems_How_much_greater_is_the_whole_than_the_sum_of_the_parts
 (letzter Zugriff am 07.07.2021).
- Jackson, Jeremy: Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. 2001
http://web.mit.edu/12.000/www/m2011/pdf/jackson_2001.pdf, (letzter Zugriff am 16.08.2021).
- Leinfelder, Reinhold: Korallenriffe. Zentren der Artenvielfalt und Evolution. 2003
http://userpage.fu-berlin.de/leinfelder/palaeo_de/edu/pdf_divers/Leinfelder_in_Hansch03.pdf
 (letzter Zugriff am 26.07.2021).
- Probst, Nik: Biologische Vielfalt. 2013
https://www.thuenen.de/media/institute/sf/Aktuelles/TI-Kolumne/K23_Q2_2013_Biologische_Vielfalt.pdf (letzter Zugriff am 07.08.2021).
- Roder, Cornelia; Heiss, Georg A.: Korallenriffe - Auswirkungen von Erwärmung und Versauerung auf die Biodiversität. 2016 https://www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/biodiversitaet/warnsignal_klima-die_biodiversitaet-kapitel-4_7.pdf (letzter Zugriff am 11.08.2021).

7.2.2 Internetquellen ohne Autor

- Australian Institute of Marine Science: Crown-of-thorns starfish. 01.08.2013
<https://photos.aap.com.au/asset/20130801000751244654> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Australian Academy of Science: Biodiversity of the Great Barrier Reef. 2016
<https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).

- Deloitte. Access Economics: At what price? The economic, social and icon value of the Great Barrier Reef. 2017
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-great-barrier-reef-230617.pdf> (letzter Zugriff am 07.08.2021).
- Great Barrier Reef Foundation: Coral Bleaching. 2022
<https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/coral-bleaching> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Great Barrier Reef Foundation: Crown-of-Thorns Starfish. 2021
<https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/Crown-of-thorns%20starfish> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Great Barrier Reef Foundation: This is the critical decade for coral reef survival. 18.10.2021
<https://barrierreef.org/news/blog/this-is-the-critical-decade-for-coral-reef-survival> (letzter Zugriff am 02.01.2022).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Biodiversity. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/biodiversity> (letzter Zugriff am 04.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Climate Change. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change> (letzter Zugriff am 10.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coastal development. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/coastal-development> (letzter Zugriff am 14.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coastal ecosystems. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/coastal-ecosystems> (letzter Zugriff am 05.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coral Bleaching. 2017
https://www.gbrmpa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/252385/GBRMPA_CoralBleaching_FactSheet_Updated5May2017.pdf (letzter Zugriff am 11.08.2021).

- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Corals. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/corals> (letzter Zugriff am 28.07.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Crown-of-thorns starfish control program. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/our-programs-and-projects/crown-of-thorns-starfish-management/crown-of-thorns-starfish-control-program> (letzter Zugriff am 16.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Land-based run-off. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/declining-water-quality> (letzter Zugriff am 15.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Ocean acidification. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change/ocean-acidification> (letzter Zugriff am 12.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Our story. 2022
<https://www.gbrmpa.gov.au/about-us/about-us> (letzter Zugriff am 03.01.2022).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Reef facts. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/reef-facts> (letzter Zugriff am 07.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Sea temperature. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/threats-to-the-reef/climate-change/sea-temperature> (letzter Zugriff am 11.08.2021).
- Great Barrier Reef Marine Park Authority: Tourism on the Great Barrier Reef. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/our-work/Managing-multiple-uses/tourism-on-the-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 24.08.2021).
- NASA Visible Earth: Great Barrier Reef, Australia. 2012
<https://visibleearth.nasa.gov/images/122245/great-barrier-reef-australia/122249l> (letzter Zugriff am 05.08.2021).

- National Center for Biotechnology Information: The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. 2012 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497744/> (letzter Zugriff am 09.08.2021).
- National Geographic Society: Coral. 13.09.2019 <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/coral/> (letzter Zugriff am 28.07.2021).
- National Geographic Society: No-take zone. 20.06.2011 <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/no-take-zone/> (letzter Zugriff am 27.12.2021).
- Oxford University Press: Abiotisch. 2021 <https://languages.oup.com> (letzter Zugriff am 16.07.2021).
- Oxford University Press: Biotisch. 2021 <https://languages.oup.com> (letzter Zugriff am 20.07.2021).
- Reef Restoration Foundation. 2021 <https://reefrestorationfoundation.org> (letzter Zugriff am 30.10.2021).
- SCORE International: Why coral reefs need our help. 2018 <https://www.score.org/site/corals/detail/why-coral-reefs-need-our-help.23.html> (letzter Zugriff am 02.01.2022).
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Holozän. 2000 <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/holozaen/7053> (letzter Zugriff am 23.02.2022).
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Korallen. 2000 <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/korallen/8783> (letzter Zugriff am 28.07.2021).
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Steinkorallen. 1999 <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/steinkorallen/63531> (letzter Zugriff am 28.07.2021).

- The University of Sydney: Great Barrier Reef protecting against landslides, tsunamis. 25.11.2015 <https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2015/11/25/great-barrier-reef-protecting-against-landslides--tsunamis-.html> (letzter Zugriff am 27.12.2021).
- Tourism and Events Queensland: Schutz des Great Barrier Reef. 08.05.2021 <https://www.queensland.com/de/de/places-to-see/experiences/great-barrier-reef/caring-for-the-great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 05.01.2022).
- Umwelt Bundesamt für Mensch und Umwelt: Korallen durch Klimaerwärmung stark gefährdet. 04.10.2012 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/357/publikationen/korallenriffe_durch_klimaerwaermung_stark_gefaehrdet.pdf (letzter Zugriff am 07.07.2021).
- UNESCO World Heritage Centre: Great Barrier Reef. <https://whc.unesco.org/en/list/154/> (letzter Zugriff am 06.08.2021).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Hauptgutachten. Welt im Wandel. Menschheitserbe Meer. 2013 https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2013/pdf/wbgu_hg2013.pdf (letzter Zugriff am 17.08.2021).
- WWF: The Starfish that eat the reef. 2015 <https://www.wwf.org.au/ArticleDocuments/353/pub-the-starfish-that-eat-the-reef-11dec15.pdf.aspx?Embed=Y> (letzter Zugriff am 15.08.2021).
- WWF-Australia: COTS Report 2018. 2018 https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjrgZuCG6byAhVth_0HHeRZBF4QFnoECDcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.wwf.org.au%2FArticleDocuments%2F353%2FWWF-CROWN_OF_THORNS-REPORT.pdf.aspx&usg=AOvVaw1cNSmPhxDIs1RZE1Wrr8F0 (letzter Zugriff am 10.08.2021).
- WWF-Australia: Great Barrier Reef. 2018 <https://www.wwf.org.au/what-we-do/oceans/great-barrier-reef#gs.8ard5b> (letzter Zugriff am 06.08.2021).

7.3 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Steinkorallenpolypen und seines Skelettes8
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Korallen. 2000
<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/korallen/8783> (letzter Zugriff am 28.07.2021).
- Abbildung 2: Schematische Darstellung der Septensymmetrie. Octocorallia (links) und Hexacorallia (rechts)9
Van Treeck, Peter: Korallenriffe. Lebendige Metropolen im Meer. Darmstadt: WGB (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 2017, S. 19.
- Abbildung 3: Massenlaichen am Great Barrier Reef im Jahr 2021 10
Campbell, Sara: Everything you need to know about coral spawning on the Great Barrier Reef. 2021 <https://www.queensland.com/us/en/places-to-see/experiences/great-barrier-reef/coral-spawning> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Abbildung 4: Globale Verbreitung der tropischen Flachwasserriffe (rot) und tiefen Kaltwasserriffe (blau)..... 17
Hempel, Gotthilf; Bischof, Kai; Hagen, Wilhelm: Faszination Meeresforschung. Ein ökologisches Lesebuch. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017, S. 304.
- Abbildung 5: (links) Satellitenbild des Great Barrier Reefs..... 19
NASA Visible Earth: Great Barrier Reef, Australia. 2012
<https://visibleearth.nasa.gov/images/122245/great-barrier-reef-australia/122249l> (letzter Zugriff am 05.08.2021).
- Abbildung 6: (rechts) Geographische Lage des Great Barrier Reefs..... 19
Daley, Ben: The Great Barrier Reef. An environmental history. London, New York: Routledge Tylor & Francis Group, 2014, S. 2.
- Abbildung 7: Great Barrier Reef Marine Park21
Great Barrier Reef Marine Park Authority: Coastal ecosystems. 2021
<https://www.gbrmpa.gov.au/the-reef/coastal-ecosystems> (letzter Zugriff am 05.08.2021).

- Abbildung 8: Artenvielfalt des Great Barrier Reefs22
 Bolten, Götz: Great Barrier Reef. 24.03.2020 <https://www.planet-wissen.de/natur/meer/korallenriffe/great-barrier-reef-108.html> (letzter Zugriff am 07.08.2021).
- Abbildung 9: Funktionale Diversität der Fischgemeinschaften im indo-pazifischen Ozean, zu dem auch das Gebiet des Great Barrier Reefs gehört.....23
 Australian Academy of Science: Biodiversity of the Great Barrier Reef. 2016 <https://www.science.org.au/curious/great-barrier-reef> (letzter Zugriff am 17.08.2021).
- Abbildung 10: Anomalien der Meeresoberflächentemperatur in den Gewässern des Great Barrier Reefs, 1900-2018.....26
 Great Barrier Reef Marine Park Authority: Great Barrier Reef Outlook Report 2019. 2019 <https://elibrary.gbrmpa.gov.au/jspui/bitstream/11017/3474/10/Outlook-Report-2019-FINAL.pdf>, S. 56 (letzter Zugriff am 20.08.2021).
- Abbildung 11: Korallenbleichen am Great Barrier Reef.....27
 Great Barrier Reef Foundation: Coral Bleaching. 2022 <https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/coral-bleaching> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Abbildung 12: Dornenkronenseesterne.....31
 Australian Institute of Marine Science: Crown-of-thorns starfish. 01.08.2013 <https://photos.aap.com.au/asset/20130801000751244654> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Abbildung 13: Taucher injiziert Dornenkronenseestern.....32
 Great Barrier Reef Foundation: Crown-of-Thorns Starfish. 2021 <https://www.barrierreef.org/the-reef/threats/Crown-of-thorns%20starfish> (letzter Zugriff am 23.01.2022).
- Abbildung 14: „Nursery Station“ der Reef Restoration Foundation38
 Reef Restoration Foundation. 2021 <https://reefrestorationfoundation.org> (letzter Zugriff am 30.10.2021).

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angeführten Behelfe verfasst habe. Alle aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift