



Fakultät 3 Gesellschaftswissenschaften  
Internationaler Studiengang Angewandte Freizeitwissenschaft B.A.

## Bachelor-Thesis

# **Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe - Die Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen -**

Erstgutachter:

Prof. Dr. Bernd Stecker

Zweitgutachter:

Dr. Dieter Brinkmann

Eingereicht von:

Julia Vartmann



Matrikelnummer: 5133554

E-Mail: [julia.vartmann@gmail.com](mailto:julia.vartmann@gmail.com)

Eingereicht:

Bremen, den 09.04.2024

## Zusammenfassung

Korallenriffe bieten zahlreiche und bedeutende ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Werte. In den letzten Jahrzehnten ist die Gesamtfläche lebender Korallenriffe jedoch drastisch zurückgegangen und das Ökosystem Korallenriff ist massiv gefährdet. Der anthropogene Klimawandel stellt die weitaus größte Bedrohung für Korallenriffe dar. Die Zunahme freigesetzter Treibhausgase bewirkt einen weltweiten Temperaturanstieg und eine Versauerung der Ozeane. Dies hat dramatische Folgeauswirkungen für die von Korallenriffen abhängigen lokalen Gemeinschaften, Kulturen und Wirtschaftssektoren, wie auch der Tourismus.

Was bislang fehlt, ist eine Übersichtsarbeit mit touristischem Schwerpunkt zu den ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Auswirkungen auf den Tourismus in Korallenriffdestinationen und eine, die dieses anschaulich zusammenfasst. Aufgrund dessen ist es Ziel der Arbeit, genau dieses Wissen zusammenzutragen und anhand einer systematischen Zusammenschau die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und auf den Tourismus in Korallenriffdestinationen zu erforschen. Durch die gewonnenen Ergebnisse wird die Zukunft des Korallenrifftourismus in zwei Szenarien betrachtet. Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels wird es trotz Schutzbemühungen zu einem fortlaufenden Korallensterben kommen, was eine Anpassung und Neuausrichtung des jetzigen Korallenrifftourismus notwendig macht. Neben der wichtigsten Maßnahme, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und damit die Ursache des Klimawandels zu bekämpfen, werden weitere Handlungsempfehlungen genannt, die Möglichkeiten zum Schutz der Korallenriffe und der nachhaltigen Entwicklung des Tourismus zeigen.

## **Abstract**

Coral reefs provide numerous and significant ecological, economic, and socio-cultural values. However, in the past few decades, the total area of living coral reefs has drastically decreased, placing the coral reef ecosystem in significant jeopardy. Anthropogenic climate change represents the greatest threat to coral reefs. The increase in greenhouse gas emissions leads to a global temperature rise and acidification of the oceans. These changes have dramatic subsequent impacts on local communities, cultures, and economic sectors dependent on coral reefs, including tourism.

What has been missing so far is a review with a tourism focus on the ecological, economic, and socio-cultural impacts on tourism in coral reef destinations, and one that summarizes this. Therefore, the aim of this thesis is to compile this knowledge and to explore the impacts of climate change on coral reefs and on tourism in coral reef destinations through a systematic review. Based on the results obtained, the future of coral reef tourism is considered in two scenarios. Due to ongoing climate change, there will be continued coral mortality despite conservation efforts, necessitating an adaptation and reorientation of current coral reef tourism. In addition to the most important measure of reducing greenhouse gas emissions and thus combating the cause of climate change, further recommendations for action are mentioned that show possibilities for protecting coral reefs and the sustainable development of tourism.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Problem- und Fragestellung .....	2
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit .....	3
<b>2</b>	<b>Methoden</b> .....	<b>4</b>
2.1	Erhebungsmethode.....	4
2.2	Auswertungsmethode.....	4
<b>3</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b> .....	<b>5</b>
3.1	Korallenriffe .....	5
3.1.1	Ökosystem Korallenriff .....	5
3.1.2	Korallenriffdestinationen und Tourismus .....	12
3.1.3	Gefährdung von Korallenriffen durch anthropogene Einflüsse .....	14
3.2	Klimawandel.....	16
3.2.1	Faktoren, Ursachen und Auswirkungen.....	16
3.2.2	Tourismus als Mitverursacher des Klimawandels .....	19
<b>4</b>	<b>Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und die Destinationen</b> .....	<b>22</b>
4.1	Ökologische Auswirkungen .....	22
4.2	Ökonomische Auswirkungen .....	27
4.3	Sozio-kulturelle Auswirkungen.....	29
4.4	Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffdestinationen.....	32
4.5	Szenarien für Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen.....	37
<b>5</b>	<b>Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>41</b>
5.1	Lösungsansätze .....	41
5.2	Handlungsempfehlungen .....	42
5.2.1	Reduzierung der Treibhausgasemissionen.....	43
5.2.2	Erweiterung der Meeresschutzgebiete .....	44
5.2.3	Reduzierung lokaler Stressoren .....	46
5.2.4	Förderung nachhaltiger Tourismuspraktiken.....	47
5.2.5	Restaurierung von Korallenriffen und Korallenzucht.....	51
5.2.6	Entwicklung alternativer Tourismusangebote.....	53
<b>6</b>	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	<b>55</b>

Literaturverzeichnis .....59

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Weltweite Verteilung von Warmwasserkorallenriffen .....	7
<b>Abbildung 2:</b> Ökonomischer Wert des Rifftourismus, differenziert nach On-Reef und Reef-Adjacent .....	12
<b>Abbildung 3:</b> Anteil des Tourismus am Export der vom Tourismus abhängigsten Staaten weltweit im Jahr 2018, differenziert nach Ländern mit und ohne Korallenriffe und SIDS .....	13
<b>Abbildung 4:</b> Ökonomischer Wert von Korallenriffen für den Tourismus .....	14
<b>Abbildung 5:</b> Globale durchschnittliche Temperaturanomalie und durchschnittlicher CO <sub>2</sub> - Gehalt in der Atmosphäre über die letzten 800.000 Jahre .....	17
<b>Abbildung 6:</b> Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen des Klimawandels .....	18
<b>Abbildung 7:</b> Stark vereinfachte, schematische Darstellung zur Veranschaulichung der entstandenen Tourismusbranche als Treibhausgas-Emittent .....	19
<b>Abbildung 8:</b> Prozentuale Verteilung des Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck des globalen Tourismus .....	20
<b>Abbildung 9:</b> Anzahl von mäßigen und schweren Korallenbleichen .....	24
<b>Abbildung 10:</b> Jährlich erwarteter Nutzen von Korallenriffen für den Hochwasserschutz. Schätzungen der Auswirkungen von Riffen auf vermiedene Überschwemmungen für Land, Menschen, exponiertes Kapital und beschädigtes Kapital .....	28
<b>Abbildung 11:</b> Der Zyklus und das Paradoxon des Last-Chance-Tourismus am Beispiel von Korallenriff-Tourismus .....	36
<b>Abbildung 12:</b> Entwicklung und Zukunftsschätzungen der globalen durchschnittliche Oberflächentemperatur anhand der fünf IPCC-Emissions-Szenarien .....	37
<b>Abbildung 13:</b> Lösungen für Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und zusätzlich, in orange hervorgehoben für Korallenriffdestinationen .....	41
<b>Abbildung 14:</b> Anteil der weltweiten Korallenriffe in Meeresschutzgebieten und deren unterschiedliche Managementeffektivität .....	45
<b>Abbildung 15:</b> Darstellung von Maßnahmen im Tourismus für einen nachhaltigen Riffschutz .....	48
<b>Abbildung 16:</b> Foto einer Korallenaufzuchtstation der Coral Gardeners bei der angebotenen "Deep Dive Xperience" in Französisch-Polynesien .....	52

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1:</b> Zusammenfassende Darstellung der Güter und Dienstleistungen von Korallenriffen .....	9
<b>Tabelle 2:</b> Maßnahmen zur Reduzierung lokaler Stressoren für Korallenriffe .....	46

## Abkürzungsverzeichnis

AIMS	Australian Institute of Marine Science
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
FUR	Forschungsgemeinschaft Urlaub und Reisen
GBRMPA	Great Barrier Reef Marine Park Authority
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IISD	International Institute for Sustainable Development
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUCN	International Union for Conservation of Nature
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SIDS	Small Island Developing States
SSPs	Shared Socioeconomic Pathways
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNWTO	United Nations World Tourism Organization
WTO	World Tourism Organization
WWF	World Wildlife Fund For Nature

## **Gender-Hinweis**

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Hausarbeit das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

# 1 Einleitung

Korallenriffe sind bekannt für ihre Schönheit und bunte Vielfalt an Meeresbewohnern. Es ist daher kaum verwunderlich, das Schnorcheln und Tauchen in Korallenriffdestinationen beliebte riffbasierte Freizeitaktivitäten darstellen. Doch ihre Bedeutung erstreckt sich weit über ihre ästhetische Anziehungskraft hinaus. Korallenriffe gehören zu den biologisch vielfältigsten Ökosystemen auf der Erde und sind von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit der Ozeane und die Zukunft unseres Planeten. Obwohl sie weniger als ein Prozent des gesamten Meeresbodens ausmachen, sind diese Riffe Heimat für ein Viertel aller Meereslebewesen und versorgen über 500 Millionen Menschen mit Nahrung und Ressourcen (Battaglia, 2023; IUCN 2017). Sie dienen somit als wichtige Lebensgrundlage für diese Menschen. Auch im Hinblick auf den Tourismus bieten Korallenriffe einen ökonomischen Wert, der insbesondere aus den Einnahmen des riffbasierten Tourismus resultiert (IISD, 2021). Der Korallenrifftourismus stellt eine bedeutende und weiterhin expandierende Branche dar, die weltweit in mehr als 100 Ländern Arbeitsplätze schafft und Einkommen generiert (Spalding et al., 2017).

Während Korallenriffe sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich wertvoll sind, stehen sie gleichzeitig vor einer der größten Bedrohungen des 21. Jahrhunderts, dem Klimawandel. Korallenriffe sind komplexe, fragile Strukturen, die sich im Laufe von Jahrtausenden gebildet haben und schon seit Millionen von Jahren existieren. Umso alarmierender ist es, dass sich seit den 1950er Jahren der globale Bestand an lebenden Korallen halbiert hat (Eddy et al., 2021). Der Rückgang ist durch anthropogene Einflüsse von außen zu begründen, die unter anderem durch die Verschmutzung der Meere, Überfischung, physikalische Schäden durch Landgewinnung oder Tourismusaktivitäten, insbesondere aber durch die Auswirkungen des Klimawandels verursacht werden. Letztere bedrohen Korallenriffe durch steigende Wassertemperaturen, die zu Korallenbleichen und damit zum Absterben der Korallen führen (IISD, 2021). Der Verlust der Korallen hat weitreichende und vielzählige Folgen für das Ökosystem der Korallenriffe sowie auf den Tourismus und die Menschen, die von diesem wirtschaftlich abhängig sind.

In dieser Arbeit werden die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe unter Berücksichtigung des Tourismus in Korallenriffdestinationen vorgestellt. Die Zukunft des Korallenrifftourismus wird anhand verschiedener Szenarien betrachtet und diskutiert.

## **1.1 Problem- und Fragestellung**

Der Klimawandel gefährdet Ökosysteme weltweit. Besonders davon betroffen sind Korallenriffe als äußerst fragile Ökosysteme. In den letzten Jahrzehnten ist der weltweite Korallenbestand durch äußerliche Einwirkungen, insbesondere durch den anthropogenen Klimawandel, drastisch gesunken. Die Menschheit steht vor der anspruchsvollen Herausforderung, die wertvollen Korallenriffe zu schützen und dem Verlust dieser Ökosysteme entgegenzuwirken sowie den Tourismus in Korallenriffdestinationen in eine nachhaltige und zukunftsorientierte Richtung zu lenken.

Zum Themenkomplex Korallenriffe, Klimawandel und Tourismus gibt es zahlreiche wissenschaftliche Publikationen, Artikel in diversen Printmedien und Dokumentarfilme. Jedoch fehlt bisher eine systematische Zusammenschau, welche die vielzähligen Literaturdaten und Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und Korallenriffdestinationen strukturiert erfasst, analysiert und in ihrer Bedeutung, Relevanz und Tragweite für die Förderung eines nachhaltigen Tourismus in Korallenriffdestinationen ausführlich bewertet.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich die zentralen Forschungsfragen, welche Auswirkungen der Klimawandel auf Korallenriffe hat und wie die Zukunft der Korallenriffdestinationen in verschiedenen Szenarien prognostiziert werden kann.

Hinsichtlich dieser beiden Forschungsfragen gilt es zu untersuchen:

1. Inwiefern ist Tourismus Mitverursacher des Klimawandels?
2. Wie wirkt sich der Klimawandel auf Korallenriffdestinationen aus?
3. Wie beeinflusst der Klimawandel den Rifftourismus?
4. Welche Lösungsmöglichkeiten und Handlungsempfehlungen ergeben sich daraus?
5. Welche Alternativen gibt es für einen Tourismus ohne Korallenriffe?

## **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist es, eine systematische Zusammenschau der Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe zu erstellen. Diese Auswirkungen sollen in Bezug auf die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Sozio-kulturell – systematisch erfasst, analysiert und hinsichtlich ihrer aktuellen sowie zukünftigen Bedeutung für Korallenriffdestinationen und den dortigen Tourismus bewertet werden. Des Weiteren ist vorgesehen, Szenarien zu entwerfen, die eine Perspektive auf die zukünftige Entwicklung der Korallenriffdestinationen bieten sollen. Aus dem Ergebnis der systematischen

Zusammenschau sollen abschließend Lösungsvorschläge und mögliche Handlungsempfehlungen für den Schutz von Korallenriffen und die Zukunft und Förderung einer nachhaltigen Tourismusentwicklung in Korallenriffdestinationen hergeleitet und dargestellt werden.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Damit ein theoretischer Hintergrund geschaffen wird, setzt sich diese Arbeit nach Vorstellung der Methoden in Kapitel 2 mit den Korallenriffen als Tourismusdestination und dem Klimawandel in Kapitel 3 auseinander. In Kapitel 3.1 wird das Ökosystem Korallenriff beschrieben und die ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Bedeutung aufgezeigt. Die Bedeutung von Korallenriffen als Tourismusdestination wird dabei detailliert in Kapitel 3.1.2 betrachtet. Die anthropogenen Einflüsse auf die Korallenriffe werden in Kapitel 3.1.3 untersucht. Kapitel 3.2 behandelt den Klimawandel und den Tourismus als Mitverursacher. Nachdem die Grundlage für die Thematik geschaffen wurde, stellt Kapitel 4 in einer systematischen Zusammenschau die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe dar und gliedert diese in ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Auswirkungen. In Kapitel 4.4 werden separat die Auswirkungen für den Tourismus in Korallenriffdestinationen analysiert. Aus den daraus gewonnenen Einblicken und den wissenschaftlichen Prognosen zum Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur, werden in Kapitel 4.5 Zukunftsszenarien für den Tourismus in Korallenriffdestinationen hergeleitet. Aus den Ergebnissen der systematischen Zusammenschau und den entwickelten Szenarien werden in Kapitel 5 mögliche Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen vorgestellt, um den Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken und um den Tourismus in Korallenriffdestinationen nachhaltig zu sichern. Die Arbeit schließt mit einem Fazit und einem Ausblick in Kapitel 6 ab. Die Forschungsfragen und wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit werden dort abschließend zusammenfassend beantwortet und mit Blick auf die Zukunft der Korallenriffe und Korallenriffdestinationen kritisch reflektiert.

## **2 Methoden**

Kapitel 2 stellt vor, wie die Forschung für die vorliegende Arbeit durchgeführt wurde und wie die Ergebnisse hergeleitet wurden.

### **2.1 Erhebungsmethode**

Als Erhebungsmethode für Daten und Informationen im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird die Methode der Literaturrecherche angewendet. Dabei werden unterschiedlichste Quellen, darunter wissenschaftliche Publikationen, Artikel in diversen digitalen und gedruckten Medien, Dokumentarfilme zum Themenkomplex Korallenriffe, Klimawandel und Tourismus, herangezogen und analysiert, um eine breite Übersicht an relevanter Literatur zu gewährleisten. Es wird sich sowohl auf deutsch- als auch auf englischsprachige Literatur bezogen.

Diese umfassende Literatur- und Internetrecherche bildet das Fundament für die systematische Zusammenschau und Analyse der Ergebnisse in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit.

### **2.2 Auswertungsmethode**

Die gewonnenen Daten und Informationen der Literaturrecherche werden im Rahmen einer Sekundärquellenanalyse ausgewertet. Die Sekundärquellenanalyse bezeichnet eine Vorgehensweise, bei der bereits existierende Daten genutzt werden, um eine Forschungsfrage zu beantworten (Medjedović, 2010). Relevante Daten werden für diese Arbeit systematisch aufbereitet und in Bezug auf die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Sozio-kulturell – analysiert.

Diese umfassende Analyse ermöglicht es, Zusammenhänge und Muster in den bereits vorhandenen Informationen zu identifizieren und neue Erkenntnisse zu gewinnen, die zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen. Des Weiteren trägt sie dazu bei, mögliche bestehende Lücken in der Forschung zu erkennen.

## **3 Theoretischer Hintergrund**

Vor der Vertiefung in die komplexe Thematik der Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und deren Folgen für den Tourismus ist es wichtig, einen theoretischen Hintergrund zu schaffen. Dieses Kapitel legt den Grundstein für das Verständnis der komplexen Interaktionen zwischen dem Ökosystem Korallenriff, Tourismus und Klimawandel.

Zunächst wird in Kapitel 3.1 das Ökosystem Korallenriff und dessen ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Bedeutung, die spezifische Rolle des Tourismus in Korallenriffdestinationen und die Gefährdung durch anthropogene Einflüsse behandelt. In Kapitel 3.2 wird der natürliche Klimawandel vom anthropogenen abgegrenzt, seine Auswirkungen im Allgemeinen und die Rolle des Tourismus als Mitverursacher untersucht.

### **3.1 Korallenriffe**

Die Relevanz von Korallenriffen in Bezug auf ökologische, wirtschaftliche und sozio-kulturelle Aspekte ist von großer Bedeutung. Dieses Kapitel bietet einen Überblick über das marine Ökosystem und umfasst die Verbreitung, die Bedeutung sowie Potenziale von Korallenriffen. Insbesondere wird die Relevanz des Tourismus für Korallenriffdestinationen näher untersucht. Darüber hinaus soll ein kurzer Überblick zur Gefährdung von Korallenriffen durch anthropogene Einflüsse geschaffen werden, ohne jedoch den Einfluss des Klimawandels zu berücksichtigen. Dieser wird umfassend in Kapitel 4 behandelt.

#### **3.1.1 Ökosystem Korallenriff**

Korallenriffe sind eine der ältesten Formen von marinen Lebensgemeinschaften und verfügen über eine geologische Geschichte von mehr als 500 Millionen Jahren (Lalli & Parsons, 1997). Sie entstehen über einen langen geologischen Zeitraum durch die Ansammlung großer Mengen von Kalziumkarbonat, das von riffbildenden Korallen, auch Hart- oder Steinkorallen genannt, über viele Jahrhunderte abgelagert und durch andere Organismen aufgebaut und erhalten wird (Spalding et al., 2001). Von den Hartkorallen, die das Riff bilden, sind Weichkorallen zu unterscheiden, die in ihrer Struktur flexibler sind und nicht direkt zum Aufbau der Riffstruktur beitragen. Korallen sind koloniebildende wirbellose Meerestiere, die aus vielen Polypen bestehen und ein Skelett bilden (Leinfelder et al., 2002). Sie leben in einer Endosymbiose mit Zooxanthellen, Algen, die sich innerhalb der Korallenpolypen befinden und den Korallen ihre Farbe geben (Leinfelder et al., 2002). Eine Endosymbiose beschreibt eine symbiotische Beziehung, in der ein Organismus innerhalb des anderen lebt und beide voneinander profitieren (Sheppard et al., 2017). Die Zooxanthellen betreiben Photosynthese und decken damit bis zu 90% des Energiebedarfs der Korallen (Guidry & Machenzie, 2013).

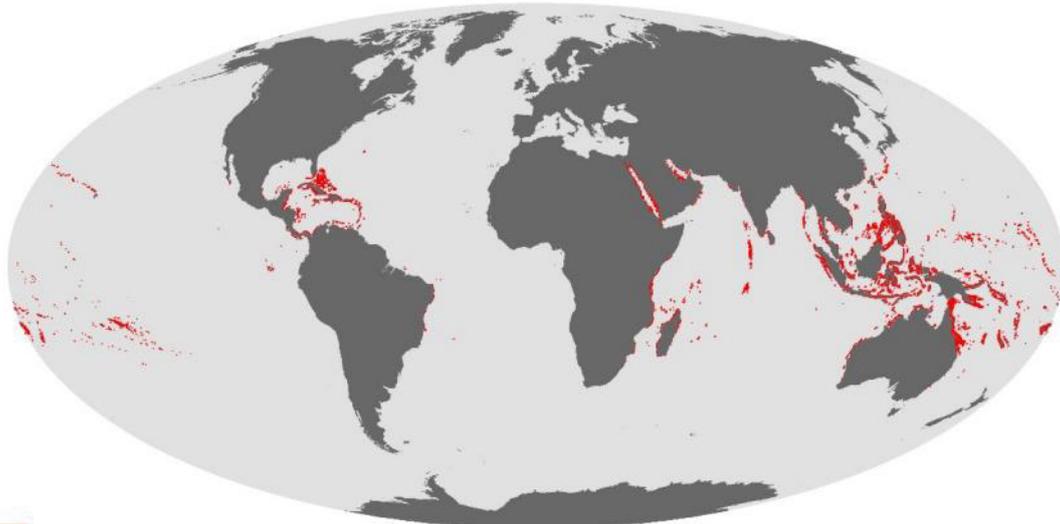
Im Gegenzug bieten Korallen den Zooxanthellen Schutz, Nährstoffe und einen Lebensraum, um die Photosynthese effizient durchführen zu können (Guidry & Machenzie, 2013). Diese symbiotische Beziehung zwischen den Zooxanthellen und den Korallenpolypen ist äußerst wichtig für die Gesundheit und das Überleben der Korallen.

Abseits unterschiedlicher Korallenarten können Korallenriffe in drei verschiedene Riffform-Typen eingeteilt werden: Saumriffe, Barriereriffe und Atolle. Die verschiedenen Riffform-Typen weisen unterschiedliche Merkmale auf und interagieren darüber hinaus mit anderen marinen Ökosystemen wie Mangrovenwäldern, Seegraswiesen und dem offenen Ozean, welche die ökologische Gesundheit und die ökologischen Dienstleistungen der Riffe beeinflussen (Moberg & Folke, 1999).

Weltweit kommen Korallenriffe sowohl in warmen als auch in kalten Gewässern bis zu 6.000 Metern Tiefe vor (Sobha et al., 2023). Zu unterscheiden ist hier zwischen Kaltwasser-Korallenriffen und Warmwasser-Korallenriffen, wobei sich diese Arbeit nur mit letzteren, den tropischen Korallenriffen in warmen Gewässern, befasst. Grund dafür ist, dass Warmwasser-Korallenriffe für den Tourismus leichter zugänglich sind und die Wassertemperatur angenehmer zum Schnorcheln und Tauchen ist. Tourismus in Kaltwasser-Korallenriffen, insbesondere in großen Tiefen, ist kaum möglich.

Warmwasser-Korallenriffe kommen, wie in Abbildung 1 dargestellt, weltweit in tropischen und subtropischen Regionen vor. Am weitesten verbreitet sind sie jedoch im Indo-West-Pazifik, insbesondere in der indonesisch-philippinischen Region, die auch als Korallendreieck bekannt ist und die größte Artenvielfalt aufweist (Sheppard et al., 2017). Die Verbreitung und das Vorkommen hängen von verschiedenen Faktoren, wie Wassertemperatur, Sonnenlicht, Meeresströmungen, Salzgehalt, Sedimenten und Nährstoffen ab (Lalli & Parsons, 1997). Sie kommen vor allem in warmen, flachen Gewässern vor, in denen ausreichend Sonnenlicht für ihr Wachstum vorhanden ist. In der Regel sind sie auf Wassertiefen von weniger als 46 Metern beschränkt (Sobha et al., 2023). Ihr bestes Wachstum tritt üblicherweise in einem Temperaturbereich von 23°C bis 29°C auf (Lalli & Parsons, 1997). Korallenriffe sind sehr empfindlich gegenüber Veränderungen ihrer Umwelt. Beispielsweise können Wassertemperaturen, die zu kalt oder zu warm sind, den Korallen gesundheitlich schaden. Zudem wachsen Korallen nur sehr langsam, einige nur mit einer Wachstumsrate von 3-20 mm pro Jahr, weshalb es Millionen von Jahren dauern kann, bis sich Riffe gebildet haben (Miththapala, 2008). Steinkorallen bauen ihre Skelette auf, indem jeder Polyp Kalzium aus dem Meerwasser aufnimmt und schrittweise in Schichten von Kalziumcarbonat ablagert, auch Kalzifizierung genannt, und das vertikale Wachstum ermöglicht (Heemsoth, 2014). Viele Korallen vermehren sich durch massenhaftes Laichen, wobei sich frei schwimmende Larven

bilden, die sich durch Strömungen auf einem Riff niederlassen und zu neuen Korallenkolonien heranwachsen (AIMS, o.D. a). Dies trägt zur horizontalen Ausbreitung und Konnektivität von Riffen bei. Die Konnektivität ist wichtig, da sie durch den Austausch von Larven zwischen entfernten Riffen zur genetischen Vielfalt, Resilienz und Erholung der Korallenriffe angesichts von Umweltveränderungen beiträgt (AIMS, o.D. b).



Warm-water coral reefs

**Abbildung 1:** Weltweite Verteilung von Warmwasserkorallenriffen.  
Quelle: UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WIR & TNC, 2021.

Korallenriffe sind äußerst fragile Strukturen und komplexe Ökosysteme in unseren Ozeanen, die einen hohen Wert für das Leben unter Wasser, aber auch für das über Wasser haben. Sie stellen eine Vielzahl an Gütern und Dienstleistungen bereit, die sowohl für das ökologische Gleichgewicht als auch für das menschliche Wohlbefinden von großer Bedeutung sind. Der geschätzte jährliche Wert der von Korallenriffen bereitgestellten Güter und Dienstleistungen beträgt 2,7 Billionen US-Dollar (Souter et al., 2021). Die Güter und Dienstleistungen von Korallenriffen werden folgend näher erläutern und als Zusammenfassung in Tabelle 1 dargestellt.

### **Ökologische Dienstleistungen**

Trotz ihrer geringen Abdeckung von lediglich 0,2% des Meeresbodens beherbergen Korallenriffe mit 25% der marinen Biodiversität einen außerordentlich hohen Anteil biologischer Vielfalt (Sobha et al., 2023). Weltweit leben 830.000 Arten von Pflanzen und Tieren auf Korallenriffen, wovon etwa 74% noch unentdeckt sind (Souter et al., 2021). Die Anzahl der Riffischarten wird auf 6.000 bis 8.000 geschätzt (Sheppard et al., 2017). Neben der Endosymbiose zwischen Korallen und Zooxanthellen gibt es innerhalb des Riffökosystems eine Vielzahl von weiteren symbiotischen Beziehungen, Lebensgemeinschaften zwischen

verschiedenen Organismen mit unterschiedlichen Abhängigkeitsformen (Leinfelder et al., 2002). Zahlreiche Fischarten nutzen Riffe zudem als Laichgebiet, um ihre Eier abzulegen und ihre Nachkommen aufzuziehen (Sheppard et al., 2017). Korallenriffe bieten somit einen wichtigen Lebensraum und dienen als wichtige Nahrungsquelle für viele marine Organismen. Dadurch unterstützen sie den Erhalt der Artenvielfalt und vieler weiterer wichtiger biologischer Prozesse und Dienstleistungen.

Neben den biologischen und biogeochemischen Dienstleistungen bieten Korallenriffe Informationsdienstleistungen. Korallenriffe bieten wertvolle Informationen zur Überwachung und Aufzeichnung und dienen als Schlüsselindikatoren für Umweltverschmutzung und Klimaveränderungen (Battaglia, 2023). Durch die Analyse von Wachstumsringen in Korallenskeletten, ähnlich den Jahresringen von Bäumen, können Forschende zurückliegende Umweltbedingungen, einschließlich Schadstoffeinlagerungen und Temperaturschwankungen, bis zu 1.000 Jahre in die Vergangenheit rekonstruieren (Leinfelder et al., 2002). Daher haben sie eine große Bedeutung und einen hohen Forschungswert.

### ***Küstenschutz und Landgewinnung***

Riffe bieten in 100 Ländern und Gebieten entlang von mehr als 150.000 km Küstenlinie einen Schutzmechanismus, von dem Millionen Menschen profitieren (Burke et al., 2011). Meta-Analysen zeigen auf, dass Korallenriffe die Energie von Wellen erheblich mindern – im Durchschnitt um 97 % – und somit einen signifikanten Beitrag zum Schutz von Küstengebieten vor den Auswirkungen von Wellen und Sturmfluten leisten können (Ferrario et al., 2014). Zudem reduzieren Korallenriffe die jährlichen Kosten der Sturmschäden um über 4 Milliarden US-Dollar (Beck et al., 2018). Durch den natürlichen Prozess der Wellenbewegungen brechen versteinerte Korallenstücke ab, werden als Strandmaterial an die Küste gespült und tragen somit auch zur Landgewinnung bei (Sobha et al., 2023).

<b>Ökologische Dienstleistungen</b>	<b>Physische Struktur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Küstenschutz</li> <li>• Landgewinnung</li> <li>• Wachstumsförderung von Mangroven und Seegraswiesen</li> </ul>
	<b>Biologisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt von Lebensräumen</li> <li>• Erhalt der Arten- und Genvielfalt</li> <li>• Regulation von Ökosystemprozessen und -funktionen</li> <li>• Biologische Erhaltung der Resilienz</li> <li>• Biologische Unterstützung anderer Ökosysteme</li> <li>• Export von organischer Produktion und Plankton in pelagische Nahrungsnetze</li> </ul>
	<b>Biogeochemisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stickstoffbindung</li> <li>• Kohlenstoffdioxid- und Kalziumhaushaltskontrolle</li> <li>• Abfallverwertung</li> </ul>
	<b>Information</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung und Schadstoffaufzeichnung</li> <li>• Klimaaufzeichnung und -kontrolle</li> </ul>
<b>Soziale und kulturelle Dienstleistungen</b>	<b>Sozial und kulturell</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erholungs- und Freizeitaktivitäten</li> <li>• Tourismus</li> <li>• Ästhetische Werte und künstlerische Inspiration</li> <li>• Erhalt der Lebensgrundlagen von Gemeinschaften</li> <li>• Teile von kulturellen, religiösen und spirituellen Werten</li> </ul>
<b>Güter</b>	<b>Erneuerbare Ressourcen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meeresfrüchteprodukte</li> <li>• Rohmaterialien (Seetang, Materialien für Schmuck und Dekoration)</li> <li>• Rohmaterialien/Starters für Medikamente</li> <li>• Lebende Fische und Korallen für Aquarien</li> </ul>
	<b>Abbau von Riffen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korallenblöcke, Schutt und Sand zum Bauen</li> <li>• Rohmaterialien für Kalk und Zement</li> <li>• Mineralöl und Gas</li> </ul>

**Tabelle 1:** Zusammenfassende Darstellung der Güter und Dienstleistungen von Korallenriffen.  
Quelle: In Anlehnung an Chaijaroen, 2022.

### ***Güter durch erneuerbare Ressourcen und Abbau***

Zu den von Korallenriffen bereitgestellten Gütern gehören erneuerbare Ressourcen wie lebende Fische und Korallen für Aquarien, Meeresprodukte wie Fische, Muscheln, Krebstiere und Algen, und Rohstoffe für z.B. Schmuck oder Medikamente (Moberg & Folke, 1999). Darüber hinaus werden Korallenriffe auch als Baumaterial abgebaut (Gomille, 2020). Um wertvolle Mineralien oder Ressourcen zu gewinnen, werden zudem Riffböden ausgegraben. (Moberg & Folke, 1999).

### ***Fischerei***

Korallenriffe bilden die Grundlage für eine vielfältige Fischerei, die sowohl lokal als auch für den globalen Export von Bedeutung ist (Hoegh-Guldberg et al., 2019). Weltweit gibt es 6 Millionen Riffischer, die als Riffischerei zusammengefasst Einnahmen von etwa 6 Milliarden US-Dollar generieren (Teh et al., 2013). Die Asien-Pazifik-Region umfasst etwa 80% der weltweiten Riffgebiete und erwirtschaftet etwa 90% der Einnahmen aus der Riffischerei (Bartelet et al., 2024). Damit ist die Fischerei an Korallenriffen eine wichtige Lebensgrundlage für Fischer, insbesondere für lokale Gemeinschaften, da sie Nahrung, wichtige Nährstoffe und Proteine, Arbeitsplätze und Einkommen bietet.

### ***Medizinische Forschung und Nutzung***

Die bisherigen Forschungen, die sich mit der medizinischen Anwendung von chemischen Verbindungen, die aus Korallenriffen stammen, beschäftigt haben, umfassen Behandlung von Krankheiten wie Krebs, HIV oder Malaria (Burke et al., 2011). Zahlreiche antivirale Medikamente und Anti-Krebs-Wirkstoffe werden aus Extrakten von Schwämmen entwickelt, die in Korallenriffen vorkommen (Aravind, 2023). Beispielsweise basiert AZT, ein Medikament zur Behandlung von HIV-Infektionen, auf chemischen Verbindungen, die aus einem Schwamm im karibischen Riff extrahiert wurden (Molina Domínguez et al., 2006). Zudem werden Korallen aufgrund ihrer vermuteten anti-karzinogenen Eigenschaften als vielversprechendes Mittel für die Krebsforschung betrachtet und haben bereits zur Entwicklung des ersten marinen Anti-Krebs-Medikaments Cytosar-U® beigetragen, das zur Behandlung von Leukämie und Lymphom eingesetzt wird (Wali et al., 2019). Die Erforschung von Korallenriffen und den darin lebenden Meeresorganismen ist noch unvollständig, könnte jedoch in Zukunft ein großes Potenzial für die Behandlung von Krankheiten bieten.

### ***Erhaltung der Lebensgrundlage von Gemeinschaften***

Korallenriffe bieten Arbeitsplätze, Einkommen und tragen somit zur Lebensgrundlage für Gemeinschaften bei. Etwa eine Milliarde Menschen weltweit leben in einem Umkreis von 100 km um Korallenriffe, wovon in 60 Ländern sogar die gesamte Bevölkerung innerhalb dieses Radius wohnt (Sing Wong, 2022). Über 500 Millionen Menschen, überwiegend aus ärmeren

Ländern, sind weltweit von Korallenriffen abhängig, um ihren Lebensunterhalt zu verdienen, Küsten zu schützen, kulturelle Werte zu bewahren und Einnahmen zu erzielen (Hoegh-Guldberg et al., 2017; Battaglia, 2023). Insbesondere Small Island Developing States (SIDS), viele davon im Pazifik oder in der Karibik liegend, sind von Korallenriffen stark abhängig (Burke et al., 2011). SIDS sind eine Gruppe von Inselstaaten mit Entwicklungsbedürfnissen, die aufgrund ihrer besonderen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Bedrohungen, ihrer Abhängigkeit von begrenzten natürlichen Ressourcen und ihrer exponierten geografischen Lage besonders anfällig für Herausforderungen wie Klimawandel, Naturkatastrophen und Biodiversitätsverlust sind (United Nations, o.D. a). In SIDS leben 94% der Gesamtbevölkerung in einem Umkreis von 100 km zu einem Korallenriff (Sing Wong, 2022). Für viele Gemeinschaften, insbesondere für die vulnerablen SIDS, sichern Korallenriffe die Lebensgrundlage.

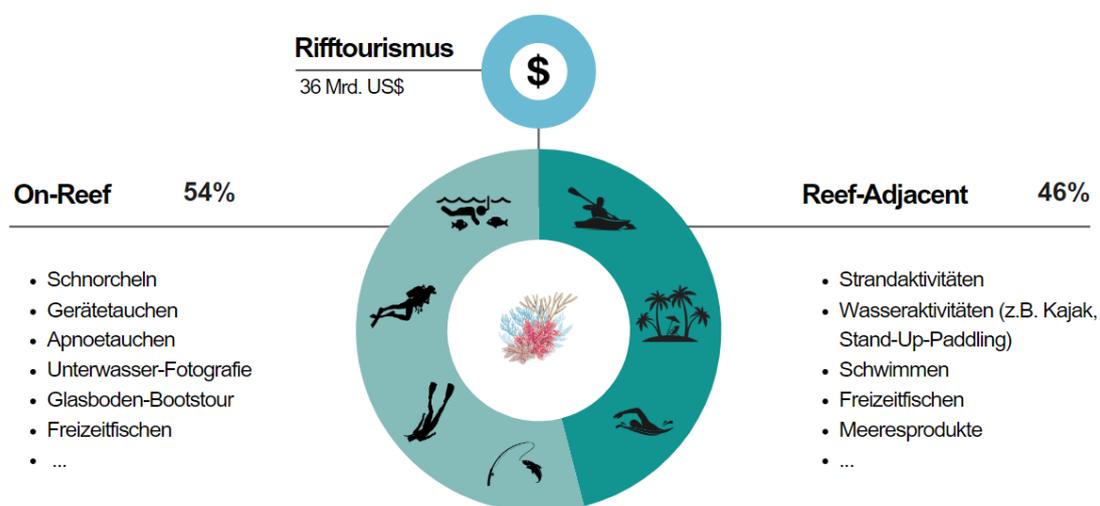
### ***Kulturelle und spirituelle Werte***

Indigenen Riffgemeinschaften, vor allem kleine Inselgemeinschaften, deren Inseln oft von Korallenriffen umgeben sind, sind stark von ihren Riffen abhängig (Prideaux & Pabel, 2018). Sie benötigen Riffe, um natürliche Ressourcen zu nutzen und ihre kulturellen, spirituellen und sozialen Werte zu bewahren (Minority Rights Group, 2019). Über Generationen hinweg haben diese Riffgemeinschaften Glaubenssätze und Bräuche entwickelt, die mit ihren Meeresgebieten verknüpft sind und bestimmte Spezies und Orte eine besondere Bedeutung besitzen (Prideaux & Pabel, 2018). Diese Werte spiegeln die tiefgreifende spirituelle, kulturelle und umweltbezogene Verbundenheit dieser Gemeinschaften mit den Riffen wider, weshalb Korallenriffe einen bedeutenden sozialen und kulturellen Wert haben. Die United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) hat 29 natürliche Meeresgebiete mit Korallenriffen den Welterbetitel zugeschrieben, die aufgrund ihrer einzigartigen und globalen Bedeutung als Teil des gemeinsamen Erbes der Menschheit anerkannt wurden (Heron et al., 2017). Die Mission der UNESCO besteht darin „Natur- und Kulturerbestätten von außergewöhnlichem universellem Wert für die gesamte Weltgemeinschaft für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu bewahren“ (UNESCO, o.D. a).

Korallenriffe haben zudem eine hohe Bedeutung für den Tourismus. Das nächste Kapitel 3.1.2 wird sich aufgrund des Schwerpunkts der Arbeit gesondert und umfassender mit dem Stellenwert der Korallenriffe für die Tourismusbranche beschäftigen.

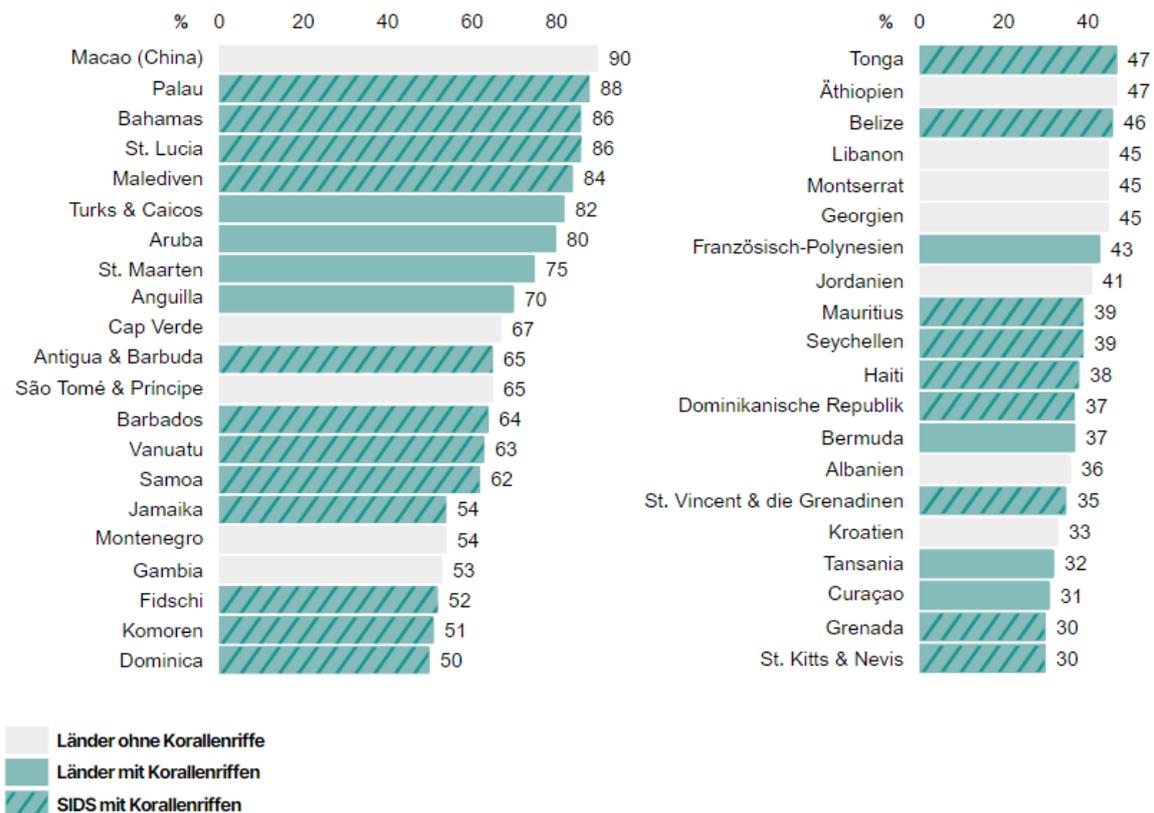
### 3.1.2 Korallenriffdestinationen und Tourismus

Eine Destination wird als geografischer Raum definiert, der als Ziel für Reisen ausgewählt wird und über eine Infrastruktur verfügt, die erforderliche Einrichtungen und Dienstleistungen für Reisende, einschließlich Unterkunft, Verpflegung und Freizeitaktivitäten bereitstellt (Bieger, 2002). In diesem Kontext ist eine Korallenriffdestination ein geografischer Raum, der aufgrund von Korallenriffen oder begleitenden Eigenschaften als Reiseziel ausgewählt wird und speziell auf das Korallenriff ausgerichtete Freizeitaktivitäten wie Schnorcheln und Tauchen bietet. Die besonderen Eigenschaften von Korallenriffen, wie feine Sandstrände, kristallklares Wasser, eine vielfältige Fauna von Korallen und Fischen sowie angenehme Temperaturen machen sie insbesondere im Bereich des Ökotourismus zu einer Hauptattraktion für Touristen (Wilkinson, 1996). Der Rifftourismus kann in die zwei Hauptkategorien Reef-Adjacent-Tourismus und On-Reef-Tourismus unterteilt werden (s. Abb. 2). Der Reef-Adjacent-Tourismus (riffangrenzender Tourismus) bezieht sich auf indirekte Vorteile durch die Nähe zu Korallenriffen, wie sandige Strände, klares ruhiges Wasser, Fische und Meeresfrüchte sowie schöne Aussichten und Aktivitäten wie Schwimmen (Spalding et al., 2017). Im Gegensatz dazu ist der On-Reef-Tourismus direkt mit Aktivitäten am Riff, wie Tauchen und Schnorcheln, verbunden (Spalding et al., 2017). Knapp 30% der weltweiten Korallenriffe haben einen wirtschaftlichen Wert im Tourismussektor, der jährlich auf 36 Milliarden US-Dollar geschätzt wird (Ocean Wealth, o.D.). Davon generiert der On-Reef-Tourismus etwa 54%, während der Reef-Adjacent-Tourismus 46% der Einnahmen ausmacht (Ocean Wealth, o.D.). In über 100 Ländern der Welt ziehen Korallenriffe nationale sowie internationale Besucher an, was den Rifftourismus zu einer wichtigen und weiterhin stark wachsenden Branche macht (Spalding et al., 2017). Diese Branche bietet Beschäftigungsmöglichkeiten und Einkommen und trägt oft dazu bei, dringend benötigte Deviseneinnahmen zu generieren (Spalding et al., 2017).



**Abbildung 2:** Ökonomischer Wert des Rifftourismus, differenziert nach On-Reef und Reef-Adjacent. Quelle: Eigene Darstellung. Daten entnommen aus Spalding et al., 2017.

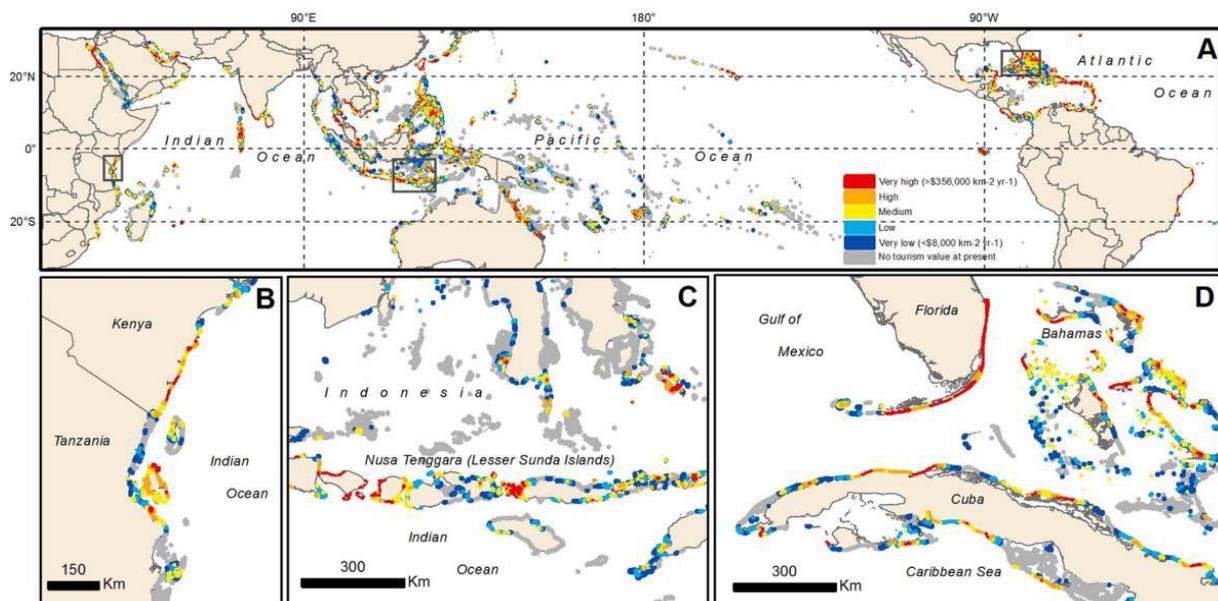
Abbildung 3 zeigt den Anteil des Tourismus am Export der vom Tourismus abhängigsten Staaten weltweit im Jahr 2018, differenziert nach Ländern mit und ohne Korallenriffe sowie nach SIDS. Insbesondere SIDS verfügen über Korallenriffe, die für den Tourismus von großer Bedeutung sind. Zu erkennen ist, dass Länder wie Palau, Bahamas, St. Lucia und die Malediven mit über 80% einen sehr hohen Anteil ihres Exports aus dem Tourismus generieren und demzufolge deren Wirtschaft stark vom Tourismus abhängig ist. Ein bedeutender Faktor dieser Abhängigkeit könnten Korallenriffe sein.



**Abbildung 3:** Anteil des Tourismus am Export der vom Tourismus abhängigsten Staaten weltweit im Jahr 2018, differenziert nach Ländern mit und ohne Korallenriffe und SIDS. Quelle: In Anlehnung an UNWTO, 2020 und ergänzt nach United Nations, o.D. b.

Die Abbildung 4 zeigt eine kartografische Darstellung des wirtschaftlichen Wertes von Korallenriffen für den Tourismus in verschiedenen Regionen der Welt. Aus der Gegenüberstellung der beiden Abbildungen lassen sich bedeutsame Zusammenhänge erkennen. Länder mit Korallenriffen aus Abbildung 3, die einen hohen Tourismusanteil am Export aufweisen, sind auch in der Abbildung 4 als Gebiete mit einem mittleren bis sehr hohen wirtschaftlichen Wert von Korallenriffen für den Tourismus gekennzeichnet. Dies zeigt, dass dort ein signifikanter Teil des Tourismus direkt mit den Korallenriffen verbunden ist, diese vermutlich eine der Hauptattraktionen für Touristen darstellen und so den Wirtschaftssektor unterstützen.

SIDS sind besonders von den Einnahmen aus dem Tourismus, der von ihren natürlichen Ressourcen und Schönheiten, einschließlich Korallenriffen, angetrieben wird, abhängig. Länder wie beispielsweise die Malediven, Bahamas, Palau und Fidschi sind bekannte Destinationen für Taucher und Schnorchler und ziehen Touristen gerade wegen ihrer Riffe an. Beispielsweise finden in den Bahamas 61% und in St. Lucia 41% On-Reef-Tourismus statt, während in Palau sogar 87% des Tourismus On-Reef zu verzeichnen ist (Ocean Wealth, o.D.). Diese hohen Prozentanteile zeigen, dass die Riffe eine hohe Bedeutung für diese und viele weitere Länder haben und eine wesentliche Attraktion für Touristen sind.



**Abbildung 4:** Ökonomischer Wert von Korallenriffen für den Tourismus: Weltweit (A), Kenia und Tansania (B), südliches Zentralindonesien (C), nördliche Karibik (D).  
Quelle: Spalding et al., 2017: 108

Der Tourismus ist zudem im Hinblick auf die Mitfinanzierung von Schutzmaßnahmen und dem Management der Korallenriff-Ökosysteme von großer Bedeutung. Nutzungsgebühren, darunter Eintrittsgebühren, Konzessionsgebühren, Aktivitätsgebühren sowie Lizenzen und Genehmigungen, sind eine wichtige Methode zur Finanzierung von Meeresschutzgebieten und anderen geschützten Gebieten (Terk & Knowlton, 2010). In vielen Gebieten mit bedeutenden Korallenriffen werden spezielle Nutzungsgebühren von Touristen erhoben, um die negativen Auswirkungen des Tourismus auf diese empfindlichen Ökosysteme zu begrenzen.

### 3.1.3 Gefährdung von Korallenriffen durch anthropogene Einflüsse

Korallenriffe besitzen eine hohe ökologische Relevanz für die Umwelt und eine bedeutende ökonomische und sozio-kulturelle Relevanz für die Menschen. Weltweit werden Korallenriffe jedoch durch anthropogene Einflüsse belastet. Diverse Stressoren beeinflussen den Zustand

und die Gesundheit dieser Ökosysteme. Sogar die entlegensten Riffe weltweit sind von menschlicher Nutzung nicht unversehrt geblieben. In der Vergangenheit wurden abgelegene Atolle im Pazifik für Atomwaffentests und für die Beseitigung von Abfällen genutzt (Spalding et al. 2001). Auch der Korallenabbau, vor allem im Indischen Ozean, verursacht erhebliche Schäden an Riffen und ihren Bewohnern (Brown, 2011). Über 60% aller Korallenriffe sind unmittelbar und direkt von verschiedenen lokalen Stressoren wie Überfischung, Küstenentwicklung und Wasserverschmutzung bedroht (Burke et al., 2011).

Die Entwicklung von Küstengebieten durch Bauprojekte wie Überwasserbungalows auf Korallenriffen, künstliche Strände oder Hafenerweiterungen für Kreuzfahrtschiffe, kann zu Sedimentablagerungen und zu Nährstoffeinleitung aus Landwirtschaft und Abwässern führen (Rivera et al., 2020). Dies gefährdet die Gesundheit der Riffe, da es die Küstendynamik verändert und die Sedimentation in den Riffen erhöht (Rivera et al., 2020). Neben der Nährstoffanreicherung haben auch Öl- und Chemieunfälle oder die Plastikverschmutzung Auswirkungen auf Korallenriffe. Eine Studie zeigte, dass anthropogener Müll, insbesondere Makroplastik, in über 90% der untersuchten Riffe, einschließlich abgelegener und scheinbar unberührter Gebiete, vorhanden ist (Pinheiro et al., 2023). Zudem kann Plastikmüll die mikrobielle Besiedlung von riffbildenden Korallen fördern, was das Krankheitsrisiko von 4 % auf 89 % erhöht, wenn die Korallen mit Plastik in Berührung kommen (Lamb et al., 2018). Verschmutzung behindert folglich das Wachstum und die Fortpflanzung von Korallen, stört ökologische Funktionen, führt zu Krankheiten und erhöht die Sterblichkeit (NOAA, 2023a).

Auch die nicht nachhaltige Fischerei und Überfischung hat massive Auswirkungen auf Korallenriffe. Das Bevölkerungswachstum, effizientere Fischfangmethoden und die steigende Nachfrage aus dem Tourismus- und internationalen Märkten haben die Fischbestände erheblich beeinträchtigt, wodurch mehr als 55% der Korallenriffe weltweit von Überfischung oder schädlichen Fischereipraktiken gefährdet sind (Burke et al., 2011). Fischfangmethoden wie die Sprengfischerei, Schleppnetzfischerei oder die Verwendung von Giftstoffen wie Zyanid sind in vielen Ländern oft illegal und stellen eine erhebliche Bedrohung für Korallenriffe und die marine Umwelt dar, indem sie nicht nur die Fischarten dezimieren, sondern auch das Gleichgewicht des Riffökosystems stören, andere Meereslebewesen und Korallen schädigen sowie die Wasserqualität beeinträchtigen (The Nature Conservancy, o.D. a).

Nicht nachhaltige Tourismuspraktiken, wie unachtsames Ankern von Booten, der Zusammenstoß mit Meereslebewesen, direkter Kontakt durch Gehen, Berühren oder Stehen auf Korallen beim Schnorcheln und Tauchen, das Füttern oder Belästigen von Meereslebewesen, Wasserverschmutzung durch Boote sowie die Verbreitung invasiver Arten durch Schiffsverkehr verursachen Schäden und Verhaltensänderungen bei Meereslebewesen

und führen zu Einbringung von Müll und Trümmern in die Meeresumwelt (The Nature Conservancy, o.D. a; Miththapala, 2008). Des Weiteren hat der Tourismus erheblichen Schaden an Korallenriffen, insbesondere durch unregulierte Küstenentwicklung und die damit verbundene Verschmutzung durch Abwässer verursacht (Spalding et al. 2001).

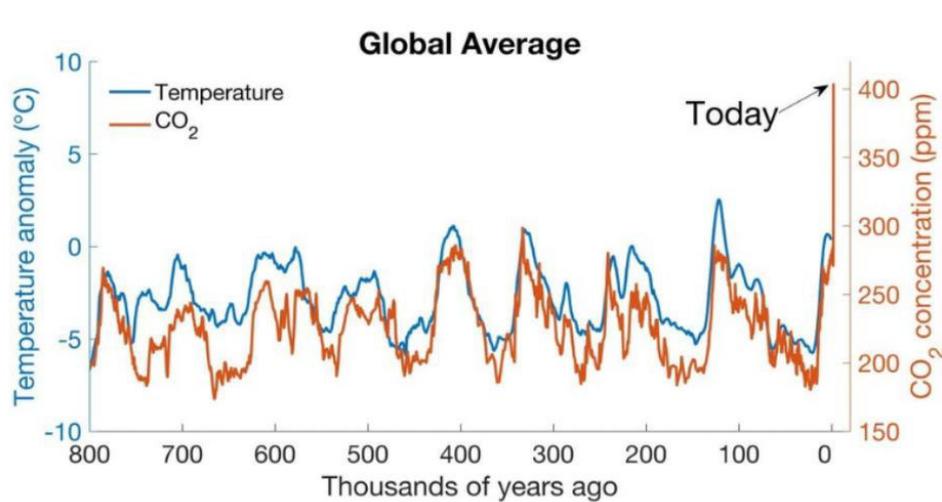
Die aufgezählten anthropogenen Einflüsse repräsentieren nicht alle Stressfaktoren, die für Korallenriffe entstehen. Dieses Kapitel bietet lediglich einen Überblick über zusätzliche Bedrohungen neben dem Klimawandel, welche ebenfalls signifikante Auswirkungen auf das Ökosystem und die darauf angewiesenen Gemeinschaften haben.

## **3.2 Klimawandel**

Dieses Kapitel behandelt den Klimawandel, beginnend mit einer Begriffserklärung und Betrachtung allgemeiner Auswirkungen. Darüber hinaus wird ein Überblick gegeben, inwiefern der Tourismus zum Klimawandel beiträgt.

### **3.2.1 Faktoren, Ursachen und Auswirkungen**

Wenn auf die Erdgeschichte zurückgeblickt wird, hat sich das Klima auf der Erde im Verlauf der letzten 4,5 Milliarden Jahre immer wieder aufgrund verschiedener Faktoren, wie Veränderungen der Erdumlaufbahn, Sonneneinstrahlung oder Vulkanausbrüche auf natürliche Weise verändert (IPCC, 2007). Solche natürlichen Klimaveränderungen erstreckten sich über sehr lange Zeiträume, oft Hunderttausende oder Millionen von Jahren (wie in Abb. 5 zu erkennen) und stellen abwechselnde Warm- und Eiszeiten dar (Lozán et al., 2015). Klimawandel kann daher als systematische Veränderung in den Langzeitstatistiken der Durchschnittstemperaturen und Wettermustern der Erde beschrieben werden (Climate Europe, o.D.). Der Begriff Klima beschreibt, basierend auf Daten, die über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren gesammelt wurden, die langfristigen Wettermuster und -bedingungen einer Region (Climate Europe, o.D.). Nicht zu verwechseln ist dies mit dem Wetter, das wir täglich wahrnehmen. Der Begriff Wetter beschreibt die aktuellen atmosphärischen Bedingungen wie Temperatur, Niederschlag und Wind an einem spezifischen Ort und Zeitpunkt (Deutscher Wetterdienst, o.D.).



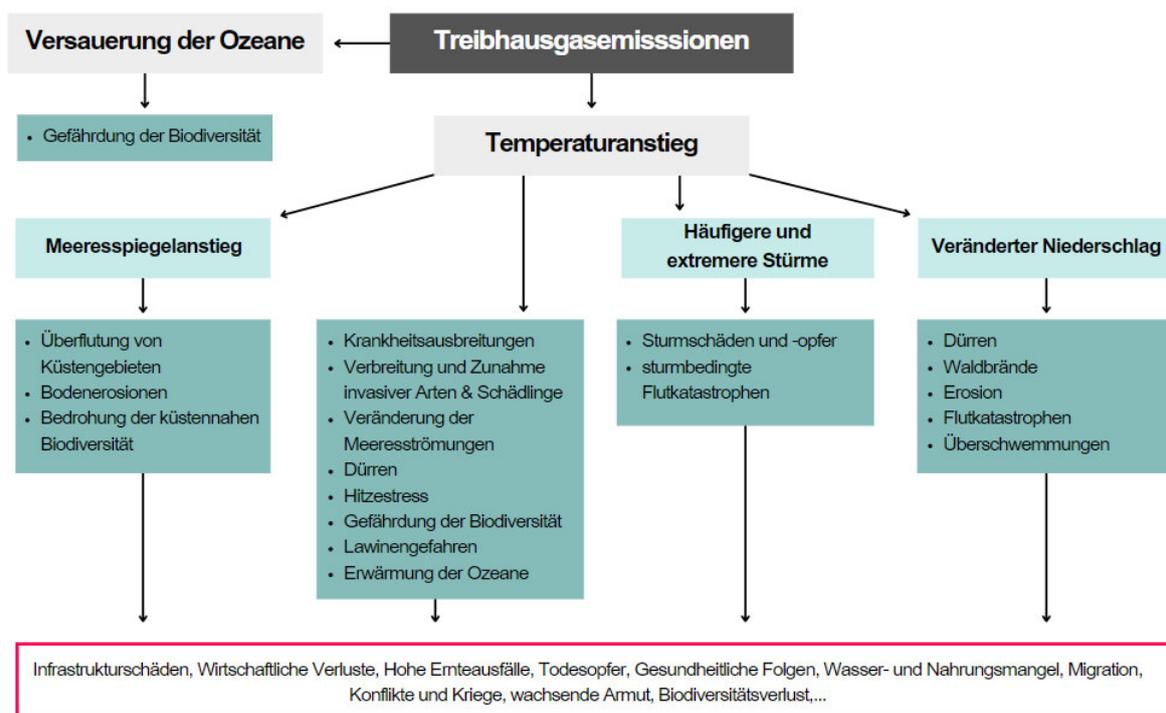
**Abbildung 5:** Globale durchschnittliche Temperaturanomale und durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre über die letzten 800.000 Jahre.  
Quelle: Henley & Abram, 2017.

Der Klimawandel ist grundsätzlich ein natürlicher Prozess. So auch der Treibhauseffekt, der das Leben, wie wir es heute kennen, auf der Erde erst ermöglicht, indem ein Teil der Wärmestrahlung der Sonne von der Atmosphäre durch Treibhausgasen absorbiert wird (Gonstalla, 2019). Zu unterscheiden ist jedoch zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Klimawandel, wobei letzterer den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet. In den letzten Jahrzehnten ist sich die Wissenschaft weitgehend darüber einig geworden, dass menschliche Aktivitäten einen erheblichen Einfluss auf den Klimawandel haben (IPCC, 2021). Im Laufe der umfangreichen Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die den aktuellen Wissensstand über den Klimawandel bewerten, sind die Beweise für den Einfluss menschlicher Aktivitäten auf das Klima seit 1995 immer stärker und eindeutiger geworden (IPCC, 2021).

Während der natürliche Klimawandel durch Faktoren wie Vulkanausbrüche und die Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, resultieren die anthropogenen Klimaveränderung direkt aus der zunehmenden Freisetzung von Treibhausgasen, bestehend aus Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan, Lachgas und halogenierten Treibhausgasen (Umweltbundesamt, 2023). Dadurch kommt es zu einem unnatürlich starken Treibhauseffekt, wodurch die Erdatmosphäre immer mehr Wärme absorbiert (Umweltbundesamt, 2021). CO<sub>2</sub> ist das bedeutendste Treibhausgas, da es zu etwa 66% zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt (Umweltbundesamt, 2023). Der größte Einzelverursacher ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas, aber auch landwirtschaftliche Aktivitäten, die Abholzung und Brandrodung von Wäldern haben einen großen Anteil an menschengemachten Emissionen (Pang et al., 2013). Seit Beginn des Industriezeitalters im 19. Jahrhundert ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre von 280 ppm (Parts per Million) auf 420 ppm im Jahr 2023

angestiegen, wie auch in Abbildung 5 zu erkennen (NOAA, 2024a). Dieser hohe Anstieg führt zu einem verstärkten Treibhauseffekt und dadurch erhöhten Temperaturen.

Der anthropogene Einfluss verändert durch die zunehmende Freisetzung der Treibhausgase das natürliche Klima und führt zu weitreichenden Auswirkungen auf der Erde. Abbildung 6 gibt ein Überblick über diese Auswirkungen. Dargestellt wird ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang, bei dem Treibhausgasemissionen zu einem Temperaturanstieg führen, der wiederum verschiedene Veränderungen, wie einen Anstieg des Meeresspiegels, häufigere und extremere Stürme sowie veränderte Niederschlagsmuster verursacht. Diese Veränderungen führen zu einer Vielzahl von Auswirkungen auf die Umwelt und einschließlich gesundheitlicher Folgen und wirtschaftlicher Verluste auf die Menschheit. Da im Fokus dieser Arbeit die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und den damit verbundenen Korallenrifftourismus stehen, beleuchtet Kapitel 4 umfassend die ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Folgen.

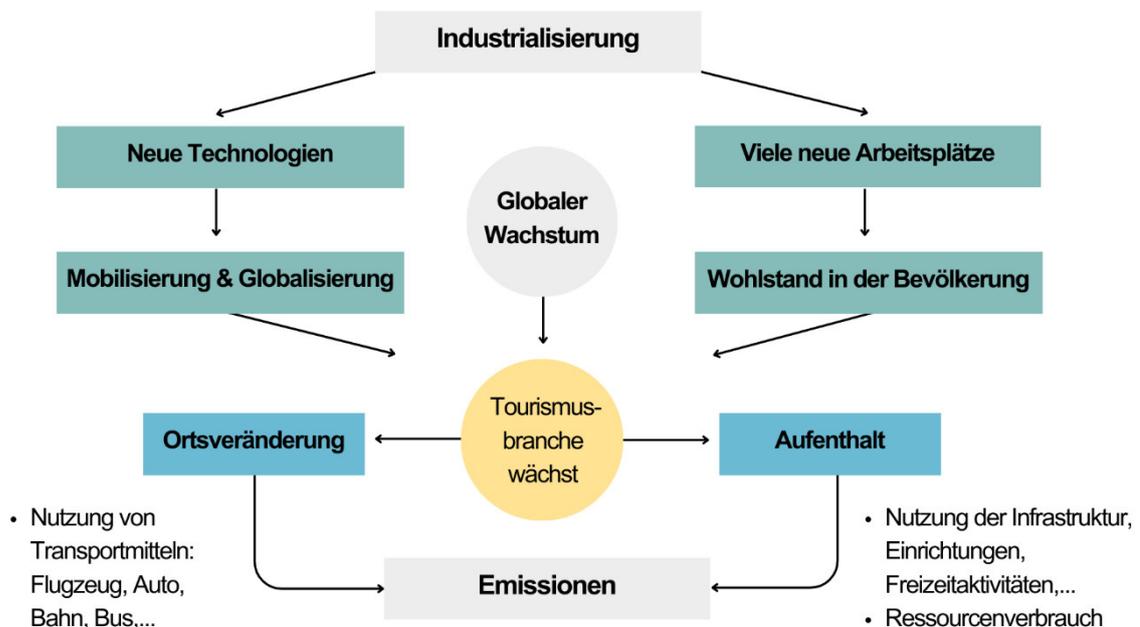


**Abbildung 6:** Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen des Klimawandels.  
Quelle: In Anlehnung an Stecker, 2010; ergänzt durch Gonstalla, 2019 & Europäische Kommission, o.D.

### 3.2.2 Tourismus als Mitverursacher des Klimawandels

Mit Blick auf die letzten Jahrzehnte erlebte der Tourismus seit den 1950er Jahren einen bedeutenden Aufschwung, insbesondere durch die zunehmende Globalisierung, Industrialisierung und Mobilisierung, die den Tourismussektor transformiert haben. Die Welt ist heute stärker vernetzt als je zuvor, technologische Fortschritte haben das Reisen erheblich vereinfacht und Flugreisen sind insbesondere durch Billigfluglinien erschwinglicher geworden. Mit dem Anstieg des Lebensstandards und des Wohlstands in vielen Teilen der Welt sowie dem globalen Bevölkerungswachstum, nimmt auch die Anzahl der Menschen zu, die sich eine Reise leisten können. Während das weltweite Tourismusaufkommen 1950 noch bei etwa 25 Millionen Ankünften lag, so wurde 2019 ein Rekord mit knapp 1,5 Milliarden Ankünften verzeichnet (FUR, 2023). Trotz des erheblichen Einsturzes durch die Corona-Pandemie erreichte der Tourismus im Jahre 2023 etwa 88% des Niveaus von vor der Pandemie (UNWTO, 2024).

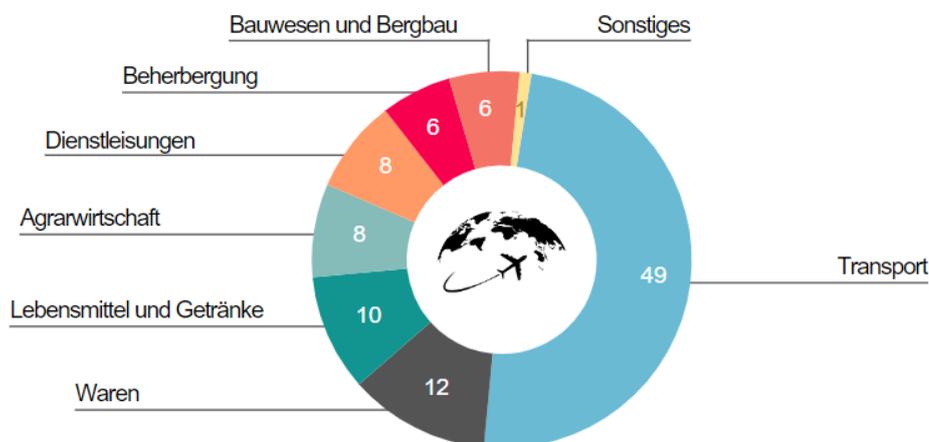
Tourismus bezeichnet eine temporäre Ortsveränderung und einen Aufenthalt in einer Destination, fernab des üblichen Aufenthaltsorts der Reisenden (Berg, 2010). Eine Ortsveränderung im Zusammenhang einer Reise bedingt die Nutzung von Verkehrsmitteln. Der Aufenthalt in einer Destination führt zur Inanspruchnahme verschiedener Dienstleistungen, Einrichtungen und Infrastruktur. Je nach Reiseart erfordert der Tourismus durch die Anreise und den Aufenthalt eine Vielzahl an Ressourcen.



**Abbildung 7:** Stark vereinfachte, schematische Darstellung zur Veranschaulichung der entstandenen Tourismusbranche als Treibhausgas-Emitter.  
Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Studie von Lenzen et al. (2018) untersuchte die durch den Tourismus bedingten Emissionen und ergab, dass der Tourismus für etwa 8% der globalen Emissionen klimaschädlicher Treibhausgase verantwortlich ist. Die umfassende Berechnung dieser Studie unterscheidet sich von früheren Untersuchungen, da sie sowohl den direkten als auch den indirekten Beitrag der touristischen Aktivitäten zur gesamten Lieferkette berücksichtigt. Es sei jedoch anzumerken, dass kurzlebige Treibhausgase, wie luftfahrtbedingte Wolken und Kondensstreifen aus dem Luftverkehr in dieser Studie ausgeschlossen wurden, diese aber dennoch einen bedeutenden Einfluss haben können (Lenzen et al., 2018). Emissionen der Luftfahrt, die in Flughöhe ausgestoßen werden, verursachen eine möglicherweise zwei- bis fünfmal größere Erwärmungswirkung als die Erwärmung durch den Luftfahrt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß allein (WTO & UNEP, 2008). Es ist daher wichtig, zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und dem Gesamtbeitrag der Luftfahrt zum zusätzlichen Wärmeeffekt zu unterscheiden (WTO & UNEP, 2008).

Abbildung 8 veranschaulicht die Verteilung des berechneten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, die in der Studie von Lenzen et al. (2018) analysiert wurden. Der bedeutendste und größte Beitrag zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des globalen Tourismus stammt von den Transportmitteln. Mit zunehmendem Tourismusaufkommen steigt auch der Bedarf und die Nutzung von Fortbewegungsmitteln zum Reisen, sei es durch Flugzeuge, Autos oder andere Verkehrsmittel, an. Die durch den Tourismus verursachten CO<sub>2</sub>-Transportemissionen haben zwischen den Jahren 2005 und 2016 um mehr als 60% zugenommen und sollen Prognosen zufolge auch in Zukunft weiter ansteigen (UNWTO & International Transport Forum, 2019). Die höhere Nachfrage nach mittel- bis langstreckigen Flugreisen ist zudem der Haupttreiber für die zunehmenden Treibhausgasemissionen des Tourismussektors (Peeters & Eijgelaar, 2014).



**Abbildung 8:** Prozentuale Verteilung des Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck des globalen Tourismus. Quelle: In Anlehnung an Sustainable Travel International, o.D., Daten aus Lenzen et al., 2018.

Des Weiteren entstehen Emissionen auch im Zielgebiet durch die Nutzung von Ressourcen. Beispielsweise werden Ressourcen und Energie für den Anbau, Transport, die Kühlung und Zubereitung von Lebensmitteln in Hotels und Restaurants verbraucht. Reisende neigen zudem oft dazu, im Urlaub mehr zu konsumieren als sonst, was den Fußabdruck meist noch vergrößert (Khatib, 2023). Diese Tendenz zu erhöhtem Konsum während des Urlaubs führt nicht nur zu einem größeren Verbrauch von Ressourcen und Energie, sondern trägt beispielweise auch maßgeblich zur Lebensmittelverschwendung bei. Weltweit kompostieren weniger als die Hälfte der Hotels ihre Lebensmittelabfälle, was zu Methanemissionen führt, die 21-mal klimaschädlicher sind als CO<sub>2</sub> (Khatib, 2023). Die Produktion und der Transport von Waren, beispielsweise Souvenirs oder Tauchausrüstung sowie die Nutzung von Klimaanlage, Heizungen oder Beleuchtung in Unterkünften erfordert Ressourcen und Energie. Auch Dienstleistungen im Tourismussektor wie Tauch- und Schnorchel-Bootstouren tragen zum Problem bei.

Eine Studie von Gössling und Peeters (2015) analysierte den Ressourcenverbrauch des Tourismus und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese zeigte, dass der Ressourcenverbrauch des Tourismus erheblich höher liegen kann als der globale Durchschnittswert (Gössling & Peeters, 2015). Je nach Art der Reise, der Unterkunft oder anderen Gegebenheiten, wie das Verhalten der Touristen vor Ort, kann der Verbrauch und die damit verbundenen Emissionen stark variieren. Die Ergebnisse der Studie deuten ebenfalls darauf hin, dass der Ressourcenverbrauch des Tourismus bis 2050 weiter steigen wird, selbst wenn Bemühungen für nachhaltigeren Tourismus unternommen werden (Gössling & Peeters, 2015).

Der Tourismus und der Klimawandel müssen jedoch als eine wechselseitige Beziehung betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen (WTO, 2003). Der Tourismussektor trägt aufgrund von Treibhausgasemissionen zum Klimawandel bei, während gleichzeitig der Klimawandel direkte Auswirkungen auf den Tourismus hat. Dies macht den Tourismussektor nicht nur zu einem Mitverursacher, sondern auch zu einem Betroffenen von Umweltveränderungen. Verschiedene Tourismusdestinationen, beispielsweise Skigebiete, Küstengebiete aber auch Korallenriffdestinationen, sind von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen.

## 4 Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und die Destinationen

“The single greatest growing threat to coral reefs is the rapid increase in greenhouse gases in the atmosphere [...]” (Burke et al., 2011: 45).

Burke et al. (2011) unterstreichen die alarmierende Tatsache, dass der rasante Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre eine existenzielle Bedrohung für Korallenriffe darstellt. Der Klimawandel führt unter anderem zu einer Erhöhung der Meerestemperaturen, Versauerung der Ozeane sowie häufigeren und intensiveren Stürmen, die allesamt gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit und das Überleben von Korallenriffen haben. Zudem resultieren daraus Folgeauswirkungen für abhängige Wirtschaftszweige und Gemeinschaften. Zahlreiche Studien haben sich mit den ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe beschäftigt (s. Kapitel 4.1 bis 4.3). In diesem Kapitel werden die Auswirkungen zusammengestellt, um ein umfassendes Verständnis dieser zu gewinnen. Insbesondere mit dem Fokus auf Tourismus in dieser Arbeit, wird im weiteren Verlauf speziell untersucht, welche Auswirkungen der Klimawandel auf Korallenriffdestinationen hat und welchen Einfluss das auf die Zukunft der Destinationen haben könnte. Vor diesem Hintergrund werden abschließend Szenarien für die Entwicklung des Korallenrifftourismus entworfen, um im Kapitel 5 potenzielle Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen zu beschreiben.

### 4.1 Ökologische Auswirkungen

Unter den ökologischen Auswirkungen sind die steigenden Temperaturen der Ozeane und die Versauerung der Meere nur einige der Faktoren, die das fragile Gleichgewicht der Korallenriff-Ökosysteme stören. Daneben gibt es jedoch noch weitere ökologische Auswirkungen, die in diesem Unterkapitel ebenfalls näher beschrieben werden.

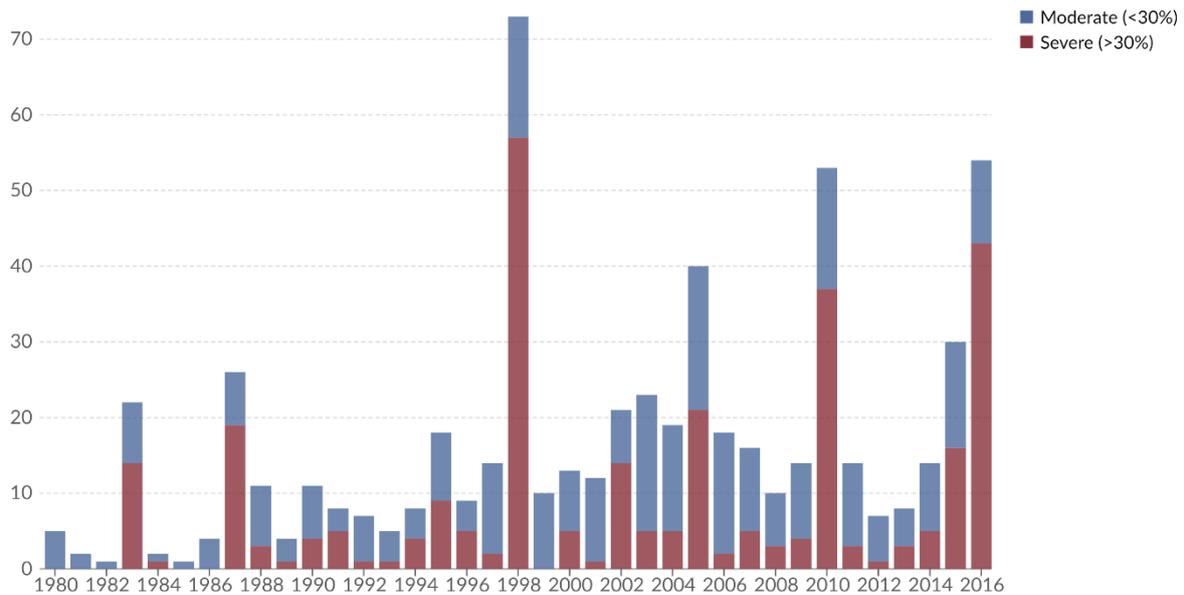
#### ***Steigende Meerestemperaturen und Korallenbleichen***

Steigende Meerestemperaturen und die damit veränderte thermische Bedingung in den Ozeanen bedrohen das Ökosystem der Korallenriffe. Wie in Kapitel 3.1.1 erwähnt, leben Korallen in einer Endosymbiose mit Zooxanthellen, Algen, die wichtig für die Photosynthese sind und ihre Lebensgrundlage bilden. Steigen die Wassertemperaturen an und liegen über dem Wohlfühlwert der Korallen, dann stehen die Korallen unter Hitzestress und stoßen als Stressreaktion daraufhin ihre lebenswichtigen Algen ab (Fezzi et al., 2023). Dies führt zu einem Verlust ihrer Energiequelle, woraufhin die Korallen ihre Farbe verlieren und blass oder weiß erscheinen, die sogenannte Korallenbleiche. Neben Hitzestress als Hauptursache für die

Korallenbleiche, gibt es jedoch noch andere Auslöser, wie Verschmutzung, extrem niedrige Gezeiten und eine zu hohe Sonnenlichtbelastung (Hancock, o.D.). Bei Korallenbleichen sind die Korallen geschwächt, wodurch die Regeneration, die Kalkbildung und das Wachstum beeinträchtigt werden (Baker et al., 2008).

Auch wenn Korallenbleichen eine ernsthafte Bedrohung für Korallenriffe darstellen und der Beginn des vollständigen Absterbens der Korallen sein können, führt nicht jedes Bleichereignis unmittelbar zum Tod der Korallen (Great Barrier Reef Foundation, 2024). Vielmehr verfügen Korallen auch über die Möglichkeit, sich von einer Bleiche zu regenerieren und ihre symbiotischen Algen zurückzugewinnen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Stressfaktoren durch sich verbessernde Umweltbedingungen abnehmen (Great Barrier Reef Foundation, 2024). Wiederholte oder anhaltende Bleichereignisse verringern die Chance auf Regeneration und führen letztendlich zum Absterben der Korallen.

In den letzten drei Jahrzehnten wurden durch den Klimawandel drei globale Korallenbleichen verursacht, die jeweils etwa 50-70% der weltweiten Korallenriffe betrafen (Hughes et al., 2021). Wie in Abbildung 9 dargestellt, konnte im Laufe der Zeit eine signifikante Zunahme der dokumentierten lokalen Korallenbleichen an 100 Orten weltweit festgestellt werden, deren zeitliche Abstände immer kürzer werden und die vor allem mit dem Anstieg der thermischen Belastung für Korallenriffe zusammenhängt. Die globale Korallenbleiche von 1998 führte dazu, dass etwa 8 % der weltweiten Korallenbestände abstarben (Souter et al., 2021). Obwohl sich die Korallenabdeckung in den folgenden zehn Jahren auf das Niveau von vor 1998 erholte, kam es zwischen 2009 und 2018 zu einem noch größeren Verlust von 14% der Korallen weltweit (Souter et al., 2021). Allein am Great Barrier Reef, dem größten Korallenriff der Erde, waren bei fünf aufeinanderfolgenden Korallenbleichen mehr als 98% der Riffe von den Bleichen betroffen (Hughes et al., 2021). Nach aktuellen Berichten erlebt das Great Barrier Reef seit diesem Jahr sogar erneut eine massive Korallenbleiche (Regan, 2024). Damit Korallen sich vollständig erholen, beträgt die Erholungszeit ohne neu eintretende Stressfaktoren etwa neun bis zwölf Jahre (Gouezo et al., 2019). Eakin et al. (2019) betonen, dass es angesichts der Erholungszeiten wahrscheinlicher ist, dass die meisten Riffe weltweit erneut schweren Bleichereignissen ausgesetzt sein werden, anstatt sich erholen zu können. Diese Einschätzung impliziert, dass viele Korallenriffe trotz ihrer Regenerationsfähigkeit durch wiederkehrenden Hitzestress in kürzeren Zeitabständen langfristig beeinträchtigt werden und dies zu einem schnelleren Absterben führt.



**Abbildung 9:** Anzahl von mäßigen und schweren Korallenbleichen. Mäßige Korallenbleichen (<30 % der Korallen betroffen) in Blau und schwere Korallenbleichen in Rot dargestellt (>30 % der Korallen betroffen), gemessen an 100 globalen Standorten.

Quelle: Adaptiert aus Hughes et al., 2018, dargestellt von Our World in Data.

### ***Versauerung der Ozeane***

Wie in Kapitel 3.2.1 hervorgehoben, ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre bereits auf über 400ppm angestiegen. Etwa 30% bis 40% der jährlich ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden allerdings vom Ozean aufgenommen (Gonstalla, 2019). Die Absorption der steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentration aus der Atmosphäre durch die Ozeane wird als Versauerung der Ozeane bezeichnet, wobei es zu einer Abnahme des pH-Werts kommt und das Wasser saurer wird (NOAA, 2024b). Seit Beginn der vorindustriellen Ära nahm der Säuregehalt um 26% zu (Hoegh-Guldberg, 2015). Dieser Prozess hat durch chemische Reaktionen direkte Auswirkungen auf Korallenriffe, da er die Anzahl an Carbonat-Ionen reduziert, die Korallen für den Bau ihrer Kalkskelette benötigen (s. Kapitel 3.1.1) (Hoegh-Guldberg, 2011). Dadurch kann das Wachstum der Korallen gehemmt und die Struktur der Riffe geschwächt werden, womit sie umso anfälliger für weitere Stressoren sind. Weniger Carbonat-Ionen im Meerwasser führen zu dünnwandigen Korallenskeletten, wodurch ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber starken Wellen verringert wird (IISD, 2021). Dies kann dazu führen, dass sich Korallenriffe bis zum Ende dieses Jahrhunderts schneller auflösen und erodieren, als dass sie wachsen (IISD, 2021).

### ***Gefährdung und Verlust der Biodiversität***

Der weltweite Rückgang der Korallenbestände hat weitreichende Auswirkungen auf die biologische Vielfalt im Ozean. Mit etwa 25% aller Meeresarten beherbergen Korallen eine hohe Artenvielfalt. Wenn sich Korallenriffbestände verringern, verlieren zahlreiche von den

Riffstrukturen abhängige Arten ihre Lebensräume und mündet in einem Verlust an Biodiversität. Seit den 1950er Jahren wurde der globale Bestand an lebenden Korallen um etwa 50% dezimiert (Eddy et al., 2021). Dieser Rückgang hat bereits zu einem Verlust von mindestens 63% der mit Korallenriffen verbundenen Biodiversität geführt (Eddy et al., 2021). Die Erwärmung und Versauerung der Ozeane aufgrund des Klimawandels werden als die größten langfristigen Gefahren angesehen, da bei den aktuellen Temperaturanstiegsraten die Ozeane in Zukunft für Korallenriffe zu warm werden und den Verlust des biologisch vielfältigsten marinen Ökosystems bedeuten würde (Hoegh-Guldberg, 2015). Zudem wird prognostiziert, dass die Versauerung der Ozeane die Erholungsfähigkeit der Korallen nach Störungen wie Bleichereignissen beeinträchtigt und dadurch ihren Rückgang weiter beschleunigt (Hoegh-Guldberg, 2015).

Das Bleichen und Sterben von Korallenriffen kann gravierende Folgen für viele andere Lebewesen haben, die eng mit diesen Lebensräumen verbunden sind. Dieser Prozess führt nicht nur zum Verlust der Endosymbiose zwischen Korallen und Algen, sondern auch zum Sterben oder Abwandern anderer mit den Korallenriffen in Symbiose lebenden Arten (Baker et al., 2008). Der Rückgang der Korallenriffe könnte aufgrund der hohen Anzahl von Arten, die vom Lebensraum der Korallen abhängen, zu einer Kettenreaktion des Aussterbens führen (Descombes et al., 2015).

Die Veränderungen in der Zusammensetzung und Struktur der Korallenriffe sowie die direkten Auswirkungen der Erwärmung und Versauerung der Ozeane werden erhebliche Auswirkungen auf die Physiologie, das Verhalten, den Bestand, die Verteilung und die Artenzusammensetzung der Riffische haben (Hoey et al., 2016). Eine Studie von Stuart-Smith et al. (2021) untersucht, wie sich veränderte Lebensräume und klimatische Veränderungen auf Riffische auswirken. Durch die Analyse von Daten über verschiedene Fischarten konnten die Forscher feststellen, dass sich einige Fische an veränderte Lebensräume anpassen können, während andere ihre spezialisierten Lebensräume verlieren. Dies deutet darauf hin, dass sich die Zusammensetzung von Fischgemeinschaften in Korallenriffen ändern könnte und dies die Artenvielfalt in Riffökosystemen beeinflusst.

### ***Korallengesundheit – Vermehrte Korallenkrankheiten***

Wie schon zuvor genannt, werden Korallen durch den Prozess des Bleichens und der Ozeanversauerung geschwächt. Zusammen mit anderen Stressfaktoren kann dies zu diversen Problemen führen, die schließlich zu einem Rückgang ihrer Gesundheit und vermehrten Krankheitsausbrüchen führen, wobei beobachtet wurde, dass Korallenkrankheiten besonders mit Bleichereignissen und Hitzestress korrelieren (Baker et al., 2008).

### ***Veränderungen in Sturmaufkommen und Niederschlägen und zunehmende Sturmschäden***

Das IPCC (2021) zeigt auf, dass mit fortschreitender Erwärmung durch Treibhausgase starke Regenfälle erwartet werden und die durchschnittlichen maximalen Windgeschwindigkeiten, die mit tropischen Stürmen verbunden sind, zunehmen. Zudem wird vor einer erheblichen Zunahme an intensiven Stürmen in einigen Ozeanbecken gewarnt (IPCC, 2021). Solche Ereignisse können sich auch mit erheblichen Folgen auf Korallenriffe auswirken. Starke Winde bei Wirbelstürmen erzeugen kraftvollere und größere Wellen und können Korallenriffe beschädigen, selbst wenn der Sturm bis zu 1.000 km von ihnen entfernt ist, wie Untersuchungen des Australian Institute of Marine Science zeigen (Great Barrier Reef Foundation, 2023). Die direkten physischen Auswirkungen dieser Stürme umfassen die Erosion oder das Entfernen des Riffgerüsts, das Ablösen großer Korallenstücke sowie das Brechen und die Narbenbildung von Korallen aufgrund von herumwirbelnden Trümmern (The Nature Conservancy, o.D. b). Darüber hinaus können auch stärker werdende Niederschläge zu einem größeren Korallenschaden führen, da sie vermehrt Überschwemmungen, eine stärkere Auswaschung von Süßwasser und Nährstoffen aus Küstenwassereinzugsgebieten sowie Veränderungen im Sedimenttransport verursachen und die Korallen dadurch ersticken könnte (The Nature Conservancy, o.D. b). Angesichts der sich schnell verändernden Klimabedingungen, wie Hitzestress und Ozeanversauerung, kann die Fähigkeit von Korallen, sich von starken Stürmen zu erholen, beeinträchtigt werden (Wilkinson & Souter, 2008).

### ***Veränderte Meeresströmungen und Konnektivität von Korallenriffen***

Der Klimawandel beeinflusst das weltweite Netzwerk von Meeresströmungen, das die Ozeane miteinander verbindet (Keating & Roughan, 2023). Änderungen der Meeresströmungen können die Verbindungen zwischen verschiedenen Regionen und die Temperaturverteilung im Wasser beeinflussen, was zu einem Nahrungsmangel für Korallen führt und die Ausbreitung von Korallenlarven erschweren kann (NOAA, 2023b). Wie auch in Kapitel 3.1.1 beschrieben, trägt die Ausbreitung von Larven dazu bei, die genetische Vielfalt zu sichern und Korallenriffpopulationen unterschiedlicher Riffe zu verbinden, was wichtig für ihre langfristige Gesundheit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltveränderungen ist (McManus et al., 2021). Eine Studie von Figueiredo et al. (2022) hat ergeben, dass die globale Erwärmung die Konnektivität zwischen Korallenpopulationen beeinträchtigt, da es zu einer früheren Sterblichkeit der Larven kommt und sich die Ausbreitungsdistanz verringert. Ferner werden mögliche Folgen von weniger Konnektivität zwischen Korallenriffen beschrieben. Riffe erholen sich weniger gut von Schädigungen, da die kürzere Ausbreitungsdistanz der Larven die genetische Vielfalt und die Ausbreitung von an die Wärme angepassten Genen einschränkt

(Figueiredo et al., 2022). Dies sind jedoch entscheidende Faktoren für das Überleben und die Erholung von Korallenriffen unter dem Einfluss des Klimawandels (McManus et al., 2021).

### ***Meeresspiegelanstieg***

Der Anstieg des Meeresspiegels wird durch mehrere Faktoren begünstigt, darunter die thermische Ausdehnung des Meerwassers aufgrund steigender Temperaturen, das Abschmelzen von Gletschern sowie der Verlust von Eismassen in der Antarktis und Grönland aufgrund des Klimawandels (Nunez, 2023). Der Anstieg des globalen Meeresspiegels hat sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts beschleunigt. Das IPCC gibt einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung des globalen durchschnittlichen Meeresspiegelanstiegs. Zwischen 2006 und 2018 wurde ein durchschnittlicher Anstieg von 3,5 Millimeter pro Jahr gemessen (IPCC 2023). Bis zum Jahr 2050 wird erwartet, dass dieser je nach Emissions-Szenario zwischen 0,18 und 0,23 Metern steigt und bis zum Jahr 2100 bei geringen Emissions-Szenarien etwa 0,38 Meter beträgt, während er bei hohen Emissions-Szenarien bis zu 0,77 Meter erreichen könnte (IPCC, 2021).

Perry et al. (2018) betonen, dass Prognosen zufolge eine größere Wassertiefe über Korallenriffen und die höhere Belastung durch Küstenwellen das vertikale Riffwachstum einschränken werden. Allein ein Wasserpegelanstieg von etwa 0,5 Metern über den Riffen erhöht bereits das Risiko von Küstenüberflutungen und verändert die Sedimentdynamik in nahen Küstengebieten (Perry et al. 2018). Wie in Kapitel 3 beschrieben, können Korallen nur unter bestimmten Bedingungen bestehen. Durch die größere Wassertiefe entstehen stärkere Strömungen, die mehr Sediment vom Meeresboden aufwirbeln oder von angrenzenden Küstenebenen erodieren und zu einer erhöhten Sedimentbelastung und längeranhaltenden Wassertrübungen in flachen Riffbereichen führt (Storlazzi et al., 2011). Bei Trübungen wird die Lichtdurchlässigkeit des Wassers reduziert und beeinträchtigt die photosynthetische Effektivität von Korallen (Storlazzi et al., 2011). Diese wird zusätzlich durch die höhere Wassertiefe und die daraus resultierende verringerte Lichtintensität beeinträchtigt (Guidry & Mackenzie, 2013). Durch den Meeresspiegelanstieg kommt es zudem zu stärkeren Sedimentabflüssen aus landbasierten Sedimentquellen in die Meere, was die Korallen in Küstennähe ersticken kann (NOAA, 2023b).

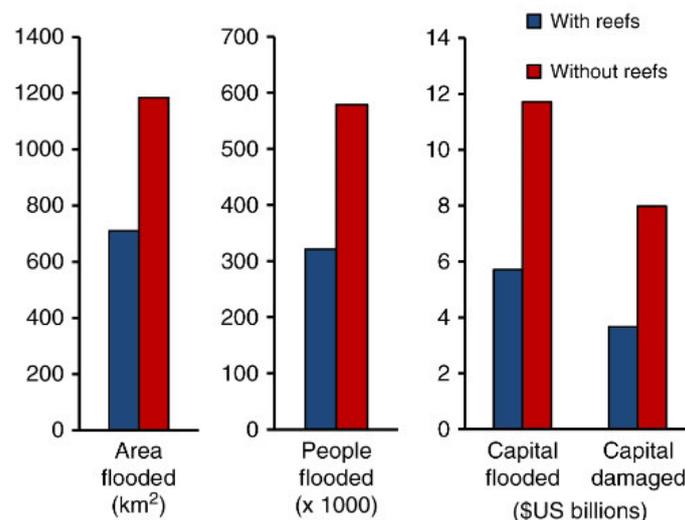
## **4.2 Ökonomische Auswirkungen**

Die in Kapitel 4.1 aufgeführten ökologischen Auswirkungen führen zu schwerwiegenden Folgeauswirkungen, von denen korallenriffabhängige Wirtschaften und Küstengemeinden betroffen sind.

### **Beeinträchtigung des Küstenschutzes und zunehmende Sturmschäden und Kosten**

Korallenriffe bieten, wie schon in Kapitel 3.1.1 und 4.1 beschrieben, einen bedeutenden Beitrag zum Schutz vor Küstenerosion, Sturmfluten und anderen Naturgefahren. Die zuvor aufgezeigten ökologischen Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe wirken sich auch auf den Küstenschutz aus.

Beck et al. (2018) zeigen in ihrer Studie, dass ohne Korallenriffe die Küstenüberflutungen um 69% zunehmen, sich die jährlichen Schäden durch Überschwemmungen verdoppeln sowie die Kosten durch Sturmschäden sich verdreifachen würden (s. Abb. 10). Des Weiteren betonen die Autoren, dass die Schäden bei hundertjährigen Sturmereignissen um 90% und bei 25-jährlichen um 141% steigen würden, gäbe es keine Korallenriffe mehr. Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen die immense Bedeutung von Korallenriffen als Schutzvorrichtungen für Küstengebiete. Ihr Verlust oder ihre Schädigung könnte schwerwiegende Folgen für die Küsteninfrastruktur und -gemeinden haben. Insbesondere stellt der Küstenschutz für viele kleine Inselstaaten und Entwicklungsländer, darunter die SIDS, eine große Bedeutung dar, da sie nicht über genügend Mittel verfügen, um auf schwere Überschwemmungen und den Verlust natürlicher Küstenschutzeinrichtungen reagieren zu können (Beck et al., 2018). Burke und Spalding (2022) legen nahe, dass weltweit in Gebieten, die durch Korallenriffe geschützt sind, mehr als 15 Millionen Menschen durch die Bedrohungen von Stürmen und den Meeresspiegelanstieg gefährdet sind.



**Abbildung 10:** Jährlich erwarteter Nutzen von Korallenriffen für den Hochwasserschutz. Schätzungen der Auswirkungen von Riffen auf vermiedene Überschwemmungen für Land, Menschen, exponiertes Kapital und beschädigtes Kapital.

Quelle: Beck et al., 2018.

### ***Wirtschaftlicher Verlust der Riffischerei***

Geschädigte Korallenriffe können die lebenswichtigen Güter und Dienstleistungen für küstennahe Gemeinschaften, insbesondere in wirtschaftlich weniger entwickelten Inselnationen, die auf Riffischerei für ihre Lebensgrundlage angewiesen sind, nicht mehr ausreichend zur Verfügung stellen (Speers et al., 2016). Wie schon in Kapitel 4.1 beschrieben, wirkt sich der Klimawandel auf die Biodiversität in Korallenriffen aus, die den Lebensraum vieler Fisch- und Pflanzenarten bilden. Bei einem Rückgang der Korallenriffe verlieren verschiedenste Arten, die für die Fischerei wichtig sind, ihren Lebensraum. Dies wiederum führt zu einem Rückgang der Populationen.

Im Hinblick auf die wachsende Weltbevölkerung und der damit steigenden Nachfrage nach Meeresprodukten, könnte der Druck auf die Fischereiressourcen in Korallenriffen zunehmen (Burke et al., 2011). Der Rückgang der Korallenriffe aufgrund des Klimawandels könnte somit zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten in der Riffischerei führen, die besonders im Asien-Pazifik-Raum einen hohen wirtschaftlichen Wert hat (Speers et al., 2016, Bartelet et al., 2024). Bis zum Ende dieses Jahrhunderts könnte die Riffischerei jährliche Verluste von 5,4 bis 8,4 Milliarden US-Dollar erleiden (Speers et al., 2016). Als Folgeauswirkung kommt es zu einer Beeinträchtigung oder dem Verlust der Lebensgrundlage für die lokale Bevölkerung.

## **4.3 Sozio-kulturelle Auswirkungen**

Neben den ökonomischen Auswirkungen, die sich auf Korallenriffe als Einnahmequelle und zum Küstenschutz beziehen, sind auch die sozio-kulturellen Auswirkungen zu berücksichtigen. Diese ziehen Korallenriffe als Lebensraum und Lebensgrundlage für Küstengemeinden und Kulturen in Betracht.

### ***Beeinträchtigung der Lebensgrundlage – Einkommensverluste für Küstengemeinden***

Millionen von Menschen sind auf Korallenriffe als essenzielle Lebensgrundlage angewiesen (Cinner et al., 2012). Der Rückgang und Verlust von Korallenriffen und der damit verbundene wirtschaftliche Verlust der Riffischerei, aber auch anderen Wirtschaftsbereichen wie des Tourismus (Auswirkungen dazu in Kapitel 4.5), könnten weitere Folgeauswirkungen auf Küstengemeinden haben, die abhängig von diesen Ökosystemen sind. Die Beeinträchtigung und der Verlust von Korallenriffen kann dazu führen, dass diese Menschen ihre Hauptquelle für Einkommen und Lebensgrundlage verlieren (Chaijaroen, 2022). Eine Studie zur Korallenbleiche in Indonesien im Jahr 1998 zeigte, dass betroffene Haushalte große Einkommensverluste mit weiteren Folgeauswirkungen, begründet unter anderem durch niedrige Fischereierträge, erlitten (s. Kapitel 4.3) (Chaijaroen, 2022). Des Weiteren kann dies

Arbeitslosigkeit, Armut und eine Beeinträchtigung oder Verschlechterung der Lebensqualität zur Folge haben, sofern keine Maßnahmen für alternative Einnahmequellen ergriffen werden.

### ***Verdrängung von Küstengemeinden und indigener Bevölkerungsgruppen***

Der steigende Meeresspiegel wird schwerwiegende Folgen für flache Koralleninseln haben, da durch Grundwasserkontamination, Überschwemmungen und verstärkte Erosion viele von ihnen unbewohnbar sein werden (Cuttler et al., 2020). Veränderungen im Niederschlagsmuster können diese Probleme auf einigen Inseln weiter verschlimmern und langfristig zu Bevölkerungsmigrationen weg von Korallenatollen führen (Wilkinson, 1996). Ein gutes Beispiel ist die im Pazifik liegende und nur maximal fünf Meter über dem Meeresspiegel liegende Atoll-Nation Tuvalu. Diese ist besonders gefährdet und gilt Prognosen zufolge als die erste Inselnation, die durch den Klimawandel unbewohnbar ist (Islam et al., 2023). Der Klimawandel führt dazu, dass die Bevölkerung Tuvalus aufgrund von Umweltveränderungen und steigenden Meeresspiegeln in Zukunft gezwungen sein wird, ihre Heimat zu verlassen und somit verdrängt wird. Dieses Schicksal könnte in Zukunft auch viele weitere Küstengemeinden und Bevölkerungsgruppen treffen, wie beispielweise die Malediven. Nach den Prognosen zum Meeresspiegelanstieg sollen bis zum Jahr 2050 80% der Malediven nicht mehr bewohnbar sein (Stam, 2023).

### ***Verlust von kultureller Identität und Traditionen***

Verlieren Inselnationen oder Küstengemeinschaften durch die Umsiedlung beziehungsweise den Verlust der Korallenriffe ihre natürliche Umgebung, drohen auch die damit verbundenen Kulturen und Traditionen verloren zu gehen.

Beispielsweise ist die Inselnation Tuvalu aufgrund der Umsiedlung auch durch den Verlust ihrer kulturellen Identität und Traditionen gefährdet. Diese liegt für Tuvalu in der Bewahrung und Weitergabe ihrer traditionellen Erzählungen und kulturellen Ausdrucksformen wie Dialoge, Tänze, Musik und Lieder, die eng mit der natürlichen Umgebung der Inseln verbunden sind und somit zur Identität und Gemeinschaft des Landes beitragen (Islam et al., 2023).

Am Beispiel von Melanesien, eine Region im Pazifik, die Fidschi, Vanuatu, die Salomonen und Papua-Neuguinea umfasst und in der Nähe vieler Korallenriffe liegt, wird der kulturelle Verlust ebenso deutlich. Die indigenen Gruppen in Melanesien haben eine spirituelle und persönliche Verbindung zu den Korallenriffen, die für ihre Kultur von großer Bedeutung ist (Desiderio et al., 2023). Ohne diese spirituelle Bindung droht den indigenen Gemeinschaften in Melanesien ein bedeutender Verlust ihrer kulturellen Identität (Desiderio et al., 2023).

Eine kulturelle und historische Bedeutung kann auch dem Beispiel des Great Barrier Reef zugesprochen werden. Die Aboriginals und Torres-Strait-Insulaner sind die ursprünglichen

Bewohner des australischen Kontinents und haben seit Tausenden von Jahren eine enge Verbindung zum Great Barrier Reef, dessen immense kulturelle Bedeutung durch Malerei, Lieder und Geschichten über Generationen weitergegeben wurde (Dixon, 2015). Während die Aboriginals und Torres-Strait-Insulaner die Riffe früher zur Fischerei und Ressourcengewinnung nutzten, arbeiten sie heute mit der Regierung und der Great Barrier Reef Marine Park Authority zusammen, um das Riff mit seiner historischen Bedeutung und als integralen Bestandteil der Kultur zu schützen (Dixon, 2015). Kulturell gesehen sind die Korallenriffe tief in den Traditionen und der Identität der Aboriginals und Torres-Strait-Insulaner verwurzelt. Auch heute noch setzen sie sich dafür ein, mündliche Traditionen weiterzugeben und die lebendige Kultur zum Ausdruck zu bringen (GBRMPA, 2022). Der Verlust des Riffs würde daher nicht nur den Verlust eines wichtigen Naturerbes, sondern auch die Beeinträchtigung ihrer kulturellen Identität bedeuten (Kwek, 2014). "Any part of losing Country is devastating to Aboriginal people. [...] It's who we are and where we come from" (WWF, 2022) erklärte Sonya Takau von der Giringun Aboriginal Corporation, die sich für den Schutz und die Bewahrung des Great Barrier Reefs engagiert, in einem Interview mit WWF. Dadurch verdeutlicht Sonya Takau die tiefgreifende Bedeutung des Great Barrier Reefs für die Identität und Herkunft der Aboriginals. Ein Verlust wäre verheerend und kann zu einem Identitäts- und Zugehörigkeitsverlust führen.

### ***Korallenriffe als Welterbestätten***

Ein UNESCO-Weltnaturerbestatus wird oft zur touristischen Vermarktung eingesetzt. Ein Gebiet gewinnt dadurch weltweit überwiegend an erhöhter Aufmerksamkeit und touristischem Mehrwert, was sich häufig in einem Anstieg der Besucherzahlen zeigt (UNESCO, o.D. b). Eine Studie der UNESCO prognostiziert jedoch, dass bei einer Entwicklung ohne signifikante Reduzierung der Treibhausgasemissionen, 25 der 29 Welterbe-Korallenriffe bis zum Jahr 2040 zweimal pro Jahrzehnt schwerer Bleichen ausgesetzt sein werden und damit stark bedroht sind (Heron et al., 2017). Es gibt klare Kriterien, anhand derer der Zustand und die Bedeutung einer Welterbestätte gemessen werden können (UNESCO, o.D. a). Wenn ein Korallenriff die Kriterien für die Aufrechterhaltung des Welterbestatus nicht mehr erfüllt und seinen außergewöhnlichen universellen Wert nicht bewahren kann, könnte der UNESCO-Welterbetitel in Gefahr sein. Verschiedene Medien berichteten insbesondere über die große Bedrohung des UNESCO-Welterbestatus des Great Barrier Reefs (Whiteman, 2023). Der Besitz eines als bedroht eingestuftes Welterbetitels erhöht den internationalen Druck auf die zuständige Regierung und kann zu strengeren Schutzmaßnahmen motivieren, um das einzigartige Welterbe für die Menschheit zu bewahren, nicht in schlechtes Licht gerückt zu werden und negative Auswirkungen auf den Tourismus bei einem Titelverlust zu verhindern.

### ***Verschlechterung des Zugangs zu Nahrungsquellen und Gesundheitsrisiken***

Fische sind eine bedeutende Quelle für tierisches Protein, Fette und Mikronährstoffe und spielen eine wichtige Rolle bei der qualitativen und quantitativen Ernährung von Millionen von Menschen in den ärmsten Ländern Afrikas und Südasiens sowie in ländlichen Gemeinschaften einiger pazifischer Inselstaaten und -gebiete (Cinner, 2014). Die Korallenriff-Ökosysteme tragen direkt durch die Bereitstellung von Fisch als Nahrung und Proteinquelle und indirekt durch Einkommen, Lebensgrundlage und Arbeitsplätze zur Ernährungssicherheit bei (Cruz-Trinidad et al., 2014). Der Verlust der Korallenriffe hätte zur Folge, dass die Ernährungssicherheit und Nährstoffvielfalt und damit die Gesundheit vieler Menschen, insbesondere von der Fischerei abhängige Gemeinden, gefährdet ist. Des Weiteren zeigte eine schon zuvor erwähnte Studie, dass die Korallenbleiche im Jahr 1998 in Indonesien negative Auswirkungen auf den Proteinkonsum, die Familienplanung und die Entwicklung von Kindern hatte (Chaijaroen, 2022).

## **4.4 Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffdestinationen**

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe wirken sich auch auf den Tourismus in Korallenriffdestinationen aus. Diese betreffen nicht nur die Destinationen, den Rifftourismus und die lokale Wirtschaft, sondern auch die Besucher.

### ***Beschädigung und Anfälligkeit der Infrastruktur***

Die Infrastruktur in Destinationen spielt eine wichtige Rolle für den Tourismus und trägt zur Attraktivität eines Reiseziels bei. Scott et al. (2012) untersuchten in einer Studie die potenziellen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf 906 bedeutende Küstenresort-Immobilien in 19 karibischen Ländern, worunter größtenteils auch bedeutende Korallenriffdestinationen waren. Die Studie zeigt, dass 29% der untersuchten Küstenresorts in der Karibik durch einen Meeresspiegelanstieg von einem Meter teilweise oder vollständig überflutet werden. Besonders gefährdet sind Anguilla, Belize, die Britischen Jungferninseln, St. Kitts und Nevis sowie die Turks- und Caicosinseln. Länder, die unter anderem stark vom Tourismus abhängig sind (s. auch Abb. 3 in Kapitel 3.1.2) und mit potenziellen Überflutungsverlusten von mehr als 50% der Küstenimmobilien rechnen müssen. Zudem könnten bis zu 60% der Resorts durch Küstenerosion beschädigt werden, wobei Belize und die Turks- und Caicosinseln am stärksten betroffen sind. Die Studie betont, dass Strände für den Tourismus in der Karibik entscheidend sind und ein Meeresspiegelanstieg von einem Meter nicht nur die Strände durch Überflutung und beschleunigte Erosion erheblich schädigen würde, sondern auch zum Phänomen des *Coastal Squeeze* führen, bei dem Strandflächen

zwischen festen Grenzen, wie Uferbebauungen, und dem ansteigenden Meeresspiegel eingeeengt werden und letztendlich verschwinden (Scott et al., 2012). Auf der karibischen Insel Martinique werden beispielweise etwa 85% der Strände touristisch genutzt, wovon wiederum 83% vom *Coastal Squeeze* bedroht sind (Schleupner, 2008). Der Verlust von Strandflächen, ein wichtiger Aspekt auch für den Reef-Adjacent-Tourismus, könnte aufgrund verringerter Attraktivität, wirtschaftlicher Einbußen und weiteren Folgeauswirkungen, zu einem Rückgang der Besucherzahlen führen. Des Weiteren ist auch die Infrastruktur auf Martinique durch den Meeresspiegelanstieg gefährdet, da auf den 11-14% der betroffenen Inseloberfläche sich mehr als 62% der Infrastruktur und etwa 53% der Gesamtbevölkerung befinden (Schleupner, 2008).

Eine weitere Studie von Kumar & Taylor (2015) untersucht die Anfälligkeit von Küsteninfrastruktur für Klimarisiken in pazifischen Inselstaaten, darunter auch Inseln mit Korallenriffdestinationen. Die sich auf eine große Ozeanfläche verteilenden Inseln bestehen hauptsächlich aus Korallen- und Sandstrukturen, haben eine kleine Landfläche, liegen nur knapp über dem Meeresspiegel und in einer Region mit hoher tropischer Wirbelsturmaktivität, weshalb sie besonders vulnerabel gegenüber natürlichen Naturkatastrophen und den Auswirkungen des Klimawandels sind (Kumar & Taylor, 2015). Die Studie zeigt, dass 57% der im Südpazifik untersuchten Küsteninfrastruktur in risikohaften Regionen innerhalb von 500 Metern zur Küste liegen. Diese Nähe zur Küste macht die Infrastruktur anfällig für Klimarisiken wie Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten, was schwerwiegende Folgen für die dort ansässige Wirtschaft hat. Dazu zählt insbesondere der Tourismus, von dem die meisten Inselwirtschaften stark abhängig sind.

### ***Verlust des Erlebniswerts, Veränderung des Reiseverhaltens & wirtschaftliche Auswirkungen***

Korallenriffe sind aufgrund ihrer biologischen Vielfalt und ihrer Schönheit beliebte Ziele für Taucher, Schnorchler und andere Touristen. Wenn diese Ökosysteme und Destinationen durch den Klimawandel beschädigt werden oder sich das Wetter klimabedingt verändert, sinkt die ästhetische Anziehungskraft und der Erlebniswert (Coghlan & Prideaux, 2009). Dies wiederum kann die Attraktivität der Destinationen beeinflussen, die Zahl der Besucher verringern und die lokale Wirtschaft, die in manchen Regionen und Ländern stark vom Tourismus abhängig ist, beeinträchtigen (Swann & Campbell, 2016). Der wirtschaftliche Verlust durch den Rückgang von Korallenriffen wird für den Tourismus je nach IPCC-Emissions-Szenario jährlich zwischen 1,9 Milliarden und 12 Milliarden US-Dollar geschätzt (Chen et al., 2015).

Eine Studie am Great Barrier Reef untersuchte, inwiefern sich Wetterveränderungen, auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel, auf das Rifferlebnis und die Gesamtzufriedenheit der Besucher auswirken (Coghlan & Prideaux, 2009). Die Ergebnisse zeigen, dass schlechtes

Wetter das Erlebnis von Besuchern mehr beeinflusst als gutes Wetter, da es Seekrankheiten begünstigt, die Sicht unter Wasser vermindert und die Bedingungen zum Schnorcheln und Tauchen erschwert (Coghlan & Prideaux, 2009). Wie in Kapitel 4.1 erwähnt, deuten die Wetterauswirkungen des Klimawandels darauf hin, dass sich Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Temperatur zukünftig verändern werden. Solche Wetterveränderungen führen beispielsweise zu einer stärkeren Sedimentbelastung, die die Wasserqualität mindert und somit das Unterwassererlebnis negativ beeinflusst (Coghlan & Prideaux, 2009). Dies kann insgesamt die Attraktivität und das Besuchererlebnis des Riffs beeinträchtigen.

Eine weitere Studie von Cheablam et al. (2013) untersuchte, ob sich die Korallenbleiche in der beliebten thailändischen Schnorchel-Destination Mu Ko Surin Marine National Park auf die Rückkehr von Touristen auswirkt. Die Hauptmotivation das Schutzgebiet zu besuchen, ist sowohl für internationale als auch für nationale Touristen vorrangig das Beobachten und Genießen von Korallenriffen und deren Bewohnern (Cheablam et al. 2013). Die Ergebnisse zeigen, dass bei 99% der Befragten die Korallenbleiche das Erlebnis negativ beeinflusst habe und nur etwa 63% der internationalen Gäste bzw. 59% der nationalen Gäste bereit seien, den Park erneut zu besuchen.

Nachdem 2016 im Great Barrier Reef eine der schwersten Korallenbleichen verzeichnet wurde, zeigte eine weitere Untersuchung aus Australien ebenfalls in einer Besucherumfrage Veränderungen des Reiseverhaltens und mögliche Folgeauswirkungen bei anhaltender Korallenbleiche (Swann & Campbell, 2016). Die Besucherumfrage zeigte unter anderem, dass viele Besucher eher ein anderes Land oder andere Teile Australiens besuchen würden. Dies hätte die Gefährdung von zehntausend Arbeitsplätzen und den Verlust von über einer Million Besucher im Tourismusgebiet des Great Barrier Reefs zur Folge, von denen 175.000 gar nicht erst nach Australien reisen und somit jährliche Ausgaben der Touristen in Höhe von eine Milliarde AU-Dollar fehlen würden (Swann & Campbell, 2016).

Eine weitere Studie von Uyarra et al. (2005) befasst sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Umweltmerkmale, die für Touristen bei der Auswahl ihrer Urlaubsziele auf den karibischen Inseln Bonaire und Barbados wichtig sind, und wie diese Auswirkungen die tourismusabhängigen Inseln beeinflussen könnten. Die entscheidenden Umweltmerkmale, die die Urlaubszielwahl beeinflussten, waren warme Temperaturen, klares Wasser und niedrige Gesundheitsrisiken (Uyarra et al., 2005). Besucher von Bonaire legten zusätzlich besonderen Wert auf eine hohe Vielfalt und Anzahl an Korallen und Fischen, während Reisende in Barbados eine stärkere Präferenz für landbezogene Merkmale, insbesondere Strandmerkmale, zeigten (Uyarra et al., 2005). Diese Präferenzen spiegelten sich auch in

Umfrageergebnissen zur Bereitschaft eines erneuten Besuchs zum gleichen Urlaubspreis angesichts möglicher Auswirkungen des Klimawandels wider. Auf Bonaire würden bei schwerer Korallenbleiche etwa 80% der Touristen nicht zum gleichen Preis zurückkehren, in Barbados ebenfalls etwa 80% nicht, wenn die Strände aufgrund des Meeresspiegelanstiegs weitgehend verschwinden. Damit einher gehen auch wirtschaftliche Verluste. Zudem betont die Studie, dass der Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf die Tourismuswirtschaft der Karibik haben könnte, indem er inselspezifische Umweltmerkmale, die für die Auswahl des Reiseziels von entscheidender Bedeutung sind, verändert. Dies zeigte eine weitere Studie von Parsons & Thur (2008), die analysierte, inwieweit Taucher aus den USA ihre Reiseentscheidung bei Veränderungen der Korallenriffqualität in Bonaire ändern würden. Eine Qualitätsminderung würde zu einem Rückgang des wirtschaftlichen Werts für Taucher führen, was in jährlichen Verlusten von etwa 45 US-Dollar pro Tauchbesucher bei mäßigen und 192 US-Dollar bei extremen Qualitätsverlusten resultiert (Parsons & Thur, 2008). Diese Verluste spiegeln sich in der Zahlungsbereitschaft der Taucher für Taucherlebnisse wider und beeinflussen somit direkt die Tourismusindustrie und die lokale Wirtschaft.

### ***Förderung des Last-Chance-Tourismus***

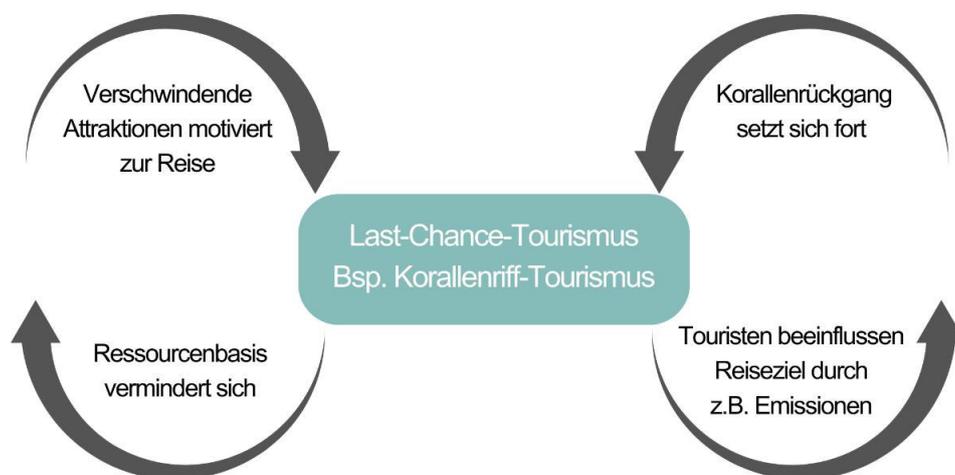
Die Auswirkungen des Klimawandels können den Last-Chance-Tourismus auslösen und fördern, der jedoch dazu beiträgt, dass die negativen Klimawirkungen noch weiter begünstigt werden. Der Begriff Last-Chance-Tourismus bezeichnet ein Phänomen, dass Menschen Orte oder Attraktionen, die durch den Klimawandel oder andere Faktoren gefährdet sind, besuchen wollen, bevor sich diese verändern, verschwinden oder eine Reise aufgrund von Zugänglichkeit nicht mehr möglich ist (Lemelin et al., 2010). Solche Orte können beispielsweise bedrohte Ökosysteme wie schmelzende Gletscher oder auch Korallenriffe und Atolle sein. Verschiedenste Medienberichte im Internet listen besondere Orte auf, die Reisende unbedingt besichtigt haben müssen, bevor sie zerstört sind. Darunter werden besonders häufig die Malediven und das Great Barrier Reef aufgeführt.

Diese Art des Reisens fördert jedoch den Klimawandel. Touristen legen dafür oft lange Strecken zurück, was pro Person zu einem unverhältnismäßig hohen Beitrag zu Treibhausgasemissionen und anderen Stressfaktoren führt, die wiederum die besuchten Attraktionen weiter verändern können (Dawson et al., 2011).

Piggott-McKellar und McNamara (2017) untersuchten insbesondere im Kontext von Last-Chance-Tourismus die Motivation von Touristen, das Great Barrier Reef zu besuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Anteil der Besucher dadurch motiviert ist, das Riff zu sehen, bevor dies nicht mehr möglich ist. Des Weiteren zeigten Besucher mit dieser Motivation aber auch ein höheres Umweltbewusstsein und eine größere Besorgnis über die Gesundheit

des Riffs. Die Touristen sorgten sich hauptsächlich um Korallenbleichen, Korallenkrankheiten und den Klimawandel, während sie den Tourismus selbst als nicht besonders risikoreich für die Korallenriffe betrachteten. Die Autoren betonen jedoch, dass die indirekten Auswirkungen des Tourismus und die durch Reisen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Klimawandel beitragen.

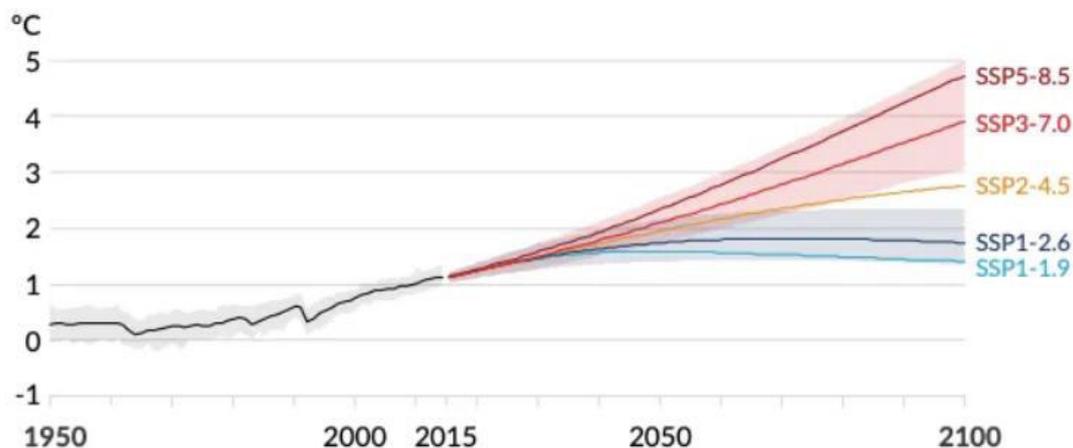
Abbildung 11 zeigt ein Modell, welches das Paradox des Last-Chance-Tourismus illustriert, so wie es von Dawson et al. (2010) beschrieben wurde. Das Modell beleuchtet die widersprüchliche Dynamik zwischen der Motivation, bedrohte Orte oder Arten sehen zu wollen, bevor sie verschwinden, und den damit einhergehenden Auswirkungen des Tourismus auf die besuchten Orte und Arten. Diese Motivation der Touristen kann die Auswirkungen auf die Destination verschärfen, sei es durch Umweltbelastung, touristische Aktivitäten vor Ort, zusätzlicher Ressourcenverbrauch oder die mit der Reise verbundenen Treibhausgasmissionen. Die Ressourcen oder Zustände, die die Attraktion ausmachen, können sich durch die touristischen Aktivitäten und Auswirkungen weiter verschlechtern. Dadurch wird der Niedergang der Attraktion vorangetrieben, was wiederum die Dringlichkeit des Last-Chance-Tourismus erhöht und so den Zyklus immer weiter verstärkt.



**Abbildung 11:** Der Zyklus und das Paradoxon des Last-Chance-Tourismus am Beispiel von Korallenriff-Tourismus.  
Quelle: In Anlehnung an Dawson et al., 2010.

## 4.5 Szenarien für Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen

Basierend auf den aktuellen und fortgeschrittenen Entwicklungen des Klimawandels lassen sich zwei Zukunftsszenarien für Korallenriffe und den Tourismus aufstellen. Beide Szenarien beinhalten jedoch bereits einen Verlust der Korallenriffe in unterschiedlichen Ausprägungen. Ein drittes Szenario, das eine gar nicht oder kaum geschädigte Korallenriffstruktur berücksichtigen könnte, scheint aufgrund der fortgeschrittenen Entwicklung des Klimawandels nicht realistisch und wird deshalb nicht weiter betrachtet. Die zwei aufgestellten Zukunftsszenarien berücksichtigen unterschiedliche Vorhersagen bezüglich des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur, da diese einen entscheidenden Einfluss auf das Überleben der Korallenriffe hat (s. dazu Kapitel 4.1). Bezogen wird sich hierbei auf die fünf Szenarien des Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) aus dem sechsten Sachbestandsbericht des IPCCs von 2021 (s. Abb. 12). Diese SSPs präsentieren unterschiedliche Zukunftsprojektionen, welche die Folgen des Klimawandels anhand von Annahmen über politische, wirtschaftliche und technologische Veränderungen darstellen (Irfan, 2021).



**Abbildung 12:** Entwicklung und Zukunftsschätzungen der globalen durchschnittliche Oberflächentemperatur anhand der fünf IPCC-Emissions-Szenarien. Quelle: IPCC, dargestellt von Irfan, 2021.

### Szenario 1: Überlebenschancen für noch vorhandene Korallenriffe und den Rifftourismus

Das Szenario 1 orientiert sich am IPCC-Emissions-Szenario SSP1-1.9. Dieses beschreibt eine optimistische und nachhaltige Entwicklung durch ehrgeizige Maßnahmen und einen unmittelbaren und starken Rückgang der Emissionen. Es wird angenommen, dass unter diesen Voraussetzungen die 1,5°C-Grenze, die im Pariser Klimaabkommen angestrebt wird,

wahrscheinlich nicht überschritten wird (UNFCCC, o.D.). Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C reduziert den Anstieg der Ozeantemperatur sowie die Versauerung der Ozeane und verringert Risiken für empfindliche Umgebungen wie Korallenriffe (IPCC, 2018).

Wie in Kapitel 3 erläutert, legen Forschungsergebnisse nahe, dass Korallenriffe potenziell in der Lage sind, sich an eine wärmere Umgebung anzupassen, sofern die Temperaturschwankungen nicht zu stark und häufig sind und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden (Colton et al., 2021). Dies setzt zum einen den unmittelbaren Emissionsrückgang voraus und zum anderen gilt es, lokale Stressoren zu reduzieren und zu vermeiden (Colton et al., 2021). Unter diesen Bedingungen könnte die Regeneration der Korallenriffe unterstützt werden. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass ein Überleben der Korallenriffe möglich ist, sofern die Erwärmung auf 1,5°C begrenzt bleibt.

Das IPCC (2018) warnt jedoch davor, dass selbst bei Einhaltung zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C, ein erheblicher Verlust von 70% bis 90% der riffbildenden Korallen gegenüber dem aktuellen Niveau unvermeidlich ist. Zahlreiche Wissenschaftler prognostizieren, dass dieser hohe Verlust der derzeit existierenden Korallenriffe innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte aufgrund der Ozeanerwärmung, der Versauerung des Wassers und der Umweltverschmutzung eintreten wird (Yeung, 2020). Nur wenige Riffe könnten sich unter diesen Voraussetzungen anpassen und überleben. Die Mehrheit würde durch die Auswirkungen des Klimawandels stark geschädigt werden und absterben.

Bei einem Überleben von 10-30% könnte sich dies gravierend auf den Korallenrifftourismus auswirken. Viele beliebte Tauch- und Schnorchel-Destinationen würden verloren gehen, da Korallenriffe als fundamentale Basis für diese touristischen On-Reef-Aktivitäten dienen. Die letzten verbleibenden Korallenriffe könnten zu Hotspots für Tourismusaktivitäten werden, da sie als einzigartige und seltene Attraktionen betrachtet werden. Dies würde den Last-Chance-Tourismus fördern und zu einem übermäßigen Besucherandrang führen, der diese fragilen Ökosysteme weiter belastet und gefährdet. Ein stark erhöhtes Touristenaufkommen würde die Riffe jedoch nicht nur überlasten, sondern auch das Besuchererlebnis könnte wegen Überfüllung beeinträchtigt werden. Des Weiteren könnte der Korallenrifftourismus teurer werden, da die Nachfrage nach einem begrenzten Angebot steigt und die Kosten für den Schutz und die Erhaltung dieser letzten verbliebenen Riffe zunehmen könnten. Destinationen mit vielfältigen Freizeitangeboten oder solche, bei denen On-Reef-Aktivitäten nicht der Hauptanziehungspunkt sind, würden wirtschaftlich weniger von Korallenriffverlusten betroffen sein (Hough-Guldberg et al., 2019). Isolierte und gering über dem Meeresspiegel gelegene Destinationen mit wenigen Angeboten, die über Sonnenbaden, Tauchen und Schnorcheln

hinaus gehen, könnten jedoch stärker beeinträchtigt sein, da Touristen sich möglicherweise für andere Ziele entscheiden (Hough-Guldberg et al., 2019).

Szenario 1 zeigt, dass der Rifftourismus zwar weiterhin begrenzt bestehen könnte, Korallenriffdestinationen jedoch alternative touristische Angebote schaffen müssen, die nicht ausschließlich von Korallenriffen abhängig sind. Durch eine Diversifizierung des touristischen Angebots könnten diese Destinationen widerstandsfähiger gegenüber den Auswirkungen des Korallenrückgangs werden und den Tourismus zukünftig nachhaltig sichern.

## **Szenario 2: Verlust der Korallenriffe und des Rifftourismus**

Das IPCC Emissions-Szenario SSP1-2.6 geht von einem moderaten Erfolg bei der Emissionsreduktion aus, wobei die globale Erwärmung wahrscheinlich auf etwa 2 °C begrenzt wird. Dies erfordert immer noch große Bemühungen zur Reduzierung der Emissionen und eine verstärkte Anpassung an klimatische Veränderungen. Die International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2017) betont jedoch, dass die einzige Möglichkeit für das weltweite Überleben von Korallenriffen darin besteht, die globale Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C über dem Niveau von vor Beginn der industriellen Ära zu begrenzen, so wie es im Pariser Abkommen festgelegt ist. Die Ergebnisse einer neusten Studie aus 2023 deuten mit einer fünfzigprozentigen Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass trotz umfangreicher Reduzierung von Treibhausgasen die Möglichkeit besteht, dass die globale Erwärmung die Grenze von 2°C bis zum Jahr 2050 übersteigt (Diftenbaugh & Barnes, 2023). Bei einer Erwärmung von 2°C oder mehr, würden etwa 99% der Korallenriffe verloren gehen (IPCC, 2018). Aufgrund der hohen Emissionen und Temperaturwerte sterben nahezu alle Riffe ab und der Korallenrifftourismus ist schwerwiegend beeinträchtigt bzw. nicht mehr möglich. Bis 2100 werden voraussichtlich nur noch wenige oder gar keine geeigneten Korallenhabitate vorhanden sein, da die meisten Gebiete, in denen Korallenriffe heute vorkommen, bis Mitte des Jahrhunderts für Korallen ungeeignet sein werden und sich ihr Zustand bis 2100 voraussichtlich weiter verschlechtern wird (Yeung, 2020).

Korallenriffdestinationen müssten sich zunehmend vom Rifftourismus abwenden und Alternativen anbieten. Auch im Hinblick auf den Meeresspiegelanstieg und den Küstenschutz, der ohne Korallenriffe drastisch reduziert werden würde, müssten weitere Schutzmaßnahmen getroffen werden, um gravierende Auswirkungen auf die Küsteninfrastruktur in den Destinationen zu verhindern. Reef-Adjacent-Tourismus könnte ebenfalls beeinträchtigt werden, da beispielsweise die Riffischerei und Meeresprodukte durch die verlorene Biodiversität zurück gehen würden und der Erholungsfaktor an ruhigen Stränden aufgrund der fehlenden

Korallenriffe als Wellenbrecher gefährdet sein könnte. Korallenriffdestinationen wie beispielweise Barbados, die insbesondere durch ihre Strandmerkmale einen touristischen Wert bieten, wären im Hinblick auf den Reef-Adjacent-Tourismus durch den Coastal Squeeze und Küstenerosionen schwer beeinträchtigt.

Die Emissions-Szenarien 3 bis 5 des IPCC zeigen, dass Emissionen und Temperaturen weiter ansteigen und von einer Erwärmung von über 2°C bis annähernd 5°C ausgegangen wird. Der Ozean bietet unter diesen Bedingungen keinen geeigneten Lebensraum mehr für Korallen und ein totaler Verlust der Korallenriffe wird angenommen.

### **Schlussfolgerung**

Während in Szenario 1 noch eine eingeschränkte Zukunft für Korallenriffe und den Korallenrifftourismus angenommen werden kann, sehen die Zukunftsaussichten in Szenario 2 durch den fast totalen Verlust der Korallenriffe negativ aus. Die globale Erwärmung steht bereits kurz davor, die Schwelle von 1,5°C zu überschreiten, selbst wenn der anthropogene Einfluss auf den Klimawandel in naher Zukunft erheblich reduziert wird (Diffenbaugh & Barnes, 2023). Auch das 2°C-Ziel soll bis 2050 mit einer fünfzigprozentigen Wahrscheinlichkeit überschritten werden (Diffenbaugh & Barnes, 2023). Demzufolge besteht eine alarmierend hohe Wahrscheinlichkeit, dass Szenario 2 eintreffen könnte und der Korallenrifftourismus stark bedroht bzw. nicht mehr möglich ist.

Es gibt möglicherweise positive Entwicklungen wie die Erscheinung von riffbildenden Korallen in höheren Breitengraden, was auf die Bildung temporärer Klimarefugien hinweist, die trotz geringerer Artenvielfalt eine wichtige Rolle bei der Regeneration von Korallenriffen spielen könnten (IPCC, 2018). Dennoch sind diese Entwicklungen noch wenig erforscht und selten, weswegen daraus kein wissenschaftlich begründetes Szenario aufgestellt werden kann.

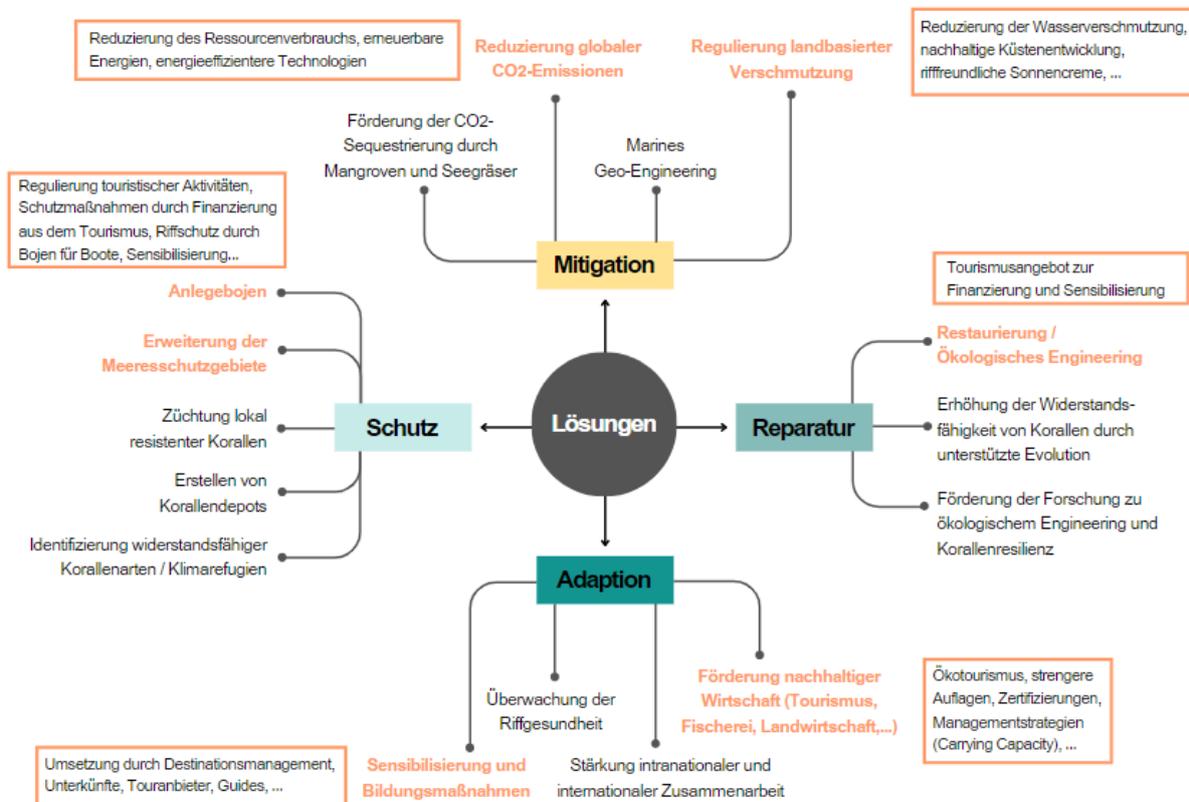
Für die beiden vorgestellten Szenarien sind alternative touristische Angebote erforderlich, um Arbeitsplätze zu erhalten, Einkommen zu generieren und den Lebensunterhalt der lokalen Gemeinschaften zu sichern. Es müssen Alternativen geschaffen werden, um noch vorhandene Riffe zu schützen und zu erhalten (Szenario 1) und ein Tourismus generell in Korallenriffdestinationen ohne mögliche Korallenriffaktivitäten zu sichern (Szenario 2).

## 5 Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen

Die Zusammenschau der Klimawandelauswirkungen auf Korallenriffe und Korallenriffdestinationen in Kapitel 4 zeigt die vielschichtige Bedeutsamkeit des Ökosystems Korallenriff für ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Aspekte und Zusammenhänge. In Kapitel 5.1 werden grundsätzliche Lösungsansätze vorgestellt. Daraus werden im weiteren Verlauf Handlungsempfehlungen hergeleitet, die den Schutz der Korallenriffe und eine nachhaltige Tourismusentwicklung in Korallenriffdestinationen fördern sollen.

### 5.1 Lösungsansätze

Vor dem Hintergrund der signifikanten und zunehmenden Auswirkungen, die der Klimawandel auf Korallenriff-Ökosysteme und die von ihnen abhängigen Gemeinden und Destinationen hat, stellt dieses Kapitel, auch mit Bezug auf die Zukunftsaussichten, Lösungsansätze vor. Abbildung 13 zeigt die von Experten aus verschiedenen Wissenschaftsgebieten und Ländern sowie von weiteren Stakeholdern entwickelten lokalen und globalen Strategien, klassifiziert in vier Kategorien nach Gattuso et al. (2015), mit denen die Klimaherausforderungen für Korallenriffe bewältigt werden können (Allemand & Osborn, 2019). Die Lösungsansätze lassen sich in die vier Kategorien Mitigation, Adaption, Schutz und Reparatur aufteilen.



**Abbildung 13:** Lösungen für Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und zusätzlich, in orange hervorgehoben für Korallenriffdestinationen.

Quelle: In Anlehnung an Allemand & Osborn, 2019, adaptiert nach Gattuso et al., 2015; eigenständig erweitert für Korallenriffdestinationen (orangeumrandete Kästen).

**Mitigation** bezieht sich auf Abschwächungsmaßnahmen, die sich darauf konzentrieren, die Ursachen des Klimawandels zu reduzieren bzw. wenn möglich zu vermeiden und so die Auswirkungen des Klimawandels mildern. **Adaption** bedeutet, Maßnahmen an die aktuellen oder erwarteten Auswirkungen des Klimawandel anzupassen. Der Ansatz **Schutz** beinhaltet Maßnahmen zum Aufbau und Erhalt der Widerstandsfähigkeit von Korallenriff-Ökosystemen. Der letzte Lösungsansatz, **Reparatur**, befasst sich mit Maßnahmen zur Wiederherstellung beschädigter oder degradierter Korallenriffe. Aufbauend auf diesen vier entwickelten Lösungsansätzen, und unter Berücksichtigung der Entwicklungsszenarien des Tourismus in Korallenriffdestinationen, ist die Abbildung um Handlungsempfehlungen speziell für den Tourismus erweitert worden (s. orangene Kästchen). Diese Handlungsempfehlungen werden im folgenden Kapitel 5.2 eingehender vorgestellt. Um einen ganzheitlichen Lösungsansatz zu schaffen, ist dennoch zu betonen, dass ein Zusammenwirken verschiedener Stakeholder notwendig ist. Zu den Stakeholdern können Regierungen, die Wissenschaft, Wirtschaftsbranchen, darunter die Tourismusbranche, die Öffentlichkeit, lokale Gemeinschaften und verschiedene Organisationen zählt werden.

## 5.2 Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden ausgewählte Handlungsempfehlungen, die als besonders bedeutsam erachtet werden, konkreter vorgestellt. Der Anspruch auf Vollständigkeit wird nicht verfolgt. Vielmehr geht es darum, Impulse zu geben und darauf hinzuweisen, dass eine einzelne Lösung nicht genügen wird. Es bedarf eines Zusammenwirkens von verschiedenen Maßnahmen und Strategien, mit dem Ziel der Erhaltung und des Schutzes der Korallenriffe (Battaglia, 2023). Um die Auswirkungen und Herausforderungen des Klimawandels auf Korallenriffe und im Zusammenhang mit Korallenriffdestinationen umfassend anzugehen, müssen aufeinander abgestimmte Maßnahmen in einem zielorientierten Managementplan definiert sein (s. Handlungsempfehlungen in Abb. 13). Insbesondere geht es darum, Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Tourismusedwicklung in den Korallenriffdestinationen zu geben. Nachhaltiger Tourismus berücksichtigt umfassend die ökonomischen, sozialen und ökologischen Auswirkungen sowohl gegenwärtig als auch in der Zukunft, indem er die Bedürfnisse von Besuchern, der Branche, der Umwelt und den Gastgemeinschaften anspricht (UNEP & WTO, 2005). Demnach ist das Ziel des nachhaltigen Tourismus, ein Gleichgewicht zwischen ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Aspekten des Tourismus zu erreichen, um wiederum langfristige Nachhaltigkeit für Umwelt, lokale Gemeinschaften und Wirtschaft zu sichern (UNEP & WTO, 2005).

### 5.2.1 Reduzierung der Treibhausgasemissionen

Mit steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre werden die Schutz-, Adaption- und Reparaturmechanismen des Ozeans zunehmend geschwächt und weniger effektiv (Gattuso et al., 2015). Um Korallenriffen die Möglichkeit zur Erholung zu geben und um die 1,5°C-Grenze des Pariser Klimaabkommens nicht zu überschreiten, sind ehrgeizige Maßnahmen und ein langfristig starker Rückgang der Treibhausgasemissionen erforderlich. Die Reduzierung der Emissionen, also die Mitigation, wird Jahrzehnte dauern, um die Auswirkungen des Klimawandels zu beeinflussen, weshalb es wichtig ist, sofort zu handeln und Maßnahmen umzusetzen (WWF, o.D.). Dies ist in allen Sektoren weltweit notwendig (Umweltbundesamt, 2024). Auch im Tourismussektor, der vom Klimawandel betroffen ist und, wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, zugleich Mitverursacher des Klimawandels ist, ist ein Handeln unumgänglich. Maßnahmen, die entlang der touristischen Dienstleistungskette umgesetzt werden können, beinhalten die Förderung und Nutzung erneuerbarer Energien und lokaler Produkte, die Reduzierung von Abfällen, Einsparung von Ressourcen oder die Implementierung energieeffizienter Technologien (vgl. auch UNWTO, 2018). Regierungen sollten politische Maßnahmen, wie beispielsweise die Einführung von verbindlichen Netto-Null-Programmen für alle Beherbergungsbetriebe, Touren, Kreuzfahrtschiffe und Destinationen mit dem Ziel einführen und durchsetzen, 100% erneuerbare Energien zu nutzen (UNWTO, 2018). Damit selbst das 2°C-Ziel nicht überschritten wird, ist es beispielsweise notwendig, 65% der weltweit genutzten Energie aus erneuerbaren Quellen zu nutzen (Gonstalla, 2019). Global stammen derzeit jedoch nur etwa 15% der Energie von erneuerbaren Ressourcen (Ritchie et al., 2020). Eine globale Energiewende ist eine der wichtigsten Maßnahmen, Emissionen zu reduzieren (GIZ, o.D.).

In Anbetracht der touristischen Ortsveränderungen mithilfe verschiedenster Transportmittel, die mit etwa 49% am meisten zu den Emissionen aus dem Tourismus beitragen, ist die Förderung nachhaltiger Verkehrsmittel entscheidend, um zukünftig emissionsärmer zu verreisen. Flugzeuge sind die klimaschädlichsten Transportmittel, weshalb Alternativen zum herkömmlichen Kerosin notwendig sind (Geo, 2023). Die Nutzung von Sustainable Aviation Fuels (SAF), die aus biogenen Abfällen oder synthetisch hergestellt werden, birgt mit bis zu achtzigprozentiger Einsparung an Treibhausgasemissionen großes Potenzial, ist jedoch noch nicht massentauglich und dreimal teurer als herkömmliches Kerosin (Geo, 2023). Diesbezüglich ist mehr Forschung im Bereich der SAFs notwendig, um SAFs in der Luftfahrtindustrie zukünftig in größerem Maßstab einzusetzen (Geo, 2023). Die Tourismusbranche kann jedoch bereits lokal aktiv werden und nachhaltigere Verkehrsmittel in den Destinationen vor Ort fördern. Dies kann beispielweise durch eine Gästekarte zur Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel oder durch die Bereitstellung von Fahrrädern in den Unterkünften

unterstützt werden. Der mit einer Destination verbundene Aufenthalt in derselben, erfordert von der touristischen Infrastruktur, bei den Dienstleistungen sowie den Einrichtungen ebenfalls nachhaltigere und emissionsreduzierende Maßnahmen zu integrieren (z.B. Energiesparmaßnahmen in den Beherbergungsbetrieben).

Die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre schafft bessere Bedingungen für das Überleben von Korallenriffen und ermöglicht die erfolgreiche Umsetzung anderer Schutz- und Rettungsmaßnahmen (Battaglia, 2023). Die Mitigation der Treibhausgasemissionen ist die zentrale und wichtigste Handlungsempfehlung, da sie direkt die Hauptursache des anthropogenen Klimawandels adressiert. Ohne dies umzusetzen können weitere Maßnahmen allein die Korallenriffe nicht retten (IUCN, 2017). Weitere Maßnahmen dienen lediglich als ergänzende Maßnahmen zur Unterstützung und Wiederherstellung der Korallenriffe (Battaglia, 2023).

### **5.2.2 Erweiterung der Meeresschutzgebiete**

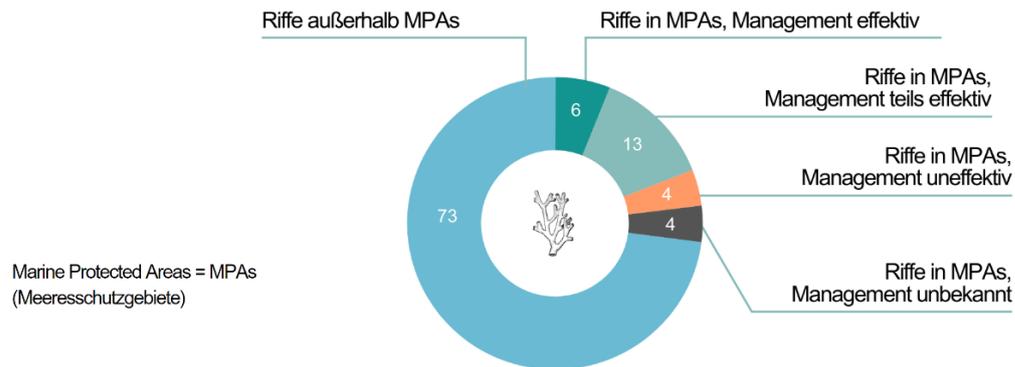
Die Einrichtung von Meeresschutzgebieten ist ein wesentlicher Mechanismus zum Schutz von Korallenriffen (Miththapala, 2008).

Ein Schutzgebiet ist nach der IUCN wie folgt definiert:

“A clearly defined geographical space, recognised, dedicated and managed, through legal or other effective means, to achieve the long-term conservation of nature with associated ecosystem services and cultural values” (Dudley, 2008: 8).

Meeresschutzgebiete sind demnach speziell ausgewiesene und anerkannte Gebiete im Ozean, die langfristig zum Schutz und zum Erhalt des marinen Lebens, der Lebensräume, der Ökosystemdienstleistungen oder des kulturellen Erbes eingerichtet und verwaltet werden (NOAA, o.D.). Des Weiteren sind sie wichtig für Forschung, Bildung und Sensibilisierung bezüglich der Bedeutung eines Gebiets (Burke et al., 2011). Die menschliche Nutzung wird in Meeresschutzgebieten durch geringe Beschränkungen bis hin zu vollständigen Verboten reguliert, um die Umwelt zu schützen. Effektiv verwaltete Meeresschutzgebiete können sowohl gesunde Korallenriffe in bereits geschädigten Umgebungen bewahren als auch die Erholung von überfischten oder anderweitig beeinträchtigten Gebieten unterstützen (Burke et al., 2011). Obwohl der Klimawandel eine große Herausforderung für Korallenriffe darstellt, die allein durch die Einrichtung eines Meeresschutzgebiets nicht bekämpft werden kann, haben diese Gebiete die Möglichkeit, menschliche Stressoren zu reduzieren, was die Resilienz der Riffe gegenüber dem Klimawandel steigern könnte (Harvey et al., 2018). Effektiv geplant und verwaltet, können Meeresschutzgebiete die Resilienz und Erholung von beispielsweise

Korallenbleichen fördern (Abelson et al., 2016, Mellin et al., 2016). Nur etwa 6% der weltweiten Riffe werden effektiv und 13% teilweise effektiv verwaltet und 27% aller Riffe sind überhaupt als Meeresschutzgebiet ausgewiesen (Burke et al., 2011). Schutzgebiete für Korallenriffe sollten demnach von den jeweiligen Regierungen und beteiligten Stakeholdern, wie Organisationen oder lokale Gemeinschaften, ausgeweitet und anerkannt werden. Diese Schutzgebiete erfordern allerdings auch effektive Managementmaßnahmen, um die langfristige Schutzfunktion zu erfüllen.



**Abbildung 14:** Anteil der weltweiten Korallenriffe in Meeresschutzgebieten und deren unterschiedliche Managementeffektivität.  
Quelle: In Anlehnung an Burke et al., 2011.

Harvey et al. (2018) betonen, dass die Integration von Meeresschutzgebieten zusammen mit anderen Managementstrategien und partizipatorischen Ansätzen die beste Möglichkeit ist, die Widerstandsfähigkeit von Korallenriffen gegenüber dem Klimawandel zu maximieren und gleichzeitig einen gerechten Zugang zu den Ökosystemleistungen sicherzustellen. Zu den Managementstrategien zählen die Reduzierung lokaler Stressoren, um die Widerstandsfähigkeit der Riffe zu stärken, oder die Einrichtung klimawandelgerechter Meeresschutzgebiete, die gezielt die Anpassungsfähigkeit und Resilienz von Riffen fördert (Harvey et al., 2018). Zudem werden aktive und innovative Ansätze wie die Riffsanierung und die unterstützte Evolution diskutiert, bei der gentechnisch veränderte, stresstolerante Korallen in Riffe verpflanzt werden (Harvey et al., 2018). Abschließend wird die Bedeutung von der Einbindung verschiedener Stakeholder mit in den Schutzprozess hervorgehoben. Dazu zählen gerade lokale Gemeinschaften aufgrund der Tatsache, dass Korallenriffe eine große Bedeutung für diese Gemeinschaften haben (Harvey et al., 2018).

Wie bereits erwähnt reicht die Ausweisung von Meeresschutzgebieten allein nicht aus. Vielmehr benötigt es einen erweiterten Managementansatz, der den Klimawandel berücksichtigt und auch Maßnahmen zur Anpassung an die damit verbundenen Herausforderungen umfasst. Zuletzt ist es wichtig, solche Schutzgebiete langfristig gut zu verwalten und effektiv zu planen, um einen Schutz zu gewährleisten.

### 5.2.3 Reduzierung lokaler Stressoren

Der Schutz von Korallenriffen sollte darauf ausgerichtet sein, Bedingungen zu fördern, die die natürliche Erholung und Widerstandsfähigkeit der Korallen unterstützen und stärken (Battaglia, 2023). Wie in Kapitel 3.1.3 aufgezeigt, sind Korallenriffe neben dem Klimawandel auch von anderen menschlichen Einflüssen bedroht. Dazu zählen die Küstenentwicklung, Küsten- und Wasserverschmutzung und nicht nachhaltige Tourismus- und Fischereipraktiken.

In Kapitel 5.2 wurde erklärt, dass Meeresschutzgebiete eingerichtet werden, um Korallenriffe durch die Regulierung menschlicher Aktivitäten zu schützen. Dazu zählt auch die Reduzierung lokaler Stressoren. Demnach ist es wichtig, solche Gebiete auszuweiten und beispielsweise durch Zonierungen für Aktivitäten effektiv zu verwalten, sodass Schutzziele erfüllt werden. Ebenso müssen auch außerhalb von Meeresschutzgebieten Maßnahmen getroffen werden. Eine Zusammenstellung solcher Maßnahmen in Bezug auf die Fischerei, die Küsten- und Wasserverschmutzung sowie Küstenentwicklung ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Tourismusbranche kann auf viele der genannten Punkte Einfluss haben, wie z.B. ein verbessertes Abwasser- und Abfallmanagement und Management anderer Schadstoffe aus nachhaltiger touristischer Infrastruktur. Die Reduzierung lokaler Stressoren aus nicht nachhaltigen Tourismuspraktiken wird in Kapitel 5.2.4 ausführlich behandelt.

<p><b>Fischerei</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einschränkung des Zugangs zu Fischereigeieten</li> <li>• Verbot oder Einschränkung von Fischereipraktiken</li> <li>• Einschränkung oder Modifizierung von Fischereigeräten</li> <li>• Beschränkung der befischten Arten</li> </ul>
<p><b>Küsten- und Wasser- verschmutzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbessertes Management von Einzugsgebieten</li> <li>• Regulierung der landwirtschaftlichen Verschmutzung</li> <li>• Reduzierung der Abholzung</li> <li>• Reduzierung industrieller Verschmutzung</li> <li>• Reduzierung von Sedimentation</li> <li>• Verbessertes Management von Abwässern               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modernisierung von Kläranlagen</li> <li>○ Verbesserung von Wasserbehandlungsanlagen</li> </ul> </li> <li>• Verbot riff-toxischer Sonnencreme</li> </ul>
<p><b>Küstenentwicklung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung des Abfallmanagements an Küsten</li> <li>• Verbesserung des Abfallmanagements in Häfen</li> <li>• Behandlung und Kontrolle von Ballastwasser</li> <li>• Überwachung und Regulierung von Schadstoffen</li> <li>• Ausweisung von sicheren Schifffahrtswegen</li> <li>• Entwicklung der Küstengebiete kontrollieren</li> <li>• Regulierung und Verhinderung von Offshore-Öl- und Gasaktivitäten</li> <li>• Regulierung von Tourismus und Erholungsaktivitäten</li> </ul>

**Tabelle 2:** Maßnahmen zur Reduzierung lokaler Stressoren für Korallenriffe.  
Quelle: In Anlehnung an Comte & Pendleton, 2018.

## 5.2.4 Förderung nachhaltiger Tourismuspraktiken

Touristische Aktivitäten tragen zum Klimawandel, aber zusätzlich auch zu lokalen negativen Auswirkungen bei, wie in Kapitel 3.1.3 erläutert. Im Hinblick auf die Szenarien und den Last-Chance-Tourismus, könnte sich der Tourismus in Zukunft verstärkt auf noch verbliebene Korallenriffe konzentrieren. Damit lokale Stressoren durch den Rifftourismus vermieden werden können, muss der Tourismus langfristig nachhaltig gestaltet werden, um die Bedürfnisse gegenwärtiger sowie auch zukünftiger Generationen zu sichern. Daraus folgernd werden verschiedene Ansätze gezeigt, die eine nachhaltige Entwicklung zu fördern und zu erreichen versuchen (s. Abb. 15).

Damit Nachhaltigkeitsentwicklung im Tourismussektor gestärkt wird und die besten Erfolge erzielt werden, ist die Zusammenarbeit unterschiedlicher Stakeholder wichtig, darunter internationale Organisationen, Regierungen, Tourismusunternehmen, lokale Gemeinschaften und Touristen (UNWTO, 2018). Partnerschaften fördern die Schulung von umweltfreundlichen Praktiken, den Wissensaustausch und gemeinsame Lösungsfindungen für verschiedenste Herausforderungen (Burke et al., 2011).

Weiterhin sollten Zertifizierungsprogramme und die Vergabe von Auszeichnungen benutzt werden, um Vorzeige-Praktiken von Unterkünften und Touranbietern zu fördern und gleichzeitig umweltbewusste Besucher anzuziehen (Burke et al., 2011). In der Tourismusbranche gibt es diverse Zertifizierungsprogramme wie Green Globe, EarthCheck oder TourCert. Eine Initiative, die sich speziell für den Schutz von Korallenriffen einsetzt, ist Green Fins. Green Fins gilt als das weltweit erste unabhängige Zertifikat für den maritimen Tourismus und wird von der Reef-World Foundation sowie dem United Nations Environment Programme (UNEP) international eingesetzt (The Reef-World Foundation, o.D.). Gemeinsam mit nationalen Regierungsteams und NGOs setzt sich Green Fins für den Schutz von Korallenriffen ein, indem es umweltfreundliche Richtlinien zur Förderung nachhaltiger Tauch- und Schnorchelerlebnisse fördert (The Reef-World Foundation, o.D.). Die Mitgliedschaften werden über eine Plattform verwaltet, die es allen Mitgliedern ermöglicht, auf personalisierte Aktionspläne, eine Vielzahl von Umweltlösungen und ein Expertennetzwerk über das Community-Forum zuzugreifen (The Reef-World Foundation, o.D.). Zudem gibt es einen Green-Fins-Verhaltenskodex, der fünfzehn Umweltstandards für maritime Tourismusbetriebe festlegt und bewährte Praktiken umfasst, die die Rollen von Managern, Personal und Touristen berücksichtigen (The Reef-World Foundation, o.D.). Green Fins fördert durch umfangreiche Unterstützung und den Austausch zwischen verschiedenen Stakeholdern einen nachhaltigen Tourismus zum Schutz der Korallenriffe. Für den Rifftourismus ist es von entscheidender Bedeutung, an Zertifizierungsprogrammen wie Green Fins teilzunehmen.

Zertifizierungsprogramme, Auszeichnungen oder Verhaltenskodexe sind jedoch interne und freiwillige Maßnahmen. Für strikere Maßnahmen sind strengere Auflagen und Gesetze für touristische Aktivitäten zu implementieren. Regierungen sollten dazu Vorschriften oder Richtlinien erarbeiten und durchsetzen (UNWTO, 2018). Tourismus muss in sensiblen Gebieten durch Zonierung für unterschiedliche Entwicklungsarten, Umweltverträglichkeitsprüfungen, umweltgerechte Gestaltung touristischer Infrastruktur und Dienstleistungen und einem verbesserten Durchsetzen von Vorschriften sorgfältig geplant werden (UNWTO, 2018). Staatliche Behörden, die den Tourismus in Schutzgebieten regeln, verwenden verschiedene regulatorische Strategien wie die Vergabe von Lizenzen an Tourbetreiber, um rechtliche Vorgaben für den Betrieb von Tourismusunternehmen innerhalb dieser Gebiete festzulegen (Newsome et al., 2012).



**Abbildung 15:** Darstellung von Maßnahmen im Tourismus für einen nachhaltigen Riffschutz  
Quelle: Eigene Darstellung

Korallenriffe gelten als besonders sensible Gebiete, weshalb eine sorgfältige Planung für die Sicherstellung einer nachhaltigen Tourismusedwicklung notwendig ist. Lizensierung als strengere Auflage zur Regulierung von Aktivitäten ist nur eine von vielen weiteren Managementansätzen. Damit Schäden an Korallenriffen verhindert und der Riffschutz nachhaltig gestaltet werden kann, sind Obergrenzen für die Anzahl von Touristen und Booten an einem Ort wichtig, die mit dem Managementansatz der *Carrying Capacity* bestimmt werden können (Sutrisno et al., 2023). Die Förderung und Installation von Anlegebojen an Korallenriffen und gesetzliche Vorgaben, die das Festmachen der Boote an diesen verpflichten, sind ebenfalls entscheidend, um Sedimentaufwirbelung und Korallenabbrüche durch Anker zu verhindern (Sutrisno et al., 2023). Die Installation von Anlegebojen empfehlen auch Allemand

& Osborn (2019) in ihrem Ansatz zum Schutz von Korallenriffen (s. Abb. 13). Als Beispiel kann hier die Maya Bay in Thailand betrachtet werden, wo die Umwelt vor Ort durch Massentourismus und nicht nachhaltiger Tourismuspraktiken derartig in Mitleidenschaft gezogen wurde, dass der touristische Zugang zur Insel für vier Jahre verboten wurde (Bush, 2022). Etwa 50% der Korallen wurden allein durch falsches Ankern der Boote zerstört (Bush, 2022). Die Bucht wurde nach langer Regenerationszeit für Natur und Korallenriffe mit strengeren Auflagen wieder geöffnet. Dazu gehört im Hinblick auf die *Carrying Capacity* die Begrenzung der Touristenanzahl und das verpflichtende Anlegen der Boote an einem schwimmenden Dock vor der Bucht, von wo ein umweltfreundlicher Boardwalk zum Strand führt (Peeters et al., 2018).

Zusätzlich soll die Sensibilisierung und Umweltbildung von Besuchern zum Riffschutz beitragen. Dazu gehört die Aufklärung über die Bedeutung und Gefährdung von Korallenriffen und wie Besucher dazu beitragen können, Korallen zu schützen (Sutrisno et al., 2023). Die Sensibilisierung von Besuchern erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese sich gegenüber Korallenriffen respektvoller verhalten (Burke et al., 2011). Die Sensibilisierung kann direkt durch den Touranbietern bei Schnorchel- und Tauchtouren erfolgen oder durch Medien, beispielsweise Informationsbroschüren und Informationstafeln am Strand (Sutrisno et al., 2023).

Tourismus kann weiterhin zur Finanzierung für den Schutz von Korallenriffen beitragen, indem Nutzungsgebühren wie Eintrittsgelder für Schutzgebiete, Tauchgebühren und Gebühren für Bootstouren erhoben werden (s. auch Kapitel 3.1.2) (McFarland, 2020). Ebenso tragen Einnahmen aus kommerziellen Aktivitäten der Schutzgebietsbehörden, Steuern auf Flughäfen, Kreuzfahrtschiffen oder Hotels sowie freiwillige Spenden von Tourismusbetrieben oder Touristen dazu bei (McFarland, 2020). Somit kann der Tourismus, insbesondere der Ökotourismus, als wichtiges Tool dienen, um Einnahmen für den Schutz von Korallenriffen zu generieren. Ökotourismus ist eine nachhaltige Tourismusform, die auf dem Naturerlebnis basiert und dabei sowohl die Erhaltung der natürlichen Ressourcen als auch die Bildung der Besucher über ökologische und kulturelle Werte in den Vordergrund stellt (Newsome et al., 2012). Ziel ist es, ökologisch nachhaltig zu sein, keine Schäden in natürlichen Gebieten zu verursachen, der lokalen Gemeinschaft wirtschaftliche Vorteile zu bringen und zugleich touristische Zufriedenheit zu generieren (Newsome et al., 2012). Ökotourismus in Korallenriffdestinationen trägt somit nicht nur zum Schutz und Erhalt der Korallenriffe bei, sondern fördert auch das Bewusstsein für die Bedeutung der Korallenriffe und sichert die ökonomischen und sozio-kulturellen Belange der Bewohner.

Im Zusammenhang mit der *Carrying Capacity* besteht eine weitere Möglichkeit der Finanzierung von Schutzmaßnahmen darin, mit einer Preisstrategie einen hochpreisigen und limitierten Korallenrifftourismus unter strengen Auflagen zu etablieren. Die Begrenzung der Besucherzahlen für Tauch- und Schnorcheltouren und die Preisstrategie zur Beeinflussung von Besuchern kann zwar die Besucherzahlen in der Destination insgesamt reduzieren, jedoch so den Druck auf die Riffe verringern. Beispielsweise zahlen Besucher des Great Barrier Reefs bei touristischen Tourangeboten nur eine Riffgebühr von 4–8 AU-Dollar (ca. 2,40-4,80 Euro), Besucher auf Bonaire hingegen 40 US-Dollar (ca. 37 Euro) für ein „Nature-Tag“ für Wasseraktivitäten (GBRMPA, o.D.; Bonaire. o.D.). Eine Preisanpassung kann maßgeblich dazu beitragen, mehr Schutzgelder zu generieren, insbesondere im Great Barrier Reef mit hohem Besucheraufkommen. Die dadurch generierten höheren Einnahmen durch höherer Eintritts- oder Nutzungsgebühren könnten den Besucherrückgang ausgleichen und zusätzliche Mittel für den verstärkten Schutz der Korallenriffe bereitstellen. Die Galapagos-Inseln, die für ihre einzigartige Biodiversität bekannt sind, können hier als Beispiel aufgeführt werden. Diese setzten umfassende und strikte Schutzmaßnahmen im Rahmen eines nachhaltigeren Tourismus um. Maßnahmen umfassen Besucherregulierungen für bestimmte Orte, die Planung von Bootsstrecken zur Vermeidung von Überlastungen, die Erfordernis von Bootslizenzen, die Einrichtung von Zonen für urbane bzw. touristische Entwicklung, Eintrittsgebühren für den Nationalpark zur Finanzierung von Naturschutzprojekten, das Verbot der unabhängigen Erkundung der Galapagos-Schutzgebiete ohne Guide und die Entwicklung von Bildungsmöglichkeiten (Discovering Galapagos, o.D.). Die Eintrittsgebühren werden sich im Jahr 2024 von 100 US-Dollar auf 200 US-Dollar verdoppeln, um die steigenden Besucherzahlen durch die Preisstrategie zu beeinflussen und den Druck auf die Destinationen zu verringern (Marcus, 2024).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nachhaltiger Tourismus, insbesondere Ökotourismus als Tourismusform, zum Erhalt und zum Schutz von Korallenriffen beitragen kann. Durch sorgfältig regulierte touristische Aktivitäten, die Zusammenarbeit unterschiedlicher Stakeholder, Zertifizierungen, die Begrenzung der Besucherzahlen und Boote, die Installation von Anlegebojen und die Einbeziehung von Umweltbildungskonzepten können Schäden an Korallenriffen minimiert werden. Einnahmen aus Tourismusaktivitäten bieten zudem finanzielle Mittel für den Schutz der Riffe und unterstützen lokale Gemeinschaften, wodurch der Ökotourismus eine Schlüsselrolle beim Erhalt der biologischen Vielfalt und der Förderung des Bewusstseins für die Bedeutung von Korallenriffen spielt. Für weitere umfangreiche Maßnahmen im Tourismus wird auf die Publikation „Tourism for Development – Volume I: Key Areas for Action“ der UNWTO (2018) hingewiesen.

### 5.2.5 Restaurierung von Korallenriffen und Korallenzucht

In den letzten Jahren hat die Bedeutung an Restaurierungen von Korallenriffen aufgrund ihres erheblichen potenziellen Nutzens zugenommen (Chaijaroen, 2022). Korallenriff-Restaurierung bezeichnet eine aktive Maßnahme, die Erholung der Riffstruktur und -funktion sowie wichtiger Riffarten zu unterstützen, den zunehmenden Belastungen durch Klimawandel und menschlicher Aktivitäten entgegenzuwirken (Hein et al., 2020). Die Restaurierung bedeutet nicht, direkte Auswirkungen des Klimawandels zu mindern, sondern dient vielmehr als ergänzende Maßnahme, um die natürliche Regeneration nach Schädigung der Korallenriffe zu fördern (Hein et al., 2021). Verschiedene Methoden können bei der Korallenriff-Restaurierung angewandt werden. Dazu zählt das *Coral Gardening*, das insbesondere im Tourismus als attraktives und nachhaltiges Angebot eingesetzt werden kann, da es ein einzigartiges Erlebnis schafft, als Attraktion wirken kann und gleichzeitig dem Umweltschutz dient.

*Coral Gardening*, oder auch Korallenzucht, ist eine innovative Technik zur Rehabilitation von Korallenriffen, bei der Korallenfragmente oder ganze Kolonien von einem gesunden Riff zu einem beschädigten Riff transplantiert werden, nachdem sie an Land oder im Meer in Korallenaufzuchtstationen herangewachsen sind (Mohale et al., 2023). Die künstliche Riff-Restaurierung kann als Ergänzung zum Management von Meeresschutzgebieten genutzt werden, um lokale Interessengruppen, Taucher, Freiwillige und die Öffentlichkeit in Ökotourismus, Forschung und Bildungsaktivitäten einzubeziehen (Mohale et al., 2023). Schmidt-Roach et al. (2020) gehen näher auf diesen Ansatz, die Korallenzucht als Teil des Ökotourismus zu nutzen, ein, um gleichzeitig die Umwelt zu schützen und Besucher anzulocken. Durch die Schaffung von Korallenschutzprojekten, können Touristen angezogen werden, die nach umweltfreundlichen Reiseerlebnissen und lokalen Aktivitäten suchen (Escovar-Fadul et al., 2022). Dadurch wird eine langfristig profitable Möglichkeit geschaffen, aus Naturschutzprojekten Finanzmittel, Arbeitsplätze und Einkommen zu generieren (Escovar-Fadul et al., 2022). Zudem soll die Kombination von Korallenrestaurierungsprojekten und touristischen Aktivitäten Hotels und andere Tourismusunternehmen zu Investitionen motivieren, Bildungsmöglichkeiten schaffen, das Umweltbewusstsein für den Schutz von Korallenriffen fördern und Einnahmen für die Förderung und Ausweitung der Restaurierungsarbeiten generieren (Schmidt-Roach et al., 2020). Eine wachsende Anzahl an gemeinnützigen Organisationen, Tauchzentren und Ökotourismus-Anbietern ermöglicht es Tauchern, sich an Schutzmaßnahmen von Korallenriffen zu beteiligen oder Schulungen über Methoden zur Vermehrung von Korallen zu erhalten (PADI, o.D.).

Eine Organisation, die sich aktiv für den Schutz der Korallenriffe durch Restaurationsmaßnahmen einsetzt, ist Coral Gardeners auf Moorea, Französisch-Polynesien. Neben Spendeneinnahmen und dem Kaufangebot Korallen zu adoptieren, gibt es auch Angebote für Touristen vor Ort. Das touristische Angebot von Coral Gardeners bietet den Besuchern die Möglichkeit, durch Schnorchel- und Tauchgänge an der Restaurierung von Korallenriffen teilzuhaben und gleichzeitig über die Riffrestaurierung zu lernen (s. Abb. 16) (Coral Gardeners, o.D.). Diese interaktiven Angebote tragen dazu bei, Einnahmen für die weitere Restaurierung, Forschung und letztendlich den Schutz der Korallenriffe zu generieren. Weltweit engagieren sich auch Programme, Hotels und Resorts für die Korallenzucht und bieten Gästen die Möglichkeit, aktiv an diesen Maßnahmen teilzunehmen (Sunkara, 2023). Solch partizipativen Erlebnisse sensibilisieren und vermitteln nicht nur ein tieferes Verständnis für die Bedeutung von Korallenriffen und deren Schutz, sondern können auch das Engagement für den Umweltschutz fördern.



**Abbildung 16:** Foto einer Korallenaufzuchtstation der Coral Gardeners bei der angebotenen "Deep Dive Xperience" in Französisch-Polynesien.  
Quelle: Coral Gardeners, o.D.

Obwohl sich die Korallenriff-Restauration noch in einem frühen Entwicklungsstadium befindet und bisher nur begrenzte Belege für die langfristig erfolgreiche Wiederherstellung von Korallenriffen vorliegen, insbesondere mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels, könnten Investitionen in Forschung und Entwicklung die Effizienz der aktuellen Methoden verbessern (Hein et al., 2020). Zuletzt dient die Restaurierung nicht nur zum Schutz der Korallenriffe und als attraktives Touristenangebot, sondern kann auch als wirtschaftlich

sinnvolle Lösung zum Schutz der Küsten und Infrastruktur dienen, da es oft kostengünstiger ist als alternative Maßnahmen (Ferrario et al., 2014, Chaijaroen, 2022).

### **5.2.6 Entwicklung alternativer Tourismusangebote**

Neben Maßnahmen, die zum Korallenschutz beitragen sollen, ist es in Anbetracht der Zukunftsszenarien für Korallenriffdestinationen entscheidend, auch alternative touristische Angebote zu entwickeln. Bei Szenario 1 müssen die letzten verbliebenen Korallenriffe durch vorhin genannte Handlungsempfehlungen streng geschützt und entlastet werden. Tritt das zweite Szenario ein ist eine Neuausrichtung des ehemaligen Korallenrifftourismus unabdingbar. Eine Diversifikation und Neuausrichtung des touristischen Angebots dienen dazu, Arbeitsplätze, Einkommen und den Lebensunterhalt der lokalen Gemeinschaften nachhaltig zu sichern.

Je nachdem, welche natürlichen Gegebenheiten und/oder kulturellen Werte Korallenriffdestinationen aufweisen, können sie ihr touristisches Angebot ausweiten und diversifizieren. Tourismusunternehmen und Besucher haben somit die Möglichkeit, auf alternative Aktivitäten und Attraktionen auszuweichen. Ein Beispiel hierfür ist Bonaire, wo Besucher neben dem On-Reef-Tourismus auch ausgezeichnete Windsurf-Möglichkeiten haben und die Insel weltweit als beliebtes Windsurfziel bekannt ist (Tourism Corporation Bonaire, o.D.). Auch Palau, bekannt als außergewöhnliches Tauchziel, ist einer der vom Tourismus abhängigsten Staaten weltweit und wo knapp 90% der Rifftourismus-Einnahmen durch On-Reef-Tourismus generiert werden (s. Kapitel 3.1.3). Abseits des On-Reef-Tourismus bietet Palau jedoch auch eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt an Land. 75% der Insel sind von einheimischen Wäldern und Mangroven bedeckt, die zahlreiche endemische Pflanzen und Tiere beherbergen und bieten sich somit für viele alternative touristische Angebote an (Palau Visitor Authority, o.D. a). Die Destination wirbt auf ihrer Internetseite neben dem zu erkennendem Schwerpunkt auf On-Reef-Tourismus auch mit Kajak-Mangroven-Erkundungen, traditionellem Segeln, Vogelbeobachtungen, Wanderungen sowie kulturellen Erlebnissen (Palau Visitor Authority, o.D. a).

Destinationen wie Palau und Bonaire müssen touristische Chancen und Stärken identifizieren und daraus nachhaltige Alternativangebote entwickeln. Des Weiteren ist es wichtig, auch die Vermarktung auf diese Alternativangebote jenseits des Korallenrifftourismus zu lenken. Durch eine gezielte Vermarktung können diese Destinationen den Bekanntheitsgrad für ihr touristisches Angebot ausweiten und gleichzeitig die Abhängigkeit vom Korallenrifftourismus verringern, was langfristig zur nachhaltigen Tourismusentwicklung des Landes beitragen kann.

Korallenriffdestinationen können zudem die Schaffung oder Erschließung künstlicher Riffe in Betracht ziehen. Tauchanbieter und Taucher könnten alternative Tauchorte wie Schiffswracks oder Unterwasser-Skulpturenparks erschließen, um nicht mehr auf intakte Korallenriffe angewiesen zu sein (Hough-Guldberg et al., 2019). Palau bietet beispielsweise neben 50 ausgewiesenen Tauchplätzen auch über 50 Wracks zur Erkundung an, die als künstliche Riffe dienen (Palau Visitor Authority, o.D. b). Des Weiteren ist eines der elaboriertesten Beispiele für eine multifunktionale Unterwasserattraktion das Museo Subacuatico De Arte in Cancún, Mexiko, das im Jahr 2009 im Cancún Meeresnationalpark gegründet wurde (Firth et al., 2023). Es beherbergt etwa 500 Skulpturen des britischen Bildhauers Jason deCaires Taylor und dient nicht nur als Touristenattraktion, sondern auch als Schutzmittel, indem es Taucher, Schnorchler und Glasbodenboote vom Mesoamerikanischen Riff, dem zweitgrößten Korallenriff weltweit, ablenkt (Archibold, 2012; Picken, 2015). Zugleich sensibilisiert und bildet das künstliche Riff. Die künstlerischen Installationen im Unterwassermuseum behandeln Themen wie den Klimanotstand, Umweltaktivismus und die regenerativen Eigenschaften der Natur, während sie gleichzeitig einen neuen Lebensraum für Meeresbewohner schaffen und die Beziehung zwischen Menschen und Natur illustrieren (Taylor, o.D.). Firth et al. (2023) erwähnen, dass künstliche Riffe als sozio-ökologische Systeme betrachtet werden sollten und eine sorgfältige Planung des Designs und verwendeten Materials notwendig ist, da dies die Wahrnehmung und Attraktivität der künstlichen Riffe für Taucher beeinflusst. Dies ist ebenfalls für den Schutz der marinen Umwelt von großer Bedeutung. Das Projekt des Osborne Reefs in Florida, USA, dient hierbei als warnendes Beispiel, da die unzureichende Planung und Verwendung von Autoreifen als künstliche Riffstruktur zu erheblichen ökologischen Schäden führte und seit mehreren Jahren mit aufwändigen Beseitigungsmaßnahmen verbunden ist (4ocean, o.D.). Eine Umfrage unter Tauchern zeigte, dass Schiffswracks nach Korallenriffen die zweitbeliebtesten Tauchplätze sind und in Regionen, die über keine vorhandenen oder gut zugänglichen Schiffswracks verfügen, die gezielte Versenkung hochwertiger, präparierter Schiffe eine gute Option sein könnte, um den touristischen Druck auf Korallenriffe zu verringern (Firth et al., 2023). Im Übrigen würden künstliche Riffe nicht nur alternative Aktivitäten für Taucher, sondern auch für Schnorchler schaffen.

Für manch andere Destinationen gestaltet sich die Entwicklung und Etablierung alternativer Angebote aufgrund verschiedener Faktoren jedoch schwieriger (vgl. auch Hoegh-Guldberg et al., 2019). Nur knapp über dem Meeresspiegel liegende Destinationen wie die Malediven, die vom Meeresspiegelanstieg bedroht sind und neben Strandaktivitäten und Erholung nur wenige Alternativen zum On-Reef-Tourismus anbieten können, haben wenige Möglichkeiten, auf weitere Angebote auszuweichen.

## 6 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit stellt dar, welche Auswirkungen der Klimawandel auf Korallenriffe hat, wie die Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen prognostiziert werden kann und welche Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen aufgrund der Ergebnisse und Prognosen möglich und erforderlich sind. Um diese Forschungsfragen und die daraus entstehenden Fragestellungen verstehen und kritisch betrachten zu können, wurden in Kapitel 3 zunächst Grundlagen zu den Themen Korallenriff und Klimawandel geschaffen. Kapitel 3.1 beschreibt die Koralle, die Korallenriffe als Ökosystem und die Bedeutung der Korallenriffe für den Tourismus. Darüber hinaus wurde die Gefährdung der Korallenriffe durch anthropogene Einflüsse dargestellt. Korallenriffe stellen ein sensibles Ökosystem mit hoher Biodiversität dar, die Lebensraum und Lebensgrundlage für zahlreiche Meeresbewohner und den Menschen sind. Der Mensch gefährdet durch seine Eingriffe dieses Ökosystem und beraubt sich damit selbst seiner Lebensgrundlage. Kapitel 3.2 widmet sich den Faktoren, Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels und definiert den Tourismus als Betroffenen aber auch Mitverursacher desselben. Eine wesentliche Ursache des Klimawandels sind die Treibhausgasemissionen, zu denen der Tourismus durch die für den Tourismus typische Ortsveränderung, die mit CO<sub>2</sub>-ausstoßenden Verkehrsmitteln erfolgt, wie z.B. Flugzeuge und Autos, beiträgt.

Kapitel 4 hat die Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe und die Destinationen vorgestellt. Die Auswirkungen wurden anhand des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit betrachtet und in ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Auswirkungen gegliedert. Die ökologischen Auswirkungen des Klimawandels sind für Korallen kritisch, denn ihr Lebensraum ist durch die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen und die damit verbundene globale Erwärmung und Versauerung der Ozeane gefährdet. Die Folgen sind gravierend, Korallenriffe drohen abzusterben und als Ökosystem und Wirtschaftsfaktor verloren zu gehen. Daraus resultieren die ökonomischen Folgen für die Menschen, die von den Korallenriffen als Lebensgrundlage abhängig sind. Korallenriffe dienen als Lebensgrundlage und Nahrungsquelle für die von ihnen, z.B. über die Fischerei oder den Tourismus abhängige Bevölkerung. Die dargestellten sozio-kulturellen Folgen machen deutlich, dass mit dem Absterben der Korallenriffe, die mit ihnen eng verbundenen Einheimischen ihre kulturellen Werte und Güter verlieren. Der Tourismus als wesentlicher Wirtschaftsfaktor wird durch die Schädigung der Korallenriffe als Hauptattraktivität vieler Gebiete ebenfalls beeinträchtigt. Die Korallenriffe verlieren ihre Schönheit und bunte Vielfalt an Meeresbewohnern, attraktive touristische Angebote wie z.B. Tauchen und Schnorcheln verlieren an Attraktivität bzw. sind nicht mehr möglich und die Zufriedenheit der Besucher sinkt. Dadurch bedingt gehen die Besucherzahlen zurück und

damit die finanziellen Einnahmen der Tourismusbranche, was negative ökonomische Folgen für Korallenriffdestinationen hat.

Abschließend wurden in Kapitel 4.5 zwei Zukunftsszenarien für die Entwicklung des Tourismus in Korallenriffdestinationen entwickelt. Als Grundlage dienten Vorhersagen bzgl. des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur und der damit einhergehenden Erwärmung der Ozeane. Korallen reagieren gestresst auf ansteigende Wassertemperaturen, weshalb die globale Erwärmung als Basis für die Entwicklung der Szenarien herangezogen wurde. Die Szenarien stellten sich wie folgt dar:

Szenario 1: Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur bis 1,5°C, nur 10-30% der Korallenriffe überleben.

Szenario 2: Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur bis 2°C, nur 1% der Korallenriffe überlebt.

Beide Szenarien zeigten, dass ein allein auf Korallenriffaktivitäten ausgerichteter Tourismus nicht möglich ist. Ein nachhaltiger Tourismus ist dringend erforderlich, um in Szenario 1 die restlichen Korallenriffe durch sensible Korallenriffaktivitäten und nachhaltige Tourismuspraktiken zu schützen und in Szenario 2 durch alternative Angebote die Einnahmen durch den Tourismus für die einheimische Bevölkerung zu sichern.

Es wurde zudem erwähnt, dass das Auftreten von riffbildenden Korallen in höheren Breitengraden festgestellt wurde. Dies könnte bedeuten, dass sich Korallenriffe verlagern und andernorts überleben. Auf den Tourismus bezogen könnten sich in diesem Fall die Destinationen für den Korallenrifftourismus verlagern. Allerdings ist dieser Prozess komplex und hängt von vielen Faktoren ab, da es viele spezifische Bedingungen für einen geeigneten Lebensraum für Korallenriffe gibt. Dies ist somit vorerst rein hypothetisch betrachtet und benötigt in dieser Hinsicht mehr Forschung, die untersucht, inwiefern Korallenriffe in höheren Breitengraden einen Lebensraum hätten und die Verlagerung touristischer Riffaktivitäten möglich wäre. Die in Kapitel 5 definierten Lösungsansätze beziehen sich auf die Zukunft der jetzigen Korallenriffdestinationen, die von der Erderwärmung negativ betroffen sind. Sie sollten aber für eventuell neu entstehende Korallenriffdestinationen berücksichtigt werden, um das wertvolle Gut Ökosystem Korallenriff von Anfang sensibel zu nutzen und es dadurch zu schützen.

Kapitel 5 hat aus den Erkenntnissen der Zusammenschau und den Szenarien mögliche Lösungen und Handlungsempfehlungen vorgestellt. Es wurde gezeigt, dass der Klimawandel als eine globale Herausforderung durch die dringende und unmittelbare Reduzierung von

Treibhausgasemissionen in allen Sektoren weltweit angegangen werden muss, um die globalen Klimaziele zu erreichen und Korallenriff-Ökosysteme zu schützen. Darüber hinaus sind weitere aufeinander abgestimmte Handlungsempfehlungen als ergänzende Maßnahmen notwendig, um den Schutz, die Regenerierung und Resilienz der Korallenriffe zu fördern. Es wurde erwähnt, dass in Anbetracht klimaresilienter Korallenarten und des Potenzials, Korallenriff-Restaurationen zum Schutz und zur Resilienzsteigerung einzusetzen, weiterhin mehr Forschung notwendig ist. Zudem müssen alternative, nachhaltige Tourismusangebote gefördert werden, die nicht direkt von gesunden Korallenriffen abhängig sind, um so die lokale Tourismusbranche durch die Diversifizierung des Angebots und der Einnahmequellen zu sichern und zu stärken.

Die wichtigsten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen dieser Arbeit unterstreichen die dringende Notwendigkeit, den Klimawandel als die größte Bedrohung für Korallenriffe und die zukunftsfähige Entwicklung des Tourismus in Korallenriffdestinationen mit entsprechenden Maßnahmen anzugehen. Die vorgestellten Szenarien, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und Prognosen zum Klimawandel basieren, gehen von der Annahme aus, dass ein erheblicher Korallenriffverlust eintreffen und der Rifftourismus zukünftig stark beeinträchtigt bzw. nicht mehr möglich sein wird. Die Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen hängt einerseits davon ab, in welchem Umfang Treibhausgasemissionen reduziert und damit die globale Erderwärmung eingedämmt werden kann, um grundsätzlich den Lebensraum der Korallen zu erhalten. Andererseits hängt die Zukunft des Tourismus in Korallenriffdestinationen davon ab, inwiefern das Wissen, die Fähigkeit und die Bereitschaft der Menschen vorhanden ist, innovative Maßnahmen und alternative Tourismusangebote zu entwickeln, einzusetzen und zu nutzen, um dem drohenden Absterben der Korallenriffe in den Destinationen empfindlich zu begegnen, ein potenzielles Wachstum und eine mögliche Regeneration zu fördern und gleichzeitig Einnahmen in der Tourismusbranche unabhängig von Korallenriffen zu generieren.

Wie bereits erwähnt stellt der Klimawandel die mit Abstand größte Bedrohung für Korallenriffe und den Tourismus in Korallenriffdestinationen dar. Der Klimawandel betrifft aber nicht nur Korallen, sondern ist auch eine existenzielle Bedrohung für fast alle Ökosysteme, unzählige Pflanzen und Tiere und den Menschen selbst. Deswegen sollte nicht nur die Rettung von Korallenriffen als Anreiz für die Bekämpfung des Klimawandels gesehen werden, sondern die Rettung unseres Planeten Erde, um ihn in seiner jetzigen Pracht und Vielfalt zu erhalten, solange dies noch möglich und nicht schon zu spät ist. Das durch den Menschen verursachte, sechste Massensterben in der Geschichte des Lebens hat vermutlich bereits begonnen und Korallen werden ein Teil davon sein, wenn nicht unverzüglich gehandelt wird. Deshalb sollte

auch der Tourismus generell in allen Bereichen und Destinationen nachhaltig durchgeführt werden, um die Ökosysteme, die Pflanzen und Tiere und die Menschen selbst zu schützen. Der Tourismus muss einen Beitrag leisten, den Klimawandel zu bekämpfen, da gerade er von der Schönheit und Vielfalt unseres Planeten Erde abhängig ist.

## Literaturverzeichnis

- Abelson, A., Nelson, P. A., Edgar, G. J., Shashar, N., Reed, D. C., Belmaker, J., Krause, G., Beck, M. W., Brokovich, E., France, R., & Gaines, S. D. (2016). Expanding marine protected areas to include degraded coral reefs. *Conservation Biology*, *30*(6), 1182–1191. <https://doi.org/10.1111/cobi.12722>
- Allemand, D., & Osborn, D. (2019). Ocean acidification impacts on coral reefs: From sciences to solutions. *Regional Studies in Marine Science*, *28*, 100558-. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100558>
- Aravind, V. (2023). Environment security perspective to coral reef protection and management: a comparative study of India and Australia. *Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/18366503.2023.2276552>
- Archibold, R. (2012). *Trying to Protect a Reef With an Otherworldly Diversion*. [https://www.nytimes.com/2012/08/14/world/americas/in-cancun-trying-to-protect-reef-with-underwater-statues.html?pagewanted=all&\\_r=0](https://www.nytimes.com/2012/08/14/world/americas/in-cancun-trying-to-protect-reef-with-underwater-statues.html?pagewanted=all&_r=0) (Abgerufen am 08.04.2024).
- Australian Institute of Marine Science (o.D. a). *Corals*. <https://www.aims.gov.au/research-topics/marine-life/corals> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Australian Institute of Marine Science (o.D. b). *Connectivity*. <https://www.aims.gov.au/research-topics/monitoring-and-discovery/connectivity> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Baker, A. C., Glynn, P. W., & Riegl, B. (2008). Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *80*(4), 435–471. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.003>
- Bartelet, H. A., Barnes, M. L., & Cumming, G. S. (2024). Estimating and comparing the direct economic contributions of reef fisheries and tourism in the Asia-Pacific. *Marine Policy*, *159*, 105939-. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105939>
- Battaglia, F. M. (2023). Climate Change and the Ocean: The Disruption of the Coral Reef. In: Garcia, M.d.G., Cortês, A. (Hrsg.), *Blue Planet Law. Sustainable Development Goals Series* (S. 121–130). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24888-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24888-7_10)

- Beck, M. W., Losada, I. J., Menéndez, P., Reguero, B. G., Díaz-Simal, P., & Fernández, F. (2018). The global flood protection savings provided by coral reefs. *Nature Communications*, 9(1), 2186–2189. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04568-z>
- Berg, W. (2010). *Einführung Tourismus. Überblick und Management*. Oldenbourg Verlag. <https://doi.org/10.1524/9783486711684>
- Bieger, T. (2002). *Management von Destinationen* (7. Aufl.). Oldenbourg Verlag.
- Brown, B. E. (2011). Mining/Quarrying of Coral Reefs. In: Hopley, D. (Hrsg.), *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series (S. 707–711). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2\\_115](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_115)
- Burke, L., & Spalding, M. (2022). Shoreline protection by the world's coral reefs: Mapping the benefits to people, assets, and infrastructure. *Marine Policy*, 146, 105311-. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105311>
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M. & Perry, A. (2011). *Reefs at Risk*. World Resources Institute. Washington D.C.
- Bush, A. (2022). *Thailand's iconic Maya Beach reopens with new sustainability efforts*. <https://www.lonelyplanet.com/news/maya-bay-thailand-sustainable-visitor-rules> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Chaijaroen, P. (2022). Coral Reef Deterioration and Livelihoods of Coastal Communities: An Economics Perspective. In: Chimienti, G. (Hrsg.), *Corals - Habitat Formers in the Anthropocene*. IntechOpen. DOI:10.5772/intechopen.105355
- Cheablam, O., Shrestha, R. P., & Emphandhu, D. (2013). Does coral bleaching impact tourists' revisititation? A case of Mu Ko Surin marine National Park, Thailand. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(3&4), 2648–2654. <https://www.wfpublisher.com/Abstract/5106>
- Chen, P.-Y., Chen, C.-C., Chu, L., & McCarl, B. (2015). Evaluating the economic damage of climate change on global coral reefs. *Global Environmental Change*, 30, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.011>
- Cinner, J. (2014). Coral reef livelihoods. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.025>

- Cinner, J. E., McClanahan, T. R., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Maina, J., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., & Bodin, Ö. (2012). Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change*, 22(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018>
- Climate Europe (o.D.). *What is climate? What is climate change?* <https://www.climateurope.eu/what-is-climate-and-climate-change/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Coghlan, A., & Prideaux, B. (2009). Welcome to the Wet Tropics: the importance of weather in reef tourism resilience. *Current Issues in Tourism*, 12(2), 89–104. <https://doi.org/10.1080/13683500802596367>
- Colton, M., Fox, H., McManus, L. & Pinsky, M. (2021). *We Still Have a Chance to Save Coral Reefs. Will We Take it?* <https://coral.org/en/blog/we-still-have-a-chance-to-save-coral-reefs-will-we-take-it/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Comte, A., & Pendleton, L. H. (2018). Management strategies for coral reefs and people under global environmental change: 25 years of scientific research. *Journal of Environmental Management*, 209, 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.051>
- Coral Gardeners (o.D.) *Xperience*. <https://coralgardeners.org/pages/xperience> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Cruz-Trinidad, A., Aliño, P. M., Geronimo, R. C., & Cabral, R. B. (2014). Linking Food Security with Coral Reefs and Fisheries in the Coral Triangle. *Coastal Management*, 42(2), 160–182. <https://doi.org/10.1080/08920753.2014.877761>
- Cuttler, M. V. W., Vos, K., Branson, P., Hansen, J. E., O’Leary, M., Browne, N. K., & Lowe, R. J. (2020). Interannual Response of Reef Islands to Climate-Driven Variations in Water Level and Wave Climate. *Remote Sensing (Basel, Switzerland)*, 12(24), 4089-. <https://doi.org/10.3390/rs12244089>
- Dawson, J., Johnston, M. J., Stewart, E. J., Lemieux, C. J., Lemelin, R. H., Maher, P. T., & Grimwood, B. S. R. (2011). Ethical considerations of last chance tourism. *Journal of Ecotourism*, 10(3), 250–265. <https://doi.org/10.1080/14724049.2011.617449>
- Dawson, J., Stewart, E. J., Lemelin, H., & Scott, D. (2010). The carbon cost of polar bear viewing tourism in Churchill, Canada. *Journal of Sustainable Tourism*, 18(3), 319–336. <https://doi.org/10.1080/09669580903215147>

- Descombes, P., Wisz, M. S., Leprieur, F., Parravicini, V., Heine, C., Olsen, S. M., Swingedouw, D., Kulbicki, M., Mouillot, D., & Pellissier, L. (2015). Forecasted coral reef decline in marine biodiversity hotspots under climate change. *Global Change Biology*, 21(7), 2479–2487. <https://doi.org/10.1111/gcb.12868>
- Desiderio, J., Bouffard, C., Rasamat, Y. & Pietromonaco A. (2023). Impacts of Coral Reef Health on Indigenous Communities. In: Bakermans, M. H., Hanly, L. & San Martín, W. (Hrsg.), *Current Challenges in Biodiversity and Conservation, Volume 1*. (S. 25-28), Worcester: Worcester Polytechnic Institute. <https://doi.org/10.55900/n3bqx5fp>
- Deutscher Wetterdienst (o.D.). *Wetter*. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/W/Wetter.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Diffenbaugh, N. S., & Barnes, E. A. (2023). Data-driven predictions of the time remaining until critical global warming thresholds are reached. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*, 120(6), e2207183120–e2207183120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2207183120>
- Discovering Galapagos (o.D.). *Sustainable Tourism: Managing Ecotourism in Galapagos*. <https://www.discoveringgalapagos.org.uk/discover/sustainable-development/sustainable-tourism/managing-ecotourism-in-galapagos/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Dixon, J. (2015). *The Great Barrier Reef – Cultural and Historical Significance*. <https://cairnstours.net.au/blog/the-great-barrier-reef-cultural-and-historical-significance/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Dudley, N. (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. IUCN.
- Eakin, C. M., Sweatman, H. P. A., & Brainard, R. E. (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, 38(4), 539–545. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01844-2>
- Eddy, T. D., Lam, V. W. Y., Reygondeau, G., Cisneros-Montemayor, A. M., Greer, K., Palomares, M. L. D., Bruno, J. F., Ota, Y., & Cheung, W. W. L. (2021). Global decline in capacity of coral reefs to provide ecosystem services. *One Earth (Cambridge, Mass.)*, 4(9), 1278–1285. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.016>
- Europäische Kommission (o.D.). *Folgen des Klimawandels*. [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_de](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_de) (Abgerufen am 08.04.2024).

- Escovar-Fadul, X., & Hein, M. Y. (2022). A Guide to Coral Reef Restoration for the Tourism Sector: Partnering with Caribbean Tourism Leaders to Accelerate Coral Restoration. In Report. *United Nations Environment Programme* (pp. 32-).
- Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airoidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, 5(1), 3794–3794. <https://doi.org/10.1038/ncomms4794>
- Fezzi, C., Ford, D. J., & Oleson, K. L. L. (2023). The economic value of coral reefs: Climate change impacts and spatial targeting of restoration measures. *Ecological Economics*, 203, 107628-. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107628>
- Figueiredo, J., Thomas, C. J., Deleersnijder, E., Lambrechts, J., Baird, A. H., Connolly, S. R., & Hanert, E. (2022). Global warming decreases connectivity among coral populations. *Nature Climate Change*, 12(1), 83–87. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01248-7>
- Firth, L. B., Farnworth, M., Fraser, K. P. P., & McQuatters-Gollop, A. (2023). Make a difference: Choose artificial reefs over natural reefs to compensate for the environmental impacts of dive tourism. *The Science of the Total Environment*, 901, 165488–165488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165488>
- FUR (2023). *Weltweites Tourismusaufkommen nach Anzahl der Reiseankünfte in den Jahren 1950 bis 2022 (in Millionen)*. In: Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37123/umfrage/weltweites-tourismusaufkommen-nach-reiseankuenften-seit-1950/>
- Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Allemand, D., Bopp, L., Cooley, S. R., Eakin, C. M., Hoegh-Guldberg, O., Kelly, R. P., Pörtner, H.-O., Rogers, A. D., Baxter, J. M., Laffoley, D., Osborn, D., Rankovic, A., Rochette, J., ... Turley, C. (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 349(6243), aac4722-.
- Geo (2023). "NACHHALTIGE" TREIBSTOFFE: Kann man in Zukunft ohne schlechtes Gewissen fliegen? <https://www.geo.de/natur/nachhaltigkeit/kann-man-in-zukunft-ohne-schlechtes-gewissen-fliegen--33581300.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- GIZ (o.D.). *Energy in Transition - Powering Tomorrow*. <https://www.energiewende-global.com/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Gomille, A. (Regie). (2020). *Sansibar - Afrikas wilde Schönheit* [Film]. ZDF.

- Gonstalla, E. (2019). *Das Klimabuch*. Oekom Verlag.
- Gouezo, M., Golbuu, Y., Fabricius, K., Olsudong, D., Mereb, G., Nestor, V., Wolanski, E., Harrison, P., & Doropoulos, C. (2019). Drivers of recovery and reassembly of coral reef communities. *Proceedings of the Royal Society. B, Biological Sciences*, 286(1897), 1–10.
- Gössling, S., & Peeters, P. (2015). Assessing tourism's global environmental impact 1900–2050. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(5), 639–659.  
<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1008500>
- Great Barrier Reef Foundation (2024). *What is coral bleaching?* <https://www.barrierreef.org/news/explainers/what-is-coral-bleaching> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Great Barrier Reef Foundation (2023). *How do cyclones affect the Great Barrier Reef?* <https://www.barrierreef.org/news/explainers/how-do-cyclones-affect-the-great-barrier-reef> (Abgerufen am 08.04.2024).
- GBRMPA (2022). *Aboriginal and Torres Strait Islander Heritage Strategy*.  
<https://www2.gbrmpa.gov.au/learn/traditional-owners/aboriginal-and-torres-strait-islander-heritage-strategy> (Abgerufen am 08.04.2024).
- GBRMPA (o.D.). *What are the charges*. <https://www2.gbrmpa.gov.au/access/environmental-management-charge/what-are-charges#> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Guidry, M. W. & Mackenzie, F. T. (2013). *Future Climate Change, Sea Level Rise, and Ocean Acidification: Implications for Hawaii and Western Pacific Fisheries Management*. University of Hawaii Sea Grant.
- Hancock, L. (o.D.). *Everything You Need to Know about Coral Bleaching—And How We Can Stop It*. <https://www.worldwildlife.org/pages/everything-you-need-to-know-about-coral-bleaching-and-how-we-can-stop-it> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Harvey, B. J., Nash, K. L., Blanchard, J. L., & Edwards, D. P. (2018). Ecosystem-based management of coral reefs under climate change. *Ecology and Evolution*, 8(12), 6354–6368. <https://doi.org/10.1002/ece3.4146>
- Heemsoth, A. (2014). *Coral Reef Ecology Curriculum*. Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation.
- Hein, M. Y., Vardi, T., Shaver, E. C., Pioch, S., Boström-Einarsson, L., Ahmed, M., Grimsditch, G., & McLeod, I. M. (2021). Perspectives on the Use of Coral Reef

Restoration as a Strategy to Support and Improve Reef Ecosystem Services. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.618303>

Hein, M.Y., McLeod, I.M., Shaver, E.C., Vardi, T., Pioch, S., Boström-Einarsson, L., Ahmed, M. & Grimsditch, G. (2020). *Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services – A guide to coral restoration methods*. United Nations Environment Programme.

Henley, B. & Abram, N. (2017). *The three-minute story of 800,000 years of climate change with a sting in the tail*. <https://theconversation.com/the-three-minute-story-of-800-000-years-of-climate-change-with-a-sting-in-the-tail-73368> (Abgerufen am 08.04.2024).

Heron, S.F., Eakin, C.M. & Douvère, F. (2017). *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs : A First Global Scientific Assessment*. UNESCO World Heritage Centre.

Hoey, A., Howells, E., Johansen, J., Hobbs, J.-P., Messmer, V., McCowan, D., Wilson, S., & Pratchett, M. (2016). Recent Advances in Understanding the Effects of Climate Change on Coral Reefs. *Diversity (Basel)*, 8(4), 12-. <https://doi.org/10.3390/d8020012>

Hughes, T. P., Kerry, J. T., Connolly, S. R., Álvarez-Romero, J. G., Eakin, C. M., Heron, S. F., Gonzalez, M. A., & Moneghetti, J. (2021). Emergent properties in the responses of tropical corals to recurrent climate extremes. *Current Biology*, 31(23), 5393-5399.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.10.046>

Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., Baird, A. H., Baum, J. K., Berumen, M. L., Bridge, T. C., Claar, D. C., Eakin, C. M., Gilmour, J. P., Graham, N. A. J., Harrison, H., Hobbs, J.-P. A., Hoey, A. S., Hoogenboom, M., Lowe, R. J., ... Wilson, S. K. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 359(6371), 80–83. <https://doi.org/10.1126/science.aan8048>

Hoegh-Guldberg, O., Pendleton, L., & Kaup, A. (2019). People and the changing nature of coral reefs. *Regional Studies in Marine Science*, 30, 100699-. <https://doi.org/10.1016/j.rsm. a.2019.100699>

Hoegh-Guldberg, O. (2015). *Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015*. WWF International. NCP SA.

Hoegh-Guldberg, O. (2011). The Impact of Climate Change on Coral Reef Ecosystems. In: Dubinsky, Z. & Stambler, N. (Hrsg.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition* (S. 391–403). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_22)

- International Institute for Sustainable Development (2021). *Coral Reefs: Strategies for Ecosystems on the Edge*. <https://www.iisd.org/system/files/2021-05/still-one-earth-coral-reefs.pdf>
- Islam, S. N., Reinstädler, S., Reza, M. S., Afroze, S., & Azad, A. K. (2023). Climate change versus livelihoods, heritage and ecosystems in small Island states of the Pacific: a case study on Tuvalu. *Environment, Development and Sustainability*, 25(8), 7669–7712. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02367-7>
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. IPCC. doi: 10.59327/IPCC/AR69789291691647.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.
- IUCN (2017). *Coral reef and climate change: Issues brief*. IUCN.
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. In Press.
- IPCC (2007). Historical Overview of Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Hrsg.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (S. 93-127). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4-wg1-chapter1.pdf>
- Irfan, U. (2021). *What's the worst that could happen?: These five climate scenarios show us what the future of the planet could look like*. <https://www.vox.com/22620706/climate-change-ipcc-report-2021-ssp-scenario-future-warming> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Keating, S. & Roughan, M. (2023). *Climate change is disrupting ocean currents: We're using satellites and ships to understand how*. <https://theconversation.com/climate-change-is-disrupting-ocean-currents-were-using-satellites-and-ships-to-understand-how-214962> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Khatib, A. N. (2023). Climate Change and Travel: Harmonizing to Abate Impact. *Current Infectious Disease Reports*, 25(4), 77–85. <https://doi.org/10.1007/s11908-023-00799-4>

- Kumar, L., & Taylor, S. (2015). Exposure of coastal built assets in the South Pacific to climate risks. *Nature Climate Change*, 5(11), 992–996. <https://doi.org/10.1038/nclimate2702>
- Kwek, G. (2014). *Great Barrier Reef survival key to indigenous identity*. <https://phys.org/news/2014-10-great-barrier-reef-survival-key.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Lalli, C., & Parsons, T. R. (1997). *Biological Oceanography: An Introduction*. (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Lamb, J. B., Willis, B. L., Fiorenza, E. A., Couch, C. S., Howard, R., Rader, D. N., True, J. D., Kelly, L. A., Ahmad, A., Jompa, J., & Harvell, C. D. (2018). Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 359(6374), 460–462. <https://doi.org/10.1126/science.aar3320>
- Leinfelder, R., Kull, U. & Brümmer, F. (2002). *Riffe - ein faszinierendes Thema für den Schulunterricht. Materialien für die Fächer Biologie, Erdkunde und Geologie* (2. Aufl.). Kurz & Co.
- Lemelin, H., Dawson, J., Stewart, E. J., Maher, P., & Lueck, M. (2010). Last-chance tourism: the boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations. *Current Issues in Tourism*, 13(5), 477–493. <https://doi.org/10.1080/13683500903406367>
- Lenzen, M., Sun, Y.-Y., Faturay, F., Ting, Y.-P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). Author Correction: The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 544–544. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0192-z>
- Lozán, J. L., H. Escher-Vetter, H. Grassl, D. Kasang & D. Notz (2015). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. Wissenschaftliche Auswertungen. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.02
- Marcus, L. (2024). *Galapagos Islands to double tourist entry fees amid concerns over rising visitor numbers*. <https://edition.cnn.com/travel/galapagos-islands-doubling-ticket-prices/index.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- McFarland, B. J. (2020). *Conservation of Tropical Coral Reefs: A Review of Financial and Strategic Solutions* (1. Aufl.). Springer International Publishing AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57012-5>
- McManus, L. C., Forrest, D. L., Tekwa, E. W., Schindler, D. E., Colton, M. A., Webster, M. M., Essington, T. E., Palumbi, S. R., Mumby, P. J., & Pinsky, M. L. (2021). Evolution and

- connectivity influence the persistence and recovery of coral reefs under climate change in the Caribbean, Southwest Pacific, and Coral Triangle. *Global Change Biology*, 27(18), 4307–4321. <https://doi.org/10.1111/gcb.15725>
- Medjedović, I. (2010). Sekundäranalyse. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 304-319). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-92052-8\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-531-92052-8_21)
- Mellin, C., Aaron MacNeil, M., Cheal, A. J., Emslie, M. J., & Julian Caley, M. (2016). Marine protected areas increase resilience among coral reef communities. *Ecology Letters*, 19(6), 629–637. <https://doi.org/10.1111/ele.12598>
- Minority Rights Group (2019). *Minority and Indigenous Trends 2019: Focus on climate change*. <https://minorityrights.org/minority-and-indigenous-trends-2019/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Miththapala, S. (2008). *Coral Reefs. Coastal Ecosystems Series (Vol 1)*. IUCN. Karunaratne & Sons.
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Mohale, H. P., Jawahar, P., Jayakumar, N., Arul Oli, G. & Ravikumar, T. (2023). Coral Gardening: An Innovative Technique to Management and Conservation of the Degraded Habitats of Coral. *AgriCos*, 19(6), 59–65.
- Molina Domínguez, L., Otero Ferrer, F. & Izquierdo López, M. (2006). Coral Reefs: Threats And Future Focusing In Over-fishing, Aquaculture, And Educational Programs. *Ecology and the Environment*, 99. <https://doi.org/10.2495/RAV060301>
- Newsome, D., Dowling, R. K., & Moore, S. A. (2012). *Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management* (2 Aufl.). Channel View Publications. <https://doi.org/10.21832/9781845413835>
- NOAA (2024a). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- NOAA (2024b). *What is Ocean Acidification?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/acidification.html> (Abgerufen am 08.04.2024).

- NOAA (2023a). *How does land-based pollution threaten coral reefs?*  
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral-pollution.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- NOAA (2023b). *How does climate change affect coral reefs?*  
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/coralreef-climate.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- NOAA (o.D.). *What is a marine protected area (MPA)?*  
<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/mpas.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Nunez, C. (2023). *Sea levels are rising at an extraordinary pace: Here's what to know.*  
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/sea-level-rise-1> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Ocean Wealth (o.D.). *Mapping Ocean Wealth Explorer.* <https://maps.oceanwealth.org/>  
(Abgerufen am 08.04.2024).
- PADI (o.D.). *Will Coral Gardening Save Our Reefs?* <https://blog.padi.com/will-coral-gardening-save-our-reefs/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Palau Visitor Authority (o.D. a). *Beyond the Dive.* <https://pristineparadisepalau.com/beyond-the-dive/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Palau Visitor Authority (o.D. b). *Dive Palau.* <https://pristineparadisepalau.com/dive-palau/>  
(Abgerufen am 08.04.2024).
- Pang, S. F. H., McKercher, B., & Prideaux, B. (2013). Climate Change and Tourism: An Overview. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 18(1–2), 4–20.  
<https://doi.org/10.1080/10941665.2012.688509>
- Parsons, G. R., & Thur, S. M. (2008). Valuing Changes in the Quality of Coral Reef Ecosystems: A Stated Preference Study of SCUBA Diving in the Bonaire National Marine Park. *Environmental & Resource Economics*, 40(4), 593–608.  
<https://doi.org/10.1007/s10640-007-9171-y>
- Peters, P., Gosslin, S., Milano, C., Novelli, M., Dijkmans, C., Eijgelaar, E., Hartman, S., Heslinga, J., Isaac, R., Mitas, O., Moretti, S., Nawijn, J., Papp, B., & Postma, A. (2018). *Research for TRAN Committee - Overtourism: impact and possible policy responses.* European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.

- Peeters, P. M., & Eijgelaar, E. (2014). Tourism's climate mitigation dilemma: Flying between rich and poor countries. *Tourism Management (1982)*, *40*, 15–26.  
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.05.001>
- Perry, C. T., Alvarez-Filip, L., Graham, N. A. J., Mumby, P. J., Wilson, S. K., Kench, P. S., & Manzello, D. P. (2018). Loss of coral reef growth capacity to track future increases in sea level. *Nature (London)*, *558*(7710), 396–400. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0194-z>
- Picken, F. (2016). Making heritage of modernity: provoking Atlantis as a catalyst for change. *Journal of Heritage Tourism*, *11*(1), 58–70.  
<https://doi.org/10.1080/1743873X.2015.1082575>
- Piggott-McKellar, A. E., & McNamara, K. E. (2017). Last chance tourism and the Great Barrier Reef. *Journal of Sustainable Tourism*, *25*(3), 397–415.  
<https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1213849>
- Pinheiro, H. T., MacDonald, C., Santos, R. G., Ali, R., Bobat, A., Cresswell, B. J., Francini-Filho, R., Freitas, R., Galbraith, G. F., Musembi, P., Phelps, T. A., Quimbayo, J. P., Quiros, T. E. A. L., Shepherd, B., Stefanoudis, P. V., Talma, S., Teixeira, J. B., Woodall, L. C., & Rocha, L. A. (2023). Plastic pollution on the world's coral reefs. *Nature (London)*, *619*(7969), 311–316. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06113-5>
- Prideaux, B., & Pabel, A. (2018). *Coral Reefs: Tourism, Conservation and Management* (1. Aufl.). Routledge.
- Regan, H. (2024). *Australia's Great Barrier Reef hit once more by mass coral bleaching*. <https://edition.cnn.com/2024/03/07/australia/mass-coral-bleaching-event-great-barrier-reef-intl-hnk-scn/index.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). *Renewable Energy*.  
<https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Rivera, H., Chan, A. & Luu, V. (2020). Coral reefs are critical for our food supply, tourism, and ocean health. We can protect them from climate change. *MIT Science Policy Review*, *1*, 18–22. DOI:10.38105/spr.7vn798jnsk
- Schleupner, C. (2008). Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean island Martinique. *Ocean & Coastal Management*, *51*(5), 383–390.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.01.008>

- Schmidt-Roach, S., Duarte, C. M., Hauser, C. A. E., & Aranda, M. (2020). Beyond Reef Restoration: Next-Generation Techniques for Coral Gardening, Landscaping, and Outreach. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00672>
- Scott, D., Simpson, M. C., & Sim, R. (2012). The vulnerability of Caribbean coastal tourism to scenarios of climate change related sea level rise. *Journal of Sustainable Tourism*, 20(6), 883–898. <https://doi.org/10.1080/09669582.2012.699063>
- Sheppard, C. R. C., Davy, S. K., Graham, N. A. J., & Pilling, G. M. (2017). Symbiotic interactions. In: *The Biology of Coral Reefs*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198787341.003.0004>
- Sing Wong, A., Vrontos, S., & Taylor, M. L. (2022). An assessment of people living by coral reefs over space and time. *Global Change Biology*, 28(23), 7139–7153. <https://doi.org/10.1111/gcb.16391>
- Sobha, T.R., Vibija, C.P. & Fahima, P. (2023). Coral Reef: A Hot Spot of Marine Biodiversity. In: Sukumaran, S.T., T R, K. (Hrsg.), *Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources*. Sustainable Development and Biodiversity, vol 30. (S. 171–194). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5841-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5841-0_8)
- Souter, D., Planes, S., Wicquart, J., Logan, M., Obura, D., Staub, F. (Hrsg.) (2021). *Status of coral reefs of the world: 2020 report*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN) and International Coral Reef Initiative (ICRI). DOI: 10.59387/WOTJ9184
- Spalding, M., Burke, L., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J., & zu Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, 82, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
- Spalding, M., Green, E. P., Edmund P. & Ravilious, C. (2001). *World atlas of coral reefs*. University of California Press.
- Speers, A. E., Besedin, E. Y., Palardy, J. E., & Moore, C. (2016). Impacts of climate change and ocean acidification on coral reef fisheries: An integrated ecological–economic model. *Ecological Economics*, 128, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.04.012>
- Stam, C. (2023). *Urlaubsparadies muss neue Inseln bauen: 80 Prozent im Jahr 2050 nicht mehr bewohnbar*. <https://www.fr.de/politik/urlaubsparadies-insel-malediven-ueberschwemmungen-klima-wandel-meeresspiegel-tbl-unbewohnbar-news-zr-92342647.html> (Abgerufen am 08.04.2024).

- Stecker, B. (2010). Ökologie und Nachhaltigkeit in der Freizeit. In: Freericks R., Hartmann, R. & Stecker, B. (Hrsg.), *Freizeitwissenschaft: Handbuch für Pädagogik, Management und nachhaltige Entwicklung* (S. 241–352). Oldenbourg Verlag.
- Storlazzi, C. D., Elias, E., Field, M. E., & Presto, M. K. (2011). Numerical modeling of the impact of sea-level rise on fringing coral reef hydrodynamics and sediment transport. *Coral Reefs*, 30(1), 83–96. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0723-9>
- Stuart-Smith, R. D., Mellin, C., Bates, A. E., & Edgar, G. J. (2021). Habitat loss and range shifts contribute to ecological generalization among reef fishes. *Nature Ecology & Evolution*, 5(5), 656–662. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01342-7>
- Sunkara, L. (2023). *7 Destinations Where Visitors Can Help Restore Coral Reefs*. <https://www.thetravel.com/destinations-where-visitors-can-help-restore-coral-reefs/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Sutrisno, A. D., Chen, Y.-J., Suryawan, I. W. K., & Lee, C.-H. (2023). Establishing Integrative Framework for Sustainable Reef Conservation in Karimunjawa National Park, Indonesia. *Water (Basel)*, 15(9), 1784-. <https://doi.org/10.3390/w15091784>
- Sustainable Travel International (o.D.). *Carbon Footprint of Tourism*. <https://sustainabletravel.org/issues/carbon-footprint-tourism/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Swann, T. & Campbell, R. (2016). *Great Barrier Bleached. Coral bleaching, the Great Barrier Reef and potential impacts on tourism*. The Australia Institute.
- Taylor, J. (o.D.). [Homepage]. <https://underwatersculpture.com/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Teh, L. S. L., Teh, L. C. L., & Sumaila, U. R. (2013). A Global Estimate of the Number of Coral Reef Fishers. *PloS One*, 8(6), e65397–e65397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065397>
- Terk, E., & Knowlton, N. (2010). The role of SCUBA diver user fees as a source of sustainable funding for coral reef marine Protected areas. *Biodiversity (Nepean)*, 11(1–2), 78–84. <https://doi.org/10.1080/14888386.2010.9712651>
- The Nature Conservancy (o.D. a). *Local threats*. <https://reefresilience.org/stressors/local-stressors/> (Abgerufen am 08.04.2024).
- The Nature Conservancy (o.D. b). *Climate and Ocean Change*. <https://reefresilience.org/stressors/climate-and-ocean-change/> (Abgerufen am 08.04.2024).

The Reef-World Foundation (o.D.). *About Green Fins*. <https://greenfins.net/members/#global-top-10> (Abgerufen am 08.04.2024).

Tourism Corporation Bonaire (o.D.). *Watersports*.  
<https://bonaireisland.com/experiences/watersports/> (Abgerufen am 08.04.2024).

Umweltbundesamt (2024). *Beobachtete und künftig zu erwartende globale Klimaänderungen*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/beobachtete-kuenftig-zu-erwartende-globale#aktueller-stand-der-klimaforschung> (Abgerufen am 08.04.2024).

Umweltbundesamt (2023). *Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid-> (Abgerufen am 08.04.2024).

Umweltbundesamt (2021). *Klima und Treibhauseffekt*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/klima-treibhauseffekt#grundlagen> (Abgerufen am 08.04.2024).

UNFCCC (o.D.). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (Abgerufen am 08.04.2024).

UNEP & WTO (2005). *Making Tourism more Sustainable: A Guide for Policy Makers*. UNEP.  
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8741>.

UNESCO (o.D. a). *Welterbe werden*. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-werden> (Abgerufen am 08.04.2024).

UNESCO (o.D. b). *Nachhaltiger Tourismus an Welterbestätten*. <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-sein/nachhaltiger-tourismus> (Abgerufen am 08.04.2024).

United Nations (o.D. a). *About Small Island Developing States*. <https://www.un.org/ohrls/content/about-small-island-developing-states> (Abgerufen am 08.04.2024).

United Nations (o.D. b). *List of SIDS*. <https://www.un.org/ohrls/content/list-sids> (Abgerufen am 08.04.2024).

UNWTO (2024). *International Tourism to Reach Pre-Pandemic Levels in 2024*.  
<https://www.unwto.org/news/international-tourism-to-reach-pre-pandemic-levels-in-2024> (Abgerufen am 08.04.2024).

- UNWTO (2020). *The Impact of Covid 19 on Tourism*. <https://webunwto.s3.eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2020-08/UN-Tourism-Policy-Brief-Visuals.pdf> (Abgerufen am 08.04.2024).
- UNWTO & International Transport Forum (2019). *Transport-related CO2 Emissions of the Tourism Sector – Modelling Results*. UNWTO. <https://doi.org/10.18111/9789284416660>
- UNWTO (2018). *Tourism for Development – Volume I: Key Areas for Action*. UNWTO. <https://doi.org/10.18111/9789284419722>.
- Uyarra, M. C., Cote, I. M., Gili, J. A., Tinch, R. R. T., Viner, D., & Watkinson, A. R. (2005). Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environmental Conservation*, 32(1), 11–19. <https://doi.org/10.1017/S0376892904001808>
- Wali, A. F., Majid, S., Rasool, S., Shehada, S. B., Abdulkareem, S. K., Firdous, A., Beigh, S., Shakeel, S., Mushtaq, S., Akbar, I., Madhkali, H., & Rehman, M. U. (2019). Natural products against cancer: Review on phytochemicals from marine sources in preventing cancer. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(6), 767–777. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2019.04.013>
- Whiteman, H. (2023). *Great Barrier Reef stays off UNESCO ‘in danger’ list but hot El Niño summer looms*. <https://edition.cnn.com/travel/article/australia-great-barrier-reef-unesco-decision-climate-intl-hnk-scn/index.html> (Abgerufen am 08.04.2024).
- Wilkinson, C. & Souter, D. (2008). *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre.
- Wilkinson, C. (2004). *Status of coral reefs of the world: 2004. Vol. 1*. Australian Institute of Marine Science.
- Wilkinson, C. R. (1996). Global change and coral reefs: impacts on reefs, economies and human cultures. *Global Change Biology*, 2(6), 547–558. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1996.tb00066.x>
- WTO & UNEP (2008). *Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges*. WTO. <https://www.e-unwto.org/doi/epdf/10.18111/9789284412341>

WTO (2003). *Climate Change and Tourism (English version)*. UNWTO, DOI:  
<https://doi.org/10.18111/9789284406326>

WWF (2022). *Explore The Ancient Stories Of The Great Barrier Reef With The Gudjuda And Girringun Rangers*. <https://wwf.org.au/blogs/on-the-reef-with-the-gudjuda-and-girringun-rangers/> (Abgerufen am 08.04.2024).

WWF (o.D.). *What's the difference between climate change mitigation and adaptation?*  
<https://www.worldwildlife.org/stories/what-s-the-difference-between-climate-change-mitigation-and-adaptation> (Abgerufen am 08.04.2024).

Yeung, J. (2020). *Climate change could kill all of Earth's coral reefs by 2100, scientists warn*.  
<https://edition.cnn.com/2020/02/20/world/coral-reefs-2100-intl-hnk-scli-scn/index.html>  
(Abgerufen am 08.04.2024).

4ocean (o.D). *Osborne Reef Tire Cleanup*. <https://www.4ocean.com/pages/osborne-reef>  
(Abgerufen am 08.04.2024).