Die Folgekosten von Treibhausgasemissionen: Eine Analyse sozialer, ökologischer und ökonomischer Auswirkungen

Niedl, Manfred, Höhere Graphische Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Wien

Abstract

Dieser Artikel beleuchtet die vielschichtigen Folgekosten von Treibhausgasemissionen (THG) und deren Auswirkungen auf Gesellschaft, Ökosysteme und Wirtschaft. Basierend auf aktuellen Literaturquellen werden die Kosten in soziale, ökologische und ökonomische Kategorien unterteilt und jeweils nach mittelfristigen (bis ca. 2050) und langfristigen (bis 2100 und darüber hinaus) Perspektiven differenziert. Es werden quantitative Daten und Schätzungen präsentiert, die die Dringlichkeit umfassender Klimaschutzmaßnahmen unterstreichen. Die Analyse zeigt, dass die Kosten der Untätigkeit die Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen bei Weitem übersteigen und zu kaskadierenden, oft irreversiblen Schäden führen, die insbesondere vulnerable Regionen und Bevölkerungsgruppen unverhältnismäßig stark treffen. Die Notwendigkeit, Naturkapital in ökonomischen Bilanzen zu berücksichtigen und internationale Kooperation zu stärken, wird als zentraler Weg zur Minderung dieser Kosten hervorgehoben.

1. Einleitung

1.1. Treibhausgasemissionen und Klimawandel: Eine kurze Übersicht

Treibhausgase (THG) sind atmosphärische Gase, die Wärme einfangen und maßgeblich zum Klimawandel beitragen. Zu den wichtigsten THG zählen Kohlendioxid (CO2), Methan (CH4), Lachgas (N2O) und verschiedene fluorierte Gase (F-Gase).[1] CO2 ist der dominante Verursacher globaler THG-Emissionen, hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, Zementproduktion, Abfallverbrennung und Entwaldung.[1] Methanemissionen entstehen vorwiegend bei der Förderung fossiler Brennstoffe, in der Viehzucht und Landwirtschaft sowie durch die Zersetzung organischer Abfälle.[1] Lachgas wird primär durch landwirtschaftliche und industrielle Aktivitäten sowie die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt.[1] Fluorierte Gase sind synthetische, sehr potente Treibhausgase aus industriellen Anwendungen.[1]

Die Wirkung dieser Gase hängt von ihrer Konzentration und Verweildauer in der Atmosphäre ab, die von wenigen Jahren bis zu Zehntausenden von Jahren reichen

kann.[1] Die Langfristigkeit der atmosphärischen Verweildauer vieler THG bedeutet, dass die heutigen Emissionen kumulative Auswirkungen über Jahrzehnte, Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende hinweg haben werden. Selbst bei sofortiger und drastischer Reduktion der Emissionen werden die bereits verursachten Schäden für lange Zeit anhalten oder sich sogar verschlimmern. Diese anhaltende Belastung zukünftiger Generationen unterstreicht die Dringlichkeit umfassender Klimaschutzmaßnahmen.

1.2. Zielsetzung und Struktur des Artikels

Dieser Artikel analysiert die komplexen Folgekosten von Treibhausgasemissionen systematisch. Die Kosten werden in soziale, ökologische und ökonomische Kategorien unterteilt, jeweils differenziert nach mittelfristigen (bis ca. 2050) und langfristigen (bis 2100 und darüber hinaus) Auswirkungen. Der Artikel integriert quantitative Daten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur, um die Dimension der Herausforderung zu verdeutlichen und die Notwendigkeit proaktiven Handelns zu untermauern.

2. Soziale Kosten von Treibhausgasemissionen

Soziale Kosten umfassen direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Lebensqualität der menschlichen Bevölkerung, oft verschärft durch bestehende sozioökonomische Ungleichheiten.[3]

2.1. Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden

2.1.1. Direkte Gesundheitsrisiken und Mortalität (z.B. Hitzestress, Infektionskrankheiten)

Mittelfristig (bis ca. 2050):
Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) prognostiziert, dass der Klimawandel zwischen 2030 und 2050 jährlich etwa 250.000 zusätzliche Todesfälle durch Unterernährung, Malaria, Durchfall und Hitzestress verursachen wird.3 Die direkten Schäden für die Gesundheit werden bis 2030 auf jährlich 2 bis 4 Milliarden US-Dollar geschätzt.3 Eine Analyse von sechs klimabezogenen Ereignissen in den USA zwischen 2000 und 2009 ergab geschätzte zusätzliche Gesundheitskosten von 819 Millionen US-Dollar, die zu über 760.000 Behandlungsfällen führten. Die Gesamtkosten, einschließlich 1.689 vorzeitiger Todesfälle,

überstiegen in diesem Zeitraum 15,5 Milliarden US-Dollar.3
Die Exposition gegenüber gesundheitsgefährdenden Temperaturen hat zugenommen. Im Jahr 2023 waren Menschen im Durchschnitt 50 Tage länger Temperaturen ausgesetzt, die die Gesundheit bedrohten, als dies ohne den Klimawandel zu erwarten gewesen wäre.[7] Die hitzebedingten Todesfälle bei Personen über 65 Jahren stiegen 2023 um einen Rekordwert von 167% gegenüber den 1990er Jahren, was deutlich über dem demografisch bedingten Anstieg von 65% liegt.[7] Weltweit waren Menschen 2023 durchschnittlich 1.512 Stunden hohen Temperaturen ausgesetzt, die ein mäßiges Risiko für Hitzestress bei leichter körperlicher Betätigung im Freien darstellten – ein Anstieg von 27,7% gegenüber dem Jahresdurchschnitt 1990-1999.[7]

Der Klimawandel begünstigt auch die Ausbreitung von Infektionskrankheiten. Das Übertragungsrisiko von Dengue-Fieber durch *Aedes albopictus*-Mücken stieg im letzten Jahrzehnt (2014-2023) um 46% und durch *Aedes aegypti*-Mücken um 11% im Vergleich zu 1951-1960.[7] Im Jahr 2023 wurden weltweit über 5 Millionen Dengue-Fälle gemeldet.[7] Die jährlichen Kosten für die Behandlung von Durchfallerkrankungen und Malaria, die mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht werden, wurden für 2010 auf 4-7 Milliarden US-Dollar geschätzt und sollen bis 2050 auf etwa 3 Milliarden US-Dollar jährlich sinken, wobei die größte Belastung in Subsahara-Afrika erwartet wird.[3]

Langfristig (bis 2100 und darüber hinaus):
Die langfristigen Auswirkungen auf die Gesundheit hängen maßgeblich vom Ausmaß der Emissionsreduktionen und der Stärkung der Gesundheitssysteme ab.3 Ohne ausreichende Anpassungsmaßnahmen könnten die Kosten für die Gesundheitsversorgung in vulnerablen Ländern unerschwinglich werden.3

2.1.2. Psychische Gesundheit und Wohlbefinden

Der Klimawandel hat vielfältige Auswirkungen auf die psychische Gesundheit, von erhöhtem Stress und Angstzuständen nach Extremwetterereignissen bis hin zu einem höheren Suizidrisiko, das mit steigenden Temperaturen in Verbindung gebracht wird.[8] Menschen mit psychischen Erkrankungen sind besonders anfällig, da hohe Temperaturen ihre körperliche und geistige Gesundheit zusätzlich beeinträchtigen können.[9]

Eine Studie aus dem Jahr 2023 schätzte, dass psychische Störungen, die auf Klima-, Umwelt- und Verschmutzungsursachen zurückzuführen sind, die Weltwirtschaft bis 2030 jährlich 47 Milliarden US-Dollar kosten könnten.[8] Diese Kosten werden oft als "versteckte Kosten" bezeichnet, da sie in der Politik und Planung weitgehend

unberücksichtigt bleiben.[9]

2.1.3. Ernährungsunsicherheit und Unterernährung

Die zunehmende Häufigkeit von Hitzewellen und Dürren hat direkte Auswirkungen auf die globale Ernährungssicherheit. Im Jahr 2022 litten 151 Millionen Menschen mehr unter moderater oder schwerer Ernährungsunsicherheit als im Jahresdurchschnitt zwischen 1981 und 2010.[7] Dies ist eine direkte Folge der Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Produktion. Im Jahr 2023 war zudem eine extreme Dürre auf 48% der globalen Landfläche zu verzeichnen, der zweithöchste Wert, der je aufgezeichnet wurde.[7]

2.2. Migration und Vertreibung

Der Klimawandel ist ein zunehmender Treiber für Migration und Vertreibung.

Mittelfristig (bis ca. 2050):
Der Weltbank-Bericht "Groundswell" (2018) prognostiziert, dass bis 2050 ohne konkrete Klima- und Entwicklungsmaßnahmen über 143 Millionen Menschen in Subsahara-Afrika, Lateinamerika und Südasien innerhalb ihrer eigenen Länder zur Migration gezwungen sein könnten. Dies entspricht etwa 3% der Bevölkerung dieser Regionen.1 Allein in Südasien könnten bis zu 40,5 Millionen Menschen zu Binnenklima-Migranten werden, was 1,8% der regionalen Gesamtbevölkerung entspricht. In Bangladesch könnten bis zu 13,3 Millionen Menschen betroffen sein.10 Die Klimamigration könnte sich zwischen 2020 und 2050 versechsfachen.10
Langfristig (bis 2100 und darüber hinaus):
Der Stern Review schätzte, dass bis Mitte des Jahrhunderts 200 Millionen Menschen dauerhaft aufgrund von Meeresspiegelanstieg, stärkeren Überschwemmungen und intensiveren Dürren vertrieben werden könnten.12 Die Ergebnisse von Modellen zu Wassermangel und Ernteerträgen zeigen bis 2100 noch weitreichendere und extremere Klimaauswirkungen, die erhebliche und anhaltende Auswirkungen auf Bevölkerungsbewegungen haben werden.11
Massenmigrationen stellen nicht nur eine humanitäre Krise dar, sondern sind auch ein Treiber für soziale Instabilität und erhebliche wirtschaftliche Belastungen in den aufnehmenden Regionen.[13]

2.3. Arbeitsplatzverluste und Produktivitätsminderung

Steigende Temperaturen haben direkte Auswirkungen auf die menschliche Arbeitskraft.

Mittelfristig (bis ca. 2050):
Im Jahr 2023 führten steigende Temperaturen zu einem Rekord von 512 Milliarden potenziellen Arbeitsstunden, die weltweit verloren gingen – ein Anstieg von 49% gegenüber dem Jahresdurchschnitt von 1990-1999.7 Die globalen potenziellen Einkommensverluste, die sich daraus ergeben, belaufen sich auf 835 Milliarden US-Dollar. Dies macht einen erheblichen Anteil des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in Ländern mit niedrigem (7,6%) und mittlerem Einkommen (4,4%) aus.7 Für Europa wurden für die 2080er Jahre jährliche Produktivitätsverluste von 321 bis 792 Millionen US-Dollar unter einem Hoch-Emissions-Szenario geschätzt.3
Langfristig (bis 2100 und darüber hinaus):
Die asiatisch-pazifische Region könnte bis 2070 einen BIP-Verlust von 4,95% aufgrund von Hitzestress-bedingter Arbeitsleistungseinbuße erleiden.14

2.4. Soziale Kosten: Mittelfristige und Langfristige Perspektiven (Zusammenfassung)

Die sozialen Folgekosten von Treibhausgasemissionen zeigen eine klare Eskalation über die Zeit.
Mittelfristig liegt der Fokus auf der Verschärfung bereits bestehender Gesundheitsprobleme, dem Auftreten neuer Krankheiten, einer erhöhten Mortalität und Morbidität durch Extremereignisse sowie dem Beginn signifikanter Migrationsbewegungen und Produktivitätsverluste. Die direkten Gesundheitskosten sind bereits jetzt erheblich und belaufen sich auf Milliarden von US-Dollar jährlich.3
Langfristig eskalieren die sozialen Kosten dramatisch. Die Fähigkeit der Gesundheitssysteme, mit den zunehmenden Risiken umzugehen, wird stark beeinträchtigt, und die Kosten könnten in vielen vulnerablen Regionen unerschwinglich werden.3 Migration und Vertreibung könnten zu dauerhaften, großflächigen Phänomenen anwachsen. Darüber hinaus wird sich die Armut vertiefen, wobei Schätzungen zufolge über 100 Millionen Menschen bis 2030 in extreme Armut getrieben werden könnten.3

Tabelle 1: Geschätzte Soziale Folgekosten von Treibhausgasemissionen (Ausgewählte Kennzahlen und Zeiträume)

Kostenkategorie	Kennzahl	Zeitraum	Quelle
Gesundheit & Wohlbefinden			
Zusätzliche Todesfälle	~250.000 pro Jahr	2030-2050	WHO [3]

Direkte Gesundheitskosten	2-4 Mrd. USD pro Jahr	Bis 2030	WHO [3]
Gesundheitskosten USA	>15,5 Mrd. USD (inkl. 1.689 Todesfälle)	2000-2009	[3]
Psychische Störungen Kosten	~47 Mrd. USD pro Jahr	Bis 2030	[8]
Hitzebedingte Todesfälle (>65 J.)	Anstieg um 167% (ggü. 1990er)	2023	[7]
Hitzestress-Exposition	1.512 Stunden pro Person (27,7% Anstieg ggü. 1990-99)	2023	[7]
Ernährungsunsicherheit	151 Mio. Menschen mehr betroffen	2022 (ggü. 1981-2010)	[7]
Migration & Vertreibung			
Binnenklima-Migranten (Global)	>143 Mio. Menschen (ca. 3% der Bevölkerung)	Bis 2050	Weltbank [10]
Binnenklima-Migranten (Südasien)	Bis zu 40,5 Mio. Menschen (1,8% der Bevölkerung)	Bis 2050	Weltbank [10]
Dauerhaft Vertriebene	~200 Mio. Menschen	Mitte des Jahrhunderts	Stern Review [12]
Arbeitsplatzverluste & Produktivität			
Verlorene Arbeitsstunden	512 Mrd. Stunden (49% Anstieg ggü. 1990-99)	2023	[7]
Potenzieller Einkommensverlust	835 Mrd. USD (7,6% BIP in Niedrig-, 4,4% in Mitteleinkommenslän	2023	[7]

	dern)		
Produktivitätsverluste Europa	321-792 Mio. USD pro Jahr	2080er Jahre	[3]
BIP-Verlust Asien-Pazifik (Arbeitsleistung)	4,95% des BIP	Bis 2070	[14]

3. Ökologische Kosten von Treibhausgasemissionen

Die ökologischen Kosten des Klimawandels manifestieren sich im Verlust von Biodiversität und der Beeinträchtigung essenzieller Ökosystemdienstleistungen. Diese Schäden haben weitreichende Auswirkungen, die über rein ökologische Aspekte hinausgehen und direkte ökonomische und soziale Konsequenzen nach sich ziehen.

3.1. Verlust an Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen

Der Klimawandel hat marine, terrestrische und Süßwasserökosysteme weltweit verändert.[15] Diese Veränderungen führen zu lokalen Artenverlusten, einer Zunahme von Krankheiten und Massensterben von Pflanzen und Tieren.[15] Die ersten klimabedingten Artenaussterben wurden bereits beobachtet, beispielsweise das Aussterben der Bramble Cay Melomys.[15] Eine Untersuchung von 976 Arten ergab, dass bei 47% lokale Populationen aufgrund des Klimawandels ausgestorben sind.[15]

Die Umstrukturierung von Ökosystemen und der Rückgang wichtiger Ökosystemdienstleistungen sind ebenfalls messbare Folgen.[15] Zu den bedrohten Dienstleistungen gehören die Klimaregulierung, der Hochwasserschutz, die Nahrungsmittelversorgung und die Wasserversorgung.[15] Die Entwaldung und das Auftauen des arktischen Permafrosts haben dazu geführt, dass einige Gebiete von Kohlenstoffsenken zu Kohlenstoffquellen geworden sind.[15] Waldbrände, deren Häufigkeit und Ausmaß regional zunehmen (bis zum Doppelten des natürlichen Niveaus), tragen bis zu einem Drittel der globalen Kohlenstoffemissionen von Ökosystemen bei und verschärfen so den Klimawandel.[15] Das Risiko von Waldbränden steigt mit den globalen Temperaturen, wobei bei einer Erwärmung von 4°C bis 2100 ein Nettoanstieg von ~30% prognostiziert wird.[15]

Die ökonomischen Auswirkungen dieser ökologischen Zerstörung sind erheblich. Ohne substanzielle Minderungs- und Anpassungsbemühungen könnte das globale BIP bis 2100 um bis zu 24% sinken, wenn die Umweltverschmutzung durch fossile Brennstoffe ungehindert anhält.[17] Die kurzfristigen Kosten der Untätigkeit werden auf 10-15% des verlorenen globalen BIP bis zum Ende des Jahrhunderts geschätzt, was Billionen von Dollar an verlorenem Wohlstand bedeutet.[17] Alle Länder werden wirtschaftlich leiden, nicht nur die ärmeren.[17]

Ein grundlegendes Problem traditioneller ökonomischer Rechnungslegung ist das Fehlen essenzieller Ökosystemdienstleistungen in nationalen Bilanzen, was als großer blinder Fleck des ökonomischen Risikos angesehen wird.[17] Biodiversität erbringt fundamentale Naturdienstleistungen wie Nahrungsmittelversorgung, Bodenregeneration sowie Wasser- und Klimaregulierung.[17] Der jährliche ökonomische Wert von Wasser und Süßwasserökosystemen wird auf 58 Billionen US-Dollar geschätzt, was 60% des globalen BIP entspricht, wobei die "unsichtbaren" Vorteile wie Wasserreinigung, Kohlenstoffspeicherung und Hochwasserschutz siebenmal höher sind als die direkten Vorteile.[18] Korallenriffe verhindern Küstenschäden in geschätzter Höhe von 94 Milliarden US-Dollar jährlich, wobei die Ersatzkosten für künstliche Küstenverteidigungen weltweit 2 Billionen US-Dollar übersteigen würden.[19]

Mittelfristig (bis ca. 2050):
Ökosysteme erfahren weitreichende Veränderungen, einschließlich lokaler Artenverluste und einer Zunahme von Krankheiten.15 Die Anfälligkeit für Extremereignisse wie marine Hitzewellen und Waldbrände nimmt zu, was zu Biodiversitätsverlusten und dem Zusammenbruch regionaler Fischereien führen kann.15
Langfristig (bis 2100 und darüber hinaus):
Bis 2100 werden Ökosysteme CO2-Konzentrationen und globalen Temperaturen ausgesetzt sein, die deutlich über den Werten der letzten 650.000 Jahre liegen.16 Dies wird die Struktur der meisten Ökosysteme verändern, die Biodiversität reduzieren und ihre Funktionen stören.16 Das Risiko des Aussterbens von Arten und des Zusammenbruchs von Ökosystemen steigt bei Erwärmungsniveaus über 2°C bis 2100 rapide an.15 Die terrestrische Biosphäre wird im Laufe dieses Jahrhunderts wahrscheinlich zu einer Nettoquelle für Kohlenstoff werden.16

3.2. Kosten für Ersatzmaßnahmen und Wiederherstellung

Die Degradation von Ökosystemen erfordert oft kostspielige Ersatz- oder Wiederherstellungsmaßnahmen. Die Umweltkostenanalyse schätzt die Kosten für die Wiederherstellung beschädigter Umweltgüter oder Ökosystemdienstleistungen, beispielsweise die Kosten für die Wiederherstellung eines degradierten

Feuchtgebiets.[20]

Korallenriffe bieten einen Küstenschutz, dessen Ersatz durch künstliche Verteidigungsanlagen weltweit über 2 Billionen US-Dollar kosten würde.[19] Allein in Südflorida könnte der Verlust des Riffschutzes die Schadenskosten während eines 100-jährigen Sturmereignisses um 1,6 Milliarden US-Dollar erhöhen.[19] Die Wiederherstellung von Korallenriffen in Florida und Puerto Rico könnte jährlich Hunderte Millionen Dollar an Sachschäden und wirtschaftlichen Störungen verhindern. Tourismusdestinationen sind gezwungen, in Wasseraufbereitungsanlagen zu investieren, deren Kosten zwischen 25 und 50 Millionen US-Dollar pro Standort liegen, während Strände eine beschleunigte Erosion erleben, die Sandauffüllungsprogramme für 5-10 Millionen US-Dollar pro Meile Küstenlinie erfordert.[19]

Die Degradation von Flüssen, Seen, Feuchtgebieten und Grundwasserleitern bedroht den geschätzten jährlichen ökonomischen Wert von Wasser und Süßwasserökosystemen von 58 Billionen US-Dollar.[18] Seit 1970 hat die Welt ein Drittel ihrer verbleibenden Feuchtgebiete verloren, und die Süßwasser-Tierpopulationen sind im Durchschnitt um 83% zurückgegangen.[18]

Tabelle 2: Geschätzte Ökologische Folgekosten und Ersatzmaßnahmen (Ausgewählte Kennzahlen und Zeiträume)

Kostenkategorie	Kennzahl	Zeitraum	Quelle
Biodiversität & Ökosysteme			
Artenverlust (lokal)	47% der untersuchten Arten betroffen	Aktuell	15
Waldbrände (Anstieg)	Bis zu doppelt so hoch wie natürliche Niveaus	Aktuell	15
Waldbrände (Beitrag zu Emissionen)	Bis zu 1/3 der globalen Ökosystem-Kohlenstoffemissionen	Aktuell	15

Risikoanstieg Waldbrände	~30% Anstieg bei 4°C Erwärmung	Bis 2100	[15]
Meeresspiegelanstieg (Küstenökosysteme)	10-faches Risiko für Küstenökosysteme	Vor 2100	[15]
Naturkapital pro Person (Rückgang)	~40% Rückgang (während Produktionskapital verdoppelt)	1992-2014	[17]
Ersatz- & Wiederherstellungskosten			
Ersatzkosten Küstenschutz (Global)	>2 Billionen USD	Langfristig	[19]
Vermeidung Küstenschäden (Korallenriffe)	94 Mrd. USD pro Jahr	Aktuell	[19]
Zusätzliche Schäden (Korallenriffverlust Florida)	1,6 Mrd. USD (100-Jahres-Sturm)	Aktuell	[19]
Wasseraufbereitungsanlagen	25-50 Mio. USD pro Standort	Aktuell	[19]
Sandauffüllung Strände	5-10 Mio. USD pro Meile	Aktuell	[19]

4. Ökonomische Kosten von Treibhausgasemissionen

Die ökonomischen Folgekosten von Treibhausgasemissionen umfassen direkte Nachteile für Unternehmen, die sich in geringerem Wirtschaftswachstum, Infrastrukturschäden, Produktionsausfällen und erhöhten Kosten für Risikomanagement niederschlagen.

4.1. Direkte Schäden an Infrastruktur und Eigentum

Klimatische Katastrophen verursachen weltweit erhebliche direkte Schäden an Infrastruktur und Eigentum. Über das letzte Jahrzehnt (2014-2023) werden die direkten Schäden solcher Katastrophen auf rund 1,3 Billionen US-Dollar geschätzt, was durchschnittlich 0,2% des weltweiten BIP pro Jahr entspricht.[21]

Spezifische Beispiele verdeutlichen das Ausmaß dieser Schäden:

- Die Waldbrände in Kalifornien im Jahr 2018 verursachten Gesamtkosten von bis zu 350 Milliarden US-Dollar, was 1,7% des US-BIP entsprach.[21]
- Die Überschwemmungen in Thailand im Jahr 2011 führten zu Schäden von etwa 10% des thailändischen BIP.[21]
- Klimabedingt verschärfte Waldbrände kosten die USA jährlich zwischen 394 und 893 Milliarden US-Dollar an wirtschaftlichen Kosten und Schäden, was 2-4% des US-BIP entspricht.[22] Allein die Einkommensverluste durch Waldbrände werden auf über 147,5 Milliarden US-Dollar geschätzt.[22]
- Die Versicherungsbranche ist stark betroffen: 2024 verzeichneten Versicherer mit 140 Milliarden US-Dollar die dritthöchsten versicherten Verluste durch Naturkatastrophen, wobei Munich Re feststellte, dass der Klimawandel "seine Klauen zeigt".[23] Die gesamten wirtschaftlichen Verluste aus Naturkatastrophen weltweit erreichten 2024 320 Milliarden US-Dollar.[23] Allein tropische Wirbelstürme trugen 2024 135 Milliarden US-Dollar zu den Gesamtverlusten bei, davon 52 Milliarden US-Dollar versichert.[23]
- Der Meeresspiegelanstieg und intensivere Stürme werden dazu führen, dass bei einer Erwärmung von 3 oder 4°C jährlich Zehn- bis Hundertmillionen Menschen mehr von Überschwemmungen betroffen sein werden.[12] Bis Mitte des Jahrhunderts könnten 200 Millionen Menschen dauerhaft vertrieben sein.[12] In Großbritannien könnten die jährlichen Hochwasserschäden von 0,1% des BIP heute auf 0,2-0,4% des BIP steigen, wenn die globalen Temperaturen um 3-4°C ansteigen.[12] Für Europa wird geschätzt, dass die jährlichen Hochwasserschäden von 10 Milliarden US-Dollar heute auf 120-150 Milliarden US-Dollar bis zum Ende des Jahrhunderts steigen könnten.[12]
- Korallenriffe verhindern Küstenschäden in geschätzter Höhe von 94 Milliarden US-Dollar jährlich.[19] Ihr Verlust könnte zur Unversicherbarkeit einiger Küstengebiete bis 2035-2040 führen und zusätzliche Sachwertrisiken von 350 Milliarden US-Dollar bis 2050 verursachen.[19]

4.2. Auswirkungen auf Wirtschaftswachstum und BIP

Die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf das Wirtschaftswachstum und das Bruttoinlandsprodukt (BIP) sind tiefgreifend und nehmen mit der Zeit zu.

Mittelfristig (bis ca. 2050):
Der Stern Review schätzt, dass die Kosten und Risiken des Klimawandels bei Untätigkeit dem Verlust von mindestens 5% des globalen BIP pro Jahr entsprechen, "jetzt und für immer".12 Bei Berücksichtigung eines breiteren Spektrums von Risiken könnten diese Schäden auf 20% des BIP oder mehr ansteigen.12
Für die asiatisch-pazifische Region wird unter einem Hoch-Emissions-Szenario (SSP5-8.5) bis 2070 ein Gesamt-BIP-Verlust von 16,89% prognostiziert.14 Besonders betroffen sind Länder wie Bangladesch (-30,51%), Vietnam (-30,23%), Indonesien (-26,79%) und Indien (-24,67%).14 Die Wasserknappheit, verschärft durch den Klimawandel, könnte in einigen Regionen bis 2050 zu einem Rückgang des BIP um bis zu 6% führen.13
Die Universität Cambridge prognostiziert, dass die USA bis zum Ende dieses Jahrhunderts 10,5% ihres BIP verlieren könnten und Kanada über 13%.17 Die kurzfristigen Kosten der Untätigkeit werden auf 10-15% des verlorenen globalen BIP bis zum Ende des Jahrhunderts geschätzt.17
Langfristig (bis 2100 und darüber hinaus):
Die Prognosen für die langfristigen BIP-Verluste sind noch drastischer. Für die asiatisch-pazifische Region könnten die Verluste unter einem Hoch-Emissions-Szenario (RCP8.5) bis 2100 40,98% des regionalen BIP erreichen.14 Bangladesch könnte sogar einen Rückgang des BIP um 77,85% erleben.14 Global könnte das BIP ohne signifikante Minderungs- und Anpassungsbemühungen bis 2100 um bis zu 24% sinken.17
Die Kosten eskalieren dramatisch über die Zeit, insbesondere über das Jahr 2050 hinaus, da die Auswirkungen des Klimawandels nicht-linear sind und potenzielle Kipppunkte erreicht oder überschritten werden können.[3] Dies führt zu exponentiell steigenden Schäden, die die Anpassungsfähigkeit übersteigen könnten. Ein Beispiel für einen solchen finanziellen Kipppunkt ist die potenzielle "Unversicherbarkeit" einiger Küstengebiete bereits bis 2035-2040.[19]

4.3. Soziale Kosten des Kohlenstoffs (Social Cost of Carbon - SCC)

Die "sozialen Kosten des Kohlenstoffs" (SCC) sind ein Maß für den Barwert der zukünftigen Schäden, die durch eine zusätzliche Einheit Kohlenstoffemissionen in einem bestimmten Jahr entstehen.[24] Sie umfassen die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die landwirtschaftliche Produktivität, die menschliche Gesundheit, den Verlust von Eigentum und Infrastruktur durch Meeresspiegelanstieg und

Extremwetterereignisse sowie die Verringerung der Biodiversität und der Ökosystemdienstleistungen.[24] Der SCC gilt als der korrekte "Schattenpreis" für THG-Emissionen in einer Kosten-Nutzen-Analyse von Klimaschutzmaßnahmen.[24]

Aktuelle Schätzungen des SCC variieren. Prominente integrierte Bewertungsmodelle (IAMs) lieferten 2005 zentrale Schätzungen von 7,7 US-Dollar (DICE), 5,2 US-Dollar (FUND) und 5,1 US-Dollar (PAGE) pro Tonne CO2.[24] Eine Meta-Analyse ergab eine breite Verteilung der veröffentlichten SCC-Schätzungen, mit einem Median von 12 US-Dollar, einem Mittelwert von 43 US-Dollar und einem 95. Perzentil von 150 US-Dollar.[24] Der National Research Council (NRC) kam zu dem Schluss, dass die Spanne der Schätzungen für die marginalen globalen Schäden (SCC) zwei Größenordnungen umfassen kann, von etwa 1 US-Dollar pro Tonne bis zu 100 US-Dollar pro Tonne CO2-Äquivalent.[24]

Die ökonomische Rationalität von Klimaschutz als Investition wird deutlich, wenn man die Kosten der Untätigkeit den Kosten der Maßnahmen gegenüberstellt. Der Stern Review stellt fest, dass die Kosten der Untätigkeit dem Verlust von mindestens 5% des globalen BIP pro Jahr entsprechen können, potenziell bis zu 20% oder mehr, während die Kosten für Klimaschutzmaßnahmen auf etwa 1% des globalen BIP pro Jahr begrenzt werden können.[12] Eine Studie der Universität Cambridge zeigt, dass das globale BIP bis 2100 ohne Minderungsmaßnahmen um bis zu 24% sinken könnte, während eine Vorabinvestition von weniger als 2% des globalen BIP bis 2100 den Verlust von 11-13% des kumulierten BIP vermeiden könnte.[17]

Dies verdeutlicht, dass Klimaschutz nicht nur eine Ausgabe, sondern eine strategische Investition ist, die erhebliche wirtschaftliche Vorteile bringt und weitaus größere zukünftige Schäden vermeidet. Der Klimawandel ist das größte Marktversagen, das die Welt je gesehen hat.[12]

Tabelle 3: Geschätzte Ökonomische Folgekosten von Treibhausgasemissionen (Ausgewählte Kennzahlen und Zeiträume)

Kostenkategorie	Kennzahl	Zeitraum	Quelle
Direkte Schäden & Infrastruktur			
Direkte Schäden	~1,3 Billionen USD	Letztes Jahrzehnt	IMF [21]

Klimakatastrophen (Global)	(0,2% des Welt-BIP pro Jahr)	(2014-2023)	
Waldbrände USA (jährlich)	394-893 Mrd. USD (2-4% des US-BIP)	Jährlich	[22]
Versicherte Verluste Naturkatastrophen (Global)	140 Mrd. USD	2024	Munich Re [23]
Gesamtwirtschaftliche Verluste Naturkatastrophen (Global)	320 Mrd. USD	2024	Munich Re [23]
Küstenschäden (Korallenriffe)	94 Mrd. USD pro Jahr vermieden	Aktuell	[19]
Zusätzliches Sachwertrisiko (Korallenriffverlust)	350 Mrd. USD	Bis 2050	[19]
Unversicherbarkeit Küstengebiete	Potenzial bis 2035-2040	Mittelfristig	[19]
Hochwasserschäden Europa (Anstieg)	Von 10 Mrd. USD auf 120-150 Mrd. USD	Bis Ende des Jahrhunderts	[12]
Wirtschaftswachstum & BIP			
Globaler BIP-Verlust (Untätigkeit)	Mind. 5% des globalen BIP pro Jahr (potenziell >20%)	Jetzt und für immer	Stern Review [12]
Globaler BIP-Verlust (Untätigkeit)	Bis zu 24% des globalen BIP	Bis 2100	Cambridge [17]
BIP-Verlust Asien-Pazifik (Hoch-Emissionen)	16,89% des BIP	Bis 2070	ADB [14]
BIP-Verlust Asien-Pazifik (Hoch-Emissionen)	40,98% des BIP	Bis 2100	ADB [14]

BIP-Verlust Bangladesch (Hoch-Emissionen)	77,85% des BIP	Bis 2100	ADB [14]
BIP-Verlust USA	10,5% des BIP	Bis 2100	Cambridge [17]
BIP-Verlust Kanada	13% des BIP	Bis 2100	Cambridge [17]
Kosten der Untätigkeit (kurzfristig)	10-15% des verlorenen globalen BIP	Bis Ende des Jahrhunderts	Cambridge [17]
Kosten der Maßnahmen (Global)	~1% des globalen BIP pro Jahr	Für Stabilisierung 500-550ppm CO2e	Stern Review [12]
Investition zur Vermeidung von Verlusten	<2% des globalen BIP (vermeidet 11-13% kumulierten BIP-Verlust)	Bis 2100	Cambridge [17]
Soziale Kosten des Kohlenstoffs (SCC)			
SCC (Median)	12 USD pro Tonne CO2	Meta-Analyse	[24]
SCC (Mittelwert)	43 USD pro Tonne CO2	Meta-Analyse	[24]
SCC (95. Perzentil)	150 USD pro Tonne CO2	Meta-Analyse	[24]
SCC (Bandbreite)	1-100 USD pro Tonne CO2-Äquivalent	NRC	[24]

5. Schlussfolgerung und Empfehlungen

Die Analyse der Folgekosten von Treibhausgasemissionen offenbart ein komplexes und sich verstärkendes Geflecht aus sozialen, ökologischen und ökonomischen Belastungen. Diese Kosten sind systemisch miteinander verbunden, wobei der Klimawandel als Bedrohungsmultiplikator wirkt und kaskadierende Auswirkungen über

verschiedene Sektoren hinweg erzeugt. Die Vernachlässigung immaterieller Kosten, wie die Auswirkungen auf die psychische Gesundheit, führt zu einer systematischen Unterschätzung des wahren Schadensausmaßes.

Ein zentrales Ergebnis ist die dramatische Eskalation der Kosten im Zeitverlauf. Während mittelfristig (bis ca. 2050) bereits erhebliche Schäden zu verzeichnen sind, nehmen die langfristigen Kosten (bis 2100 und darüber hinaus) exponentiell zu. Dies ist auf die nicht-lineare Natur der Klimaauswirkungen und das Erreichen potenzieller Kipppunkte zurückzuführen, die irreversible Veränderungen bewirken können. Die Prognosen für BIP-Verluste von bis zu 40% oder mehr in einigen Regionen und die potenzielle Unversicherbarkeit von Küstengebieten verdeutlichen die Dringlichkeit, über kurzfristige Perspektiven hinauszublicken.

Ein weiteres entscheidendes Muster ist die unverhältnismäßig starke Betroffenheit vulnerabler Bevölkerungsgruppen und Entwicklungsländer. Diese Regionen sind aufgrund ihrer Lage, ihrer Abhängigkeit von klimasensiblen Sektoren und ihrer begrenzten Anpassungsfähigkeit am stärksten betroffen. Der Klimawandel verschärft somit bestehende globale Ungleichheiten und droht, Millionen von Menschen in extreme Armut zu treiben.

Die ökonomische Bewertung des Naturkapitals ist ein kritischer blinder Fleck in der aktuellen Wirtschaftsrechnung. Die traditionelle Fixierung auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als alleinigen Indikator für Wohlstand ignoriert den immensen Wert von Ökosystemdienstleistungen. Die Erkenntnis, dass der Wert von Wasser- und Süßwasserökosystemen ein Vielfaches der direkten wirtschaftlichen Vorteile übersteigt, unterstreicht die Notwendigkeit, Naturkapital in nationale Bilanzen zu integrieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kosten der Untätigkeit die Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen bei Weitem übersteigen. Klimaschutz ist keine Belastung, sondern eine pro-Wachstums-Strategie für die längere Frist, die nicht nur katastrophale Schäden vermeidet, sondern auch neue wirtschaftliche Möglichkeiten und Innovationen schafft.

Basierend auf diesen Erkenntnissen ergeben sich folgende Empfehlungen:

1. **Ganzheitliche und Systemische Klimapolitik:** Klimaschutzmaßnahmen müssen in umfassende soziale, ökologische und ökonomische Strategien integriert werden, unter Berücksichtigung von Kaskadeneffekten.

2. **Dringende Emissionsreduktionen:** Angesichts der Langfristigkeit der THG-Wirkung und der exponentiellen Eskalation der Kosten sind sofortige und tiefgreifende Emissionsreduktionen unabdingbar.
3. **Stärkung der Anpassungsfähigkeit:** Parallel zur Minderung müssen gezielte und robuste Anpassungsstrategien entwickelt und umgesetzt werden, insbesondere in den am stärksten betroffenen Regionen.
4. **Neubewertung des Naturkapitals:** Wirtschaftliche Modelle und nationale Bilanzen müssen das Naturkapital und die Ökosystemdienstleistungen angemessen bewerten und integrieren.
5. **Verstärkte Internationale Kooperation und Finanzierung:** Eine erhebliche Aufstockung der Finanzmittel für Klimaschutz und Anpassung in Entwicklungsländern ist dringend notwendig. Gleichzeitig müssen Subventionen für fossile Brennstoffe umgeleitet und in nachhaltige Lösungen investiert werden.

Referenzen

1. Overview of Greenhouse Gases | US EPA, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases
2. What is climate change mitigation? FAQ 1.2 | Which greenhouse gases (GHGs) are relevant to which sectors? FAQ 1.3, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/faqs/IPCC_AR6_WGIII_FAQ_Chapter_01.pdf
3. Health Risks and Costs of Climate Variability and Change - Injury ..., Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525226/
4. Climate change - World Health Organization (WHO), Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.who.int/health-topics/climate-change
5. Climate change and human health: Last call to arms for us - PMC - PubMed Central, Zugriff am Juli 5, 2025, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11036518/
6. Taking action for the health of people and the planet - Welcome to the United Nations, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/health
7. The Lancet: Health threats of climate change reach record-breaking ..., Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.eurekalert.org/news-releases/1062546
8. Climate Change's Psychological Impact | Hopkins Bloomberg Public Health Magazine, Zugriff am Juli 5, 2025, https://magazine.publichealth.jhu.edu/2024/climate-changes-psychological-impact
9. The impact of climate change on mental health and emotional wellbeing: current evidence and implications for policy and practice, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.rcpsych.ac.uk/docs/default-source/improving-

care/sustainability/ecocamhs/ecocamhs---lawrance---climate-change-and-mental-health-briefing-paper.pdf?sfvrsn=a56f6013_2
10. Groundswell - World Bank Documents and Reports, Zugriff am Juli 5, 2025, https://documents1.worldbank.org/curated/en/401511522303177090/pdf/124722-BRI-PUBLIC-NEWSERIES-Groundswell-note-PN2.pdf
11. Internal Climate Migration in Latin America - World Bank Documents and Reports, Zugriff am Juli 5, 2025, https://documents1.worldbank.org/curated/en/983921522304806221/pdf/124724-BRI-PUBLIC-NEWSERIES-Groundswell-note-PN3.pdf
12. Stern Review: The Economics of Climate Change, Zugriff am Juli 5, 2025, http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf
13. High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy - World Bank, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy
14. Quantifying the Economic Costs of Climate Change Inaction for Asia ..., Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/1007506/apcr2024bp-economic-costs-climate-change-inaction-asia-pacific.pdf
15. Fact sheet - Biodiversity - Intergovernmental Panel on Climate ..., Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGII_FactSheet_Biodiversity.pdf
16. Ecosystems, their properties, goods and services - IPCC, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter4-1.pdf
17. The price of ecological breakdown - University of Cambridge, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.cam.ac.uk/stories/climate-biodiversity-economics
18. Water crisis threatens $58 trillion in economic value, food security and sustainability | Press Releases - World Wildlife Fund, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.worldwildlife.org/press-releases/water-crisis-threatens-58-trillion-in-economic-value-food-security-and-sustainability
19. Coral Reef Loss: Economic Impact on Tourism, Fisheries & Coastal Protection, Zugriff am Juli 5, 2025, https://coralvita.co/coral-cafe/economic-impact-of-coral-reef-loss/
20. Environmental Cost Analysis ⟶ Term - Energy ⟶ Sustainability Directory, Zugriff am Juli 5, 2025, https://energy.sustainability-directory.com/term/environmental-cost-analysis/
21. | Climate and the economy - International Monetary Fund (IMF), Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.imf.org/en/Topics/climate-change/climate-and-the-economy
22. Climate-exacerbated wildfires cost the U.S. between $394 to $893 billion each year in economic costs and damages, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.jec.senate.gov/public/_cache/files/9220abde-7b60-4d05-ba0a-8cc20df44c7d/jec-report-on-total-costs-of-wildfires.pdf

23. Insured Losses From Natural Disasters Hit $140B as Climate Change 'Shows Its Claws', Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.insurancejournal.com/news/international/2025/01/09/807524.htm
24. The “Social Cost of Carbon” Made Simple - US EPA, Zugriff am Juli 5, 2025, https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2014-12/documents/the_social_cost_of_carbon_made_simple.pdf
25. Cost-benefit study confirms coral reef restoration could be a cost-effective way to save lives and money - USGS.gov, Zugriff am Juli 5, 2025, https://www.usgs.gov/news/national-news-release/cost-benefit-study-confirms-coral-reef-restoration-could-be-a-cost
26. Wildfires are deadlier and costlier due to climate change, Zugriff am Juli 5, 2025, https://hsph.harvard.edu/climate-health-c-change/news/wildfires-are-deadlier-and-costlier-due-to-climate-change/