

Klimawandel und Gletscherschmelze

Welche Ursachen und Auswirkungen hat das Schmelzen der Gletscher
im Himalaya und am Kilimandscharo?



Himalaya



Kilimandscharo

Seminar, Herr Gagg und Herr Seeberg, S1

Alina Ohlwein und Elena Raddatz

Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Vorwort.....	2
1.2	Allgemeines zu Gebirgsgletschern	2
2	Himalaya	3
2.1	Allgemeine Informationen	3
2.1.1	Geographische Einordnung	3
2.1.2	Geologie.....	4
2.1.3	Vegetation	4
2.2	Vergletscherung in verschiedenen Regionen	4
2.3	Gletscherrückgang.....	5
2.3.1	Gletschermassenbilanz.....	6
2.4	Klimawandel: Ursache der Gletscherschmelze?	7
2.4.1	Prognose für die Zukunft.....	9
2.5	Folgen und Auswirkungen	11
2.5.1	Überschwemmungen.....	11
2.5.2	Meeresspiegelanstieg	11
2.5.3	Bedrohte Trinkwasserreservoirs	11
2.5.4	Wirtschaftsschäden	12
2.6	Schutzmaßnahmen.....	12
3	Kilimandscharo	13
3.1	Allgemeine Informationen	13
3.1.1	Geographische Einordnung	13
3.1.2	Geologie.....	13
3.1.3	Flora und Fauna	13
3.2	Kilimandscharo im Klimawandel.....	15
3.2.1	Klima des Kilimandscharo	15
3.2.2	Klimadaten und Auswertung.....	15
3.2.3	Gletscher des Kilimandscharo	16
3.2.4	Gletscherschmelze	17
3.3	Diskussion der Gletscherschmelze	18
3.3.1	Ursachen	18
3.3.2	Folgen	18
3.3.3	Prognose.....	19
4	Vergleich des Himalayas und Kilimandscharos und Fazit	19
5	Literatur- und Abbildungsverzeichnis	21

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Im Rahmen des Unterrichts im Oberstufenprofil „System Erde“ nehmen wir an dem am Deutschen Klimarechenzentrum angesiedelten „Schulprojekt Klimawandel“ teil. Schüler und Schülerinnen aus Hamburg und Schleswig-Holstein werden im Rahmen des Projekts mit Informationen, Beratung und Einführung in die Nutzung von Klimamodellen und Klimamodelldaten unterstützt, um eine eigene Arbeit zum Thema Klimawandel zu verwirklichen.

Die vorliegende Arbeit vergleicht den Himalaya mit dem Kilimandscharo aus geographisch-klimatologischer Perspektive. In einem ersten Schritt werden die beiden Gebirgsmassive beschrieben, um sie im Folgenden zu vergleichen. Ferner sollen genauere Informationen zur Gletscherschmelze und deren Auswirkung auf die Bevölkerung der beiden Gebirgsmassive zusammengetragen und einander gegenübergestellt werden. Bei dem Vergleich sollen mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgearbeitet werden. Mit dem Visualisierungsprogramm Panoply von der NASA werden Graphiken erstellt, die die Temperaturentwicklung der Zukunft abbilden. Die Ergebnisse werden beschrieben und interpretiert, wobei ein besonderes Augenmerk auf Hinweise für eine klimatologische Veränderung gerichtet werden soll. Die Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst und ein kurzes Fazit gezogen.

1.2 Allgemeines zu Gebirgsgletschern

Gletscher bestehen aus einer Masse von Eis. Sie entstehen, wenn in feuchten, kalten Jahreszeiten Schnee fällt, und in der wärmeren und trockeneren Jahreszeit dieser nicht komplett schmilzt. Denn die Schneemassen lagern sich anschließend übereinander, sodass sich der abgelagerte Schnee unter dem Druck von neuem Schnee zu Eis umwandelt. Dieser Prozess wird Akkumulation genannt, das Gebiet, in der die Akkumulation stattfindet, wird als Nährgebiet bezeichnet. Aufgrund des Gewichts fließt das Eis den Berg hinunter, wo es dann wiederum schmilzt, was als Ablation bezeichnet wird. Der Bereich der Ablation wird auch Zehrgebiet genannt. (Kasang: Gletscher im Klimawandel, 2015)

Nach dem RGI (Randolph Glacier Inventory) gibt es weltweit, abgesehen von der Antarktischen Halbinsel, rund 200.000 Gletscher, welche der Fläche von 727.000 km² entsprechen (Lozán: Warnsignal Klima, 2015). Gebirgsgletscher sind auf allen Kontinenten zu finden, und erscheinen in unterschiedlichen Typen und Größen. So gibt es zum Beispiel die Hanggletscher, die nur ein paar hundert Meter lang sind, die Talgletscher, die mehrere Kilometer lang sein können, und auch die großen Auslassgletscher in der Antarktis und in Grönland, die sich über mehrere hundert Kilometer erstrecken (ZAMG: Gebirgsgletscher, Jahr unbekannt).

2 Himalaya

Im Folgenden wird die Gletscherschmelze im Himalaya-Gebirge betrachtet und untersucht, inwiefern es einen Zusammenhang zwischen dieser und der Klimaerwärmung gibt, und welche Folgen das Schmelzen der Gletscher hat. Der Schwerpunkt wird hier bei den Auswirkungen auf die Bevölkerung liegen, besonders, wie sich die Trinkwasserkapazität durch das Schmelzen verändert und somit die Bevölkerungsversorgung beeinflusst. Anschließend wird geschaut, wie mit dem Problem umgegangen wird bzw. welche Gegenmaßnahmen es gibt.

2.1 Allgemeine Informationen

2.1.1 Geographische Einordnung

Das Himalaya-Gebiet liegt in Zentralasien und erstreckt sich von der Grenze Afghanistans und Pakistans entlang der Staaten Indien, Nepal, Bhutan und Tibet (China) bis zum Patkai-Gebirge. Insgesamt beträgt die Länge des Gebirges ungefähr 3000 und die Breite rund 350 Kilometer (Wikipedia Himalaya, 2015), das Ende im Nordwesten liegt bei 72° östlicher Länge und 37° nördlicher Breite, der südöstliche Teil liegt bei 96° östlicher Länge und 29° nördlicher Breite. Der südlichste Ort liegt bei ca. 28° nördlicher Breite (Seyfferth, Gesamtübersicht über den Himalaya, 2006).

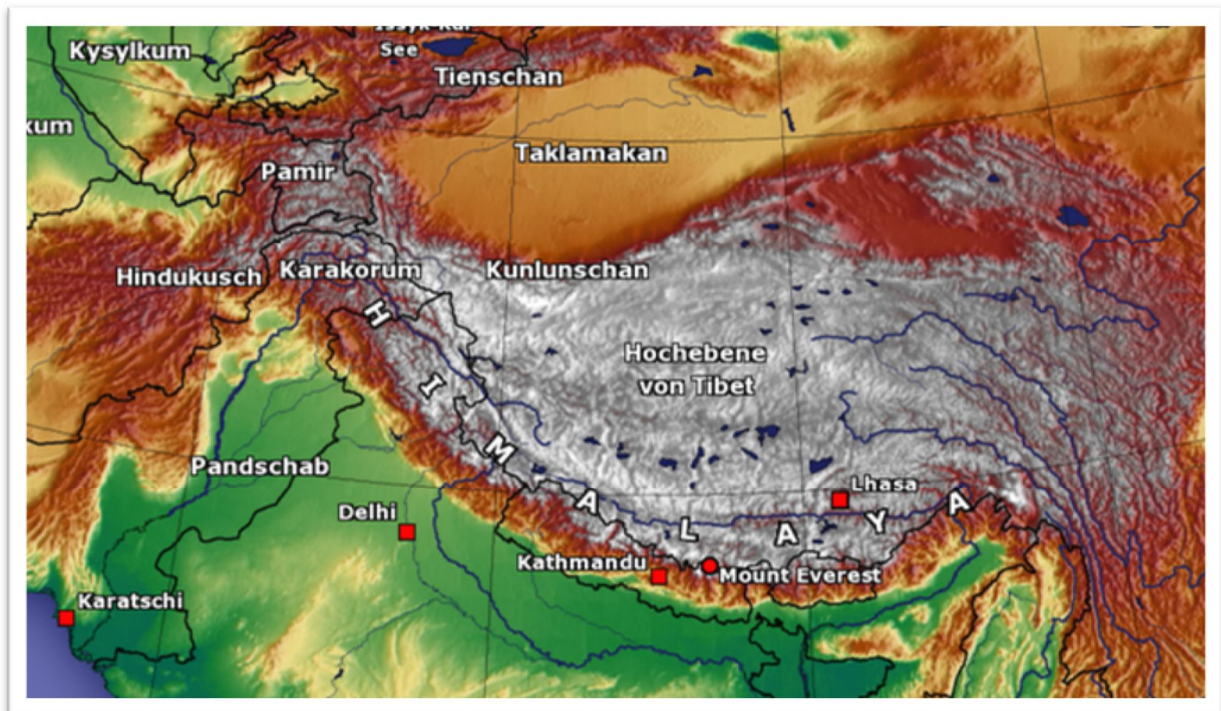


Abb. 1: Himalaya Übersicht

Der Himalaya ist das größte Hochgebirge der Welt; er ist das einzige Gebirge mit Achttausendern (insgesamt 14 Stück), und auch fast alle Siebentausender der Welt befinden sich dort (Seyfferth, Gesamtübersicht über den Himalaya, 2006). Außerdem liegt hier der mit 8848 Meter über dem Meeresspiegel höchste Berg der Welt, der Mount-Everest (Wikipedia, Himalaya, 2015).

2.1.2 Geologie

Der Himalaya ist das Ergebnis der Kollision der indischen und eurasischen Platte vor ca. 40 bis 50 Millionen Jahren. Durch den Druck, den die indische Platte auf die eurasische ausübte, wurde die Kruste der Platten verformt und nach oben gedrückt (Wikipedia, Faltengebirge, 2015), der Himalaya wird deshalb auch Faltengebirge genannt (Wikipedia, Himalaya, 2015). Die indische Platte driftet bis heute noch mit starker Kraft, sodass der Himalaya um bis zu zwei Zentimeter im Jahr wächst. Außerdem gibt es in den Regionen des Himalayas häufig Erdbeben (Mommson, Gebirge ó Himalaya, 2015).

2.1.3 Vegetation

Die Bewaldung ist unterschiedlich ausgeprägt, abhängig von ihrer Höhenlage. In der niedrigsten Höhenzone, dem Terrai, liegen die primären Urwälder, darüber die Stufe der Laubwälder. Ab einer Höhe von 3000 Metern befindet sich die Nadelwaldstufe, die bis zu 3600 Meter im Westen und 4000 Meter Höhe im Osten reicht. Ab dieser Höhe findet man keine Bäume mehr vor, es folgt die Zwergstrauchzone, darüber liegen die alpinen Matten. Auf höchster Ebene liegt die hochalpine Zone (Geowissen, Vegetationszonen des Himalayas, Jahr unbekannt), die Fläche ist weitgehend schneebedeckt, und das Nährgebiet der Gletscher befindet sich hier (Wikipedia, Höhenstufe (Ökologie), 2015).

2.2 Vergletscherung in verschiedenen Regionen

Im Himalaya-Gebirge findet man abgesehen von den Polarregionen die größten Gebirgsgletscher der Erde vor. Insgesamt beträgt die Anzahl der Gletscher rund 38.000, was eine Fläche von 35.000 km² ausmacht (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Ein Gletscherinventar, welches vor allem topographische Eigenschaften wie die Fläche, die Länge, den Höhenbereich und die Exposition der Gletscher beschreibt, ist aufgrund verschiedener Faktoren im Himalaya bisher nicht hundertprozentig messbar: Es gibt zwar Initiativen, wie beispielsweise das *International Centre for Integrated Mountain Development* (ICMOD), welche Gletscherinventare aufstellen, doch auch diese müssen immer wieder korrigiert werden. Grund hierfür sind zum Beispiel Gletscherzungen, die mit Schutt bedeckt sind und somit auf den Satellitenbildern schwer erkennbar sind (Lozán, Das Eis der Erde, 2015). Einen groben Überblick kann man sich trotz dieser Ungenauigkeiten über die Verteilung der Gletscher verschaffen: Denn die Größe der Vergletscherung ist sehr unterschiedlich in den verschiedenen Regionen des Himalayas verteilt. Im Karakorum gibt es die meisten und zugleich größten Gletscher, sie strecken

sich bis auf eine Höhe von 2300 Metern hinunter. Weiter südlich findet man eine deutlich geringere Vergletscherung in den Tälern vor. In Nepal und im Osten beginnt diese erst ab einer Höhe von 5000 Metern. Westlich von Nepal, in der Region Garhwal, nimmt die Vergletscherung zu, dennoch ist sie deutlich geringer als im Karakorum. Noch weiter westlich, im Bezirk Ladakh, ist die Vergletscherung jedoch wieder gering, was mit dem trockenen Klima und der hohen Sonneneinstrahlung zusammenhängt (Seyfferth, Gesamtübersicht über den Himalaya, 2006). Der größte Gletscher im Himalaya-Gebiet ist der Siachen-Gletscher, ebenfalls bekannte und größere Gletscher sind der Gangotrie-Gletscher, der Yamunotri-Gletscher und der Biafo-Gletscher (Wikipedia, Himalaya, 2015).

2.3 Gletscherrückgang

Neben dem Problem der Ungenauigkeiten der Gletscherinventare, ist eine weitere Problematik, dass bisher noch keine langfristigen Daten über die Flächenänderungen im gesamten Himalaya-Gebirge verfügbar sind, sodass Entwicklungsstatistiken wenig aussagekräftig sind. Über einzelne Gletscher allerdings gibt es aber brauchbare Messungen, die einen Zeitraum von über hundert Jahren beinhalten. Aus diesen Messungen kann man auf die Gesamt-Entwicklung des Himalayas schließen (Lozán, Eis der Erde, 2015). Untersuchungen der beobachteten Gletscher zeigen die Tendenz zum Rückgang der Gletscherzungen und somit auch ihrer Gletscherfläche. Die Verringerung der Gletscher ist aber sehr unterschiedlich ausgeprägt in den verschiedenen Regionen. Während im Karakorum mehr als die Hälfte der Gletscher zwischen 2000 und 2008 keine Veränderungen oder sogar Erweiterungen zeigten, gab es im Norden Zentral-Himalayas und im Westen des Himalayas bei 79-86 % der Gletscher einen deutlichen Rückzug (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Den Unterschied kann man gut an den beiden Gletschern Gangotrie-Gletscher und Siachen-Gletscher sehen.

Der Siachen-Gletscher erstreckt sich im Südosten des Karakorum-Gebirges. Seine Länge beträgt 74 Kilometer und ist somit abgesehen von den Polargebieten der zweitgrößte Gletscher der Welt nach dem Fedtschenko-Gletscher im Pamir.

Der Siachen ist zeitweise sogar vorgedrungen, zwischen 1862 und 1909 rückte er um 700 m vorwärts, zwischen 1929 und 1958 ging er allerdings wieder um 400 m zurück. Die letzten 50 Jahre veränderte sich die Gletscherzunge nicht (Kasang, Gletscher in Asien, 2014).

Der Gangotrie-Gletscher im Zentral-Himalaya westlich von Nepal, mit einer Länge von 30 Kilometern, hat sich hingegen bis zum Jahr 2000 stark zurückgezogen, wie man in Abbildung 2 erkennen kann. Durchschnittlich verlor er bis dahin 20 Meter pro Jahr (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Insgesamt zeigt der Gletscher einen Rückgang von mehr als 850 Metern (Treffeisen, Lässt der Klimawandel die Himalaya-Gletscher schmelzen, Jahr unbekannt). In Abbildung 2 kann man erkennen, dass sich zwischen 1971 und 2001 der Gletscher besonders stark zurückgezogen hat, denn er weist in nur vierzig Jahren einen ungefähr halb so großen Rückzug auf wie in den 155 Jahren von 1780 bis 1935. Insgesamt zog er sich relativ kontinuierlich zurück (Abbildung 2). Ab 2000

verlangsamte sich der Rückzug jedoch erheblich, bis er zwischen 2007 und 2009 ganz aufhörte und der Gletscher keine Veränderungen zeigte (Kasang, Gletscher in Asien, 2014).



Abbildung 1: Rückgang des Gangotrie-Gletschers von 1780 bis 2001

Was genau könnte der Grund dafür sein, dass der Siachen-Gletscher sich nicht so stark zurückzog wie der Gangotrie-Gletscher und zeitweise sogar noch weiter vorstieß?

Die Eisschmelze hängt auch mit der Dicke der Schuttbedeckungen zusammen. Im Karakorum, wo auch der Siachen liegt, befindet sich bei vielen Gletschern eine dicke Schuttbedeckung von mehreren Dezimetern bis Metern im unteren Teil der Gletscher. Dies sorgt für Isolierung, das Schmelzen wird größtenteils verhindert. Sind die Schuttbedeckungen jedoch sehr dünn, erwärmen sich diese, was zur Folge hat, dass mehr Wärme in das Eis transportiert wird; die Eisschmelze wird erhöht (Lozán, Eis der Erde, 2015). Dies könnte der Grund für die unterschiedliche Flächenänderung sein. Ein Problem: Unter der Schuttbedeckung verändert sich teilweise das Volumen, ohne dass eine sichtbare Veränderung der Gletscherzunge zu sehen ist (Lozán, Eis der Erde, 2015).

2.3.1 Gletschermassenbilanz

Deshalb ist zur Analyse der Entwicklung der Gletscher auch die Messung der Massenbilanz gut geeignet. Diese beschreibt die Differenz zwischen der Akkumulation (Massenzufluss) und der Ablation (Massenabfluss) des Gletschers über einen bestimmten Zeitraum. Ist die Massenbilanz positiv, so gibt es einen Vorstoß, ist sie negativ, so gibt es einen Rückzug des Gletschers. Bei ausgeglichener Massenbilanz ist der Gletscher im Gleichgewicht mit dem Klima (Wikipedia, Massenbilanz (Glaziologie), 2015).

Die Gesamtbilanz der Gletscher Himalayas zeigt eine Abnahme der Masse seit den 1960ern. Verglichen mit anderen Gletscherregionen liegt diese jedoch eher im mittleren Bereich, die Antarktis und Patagonien zeigen deutlich größere Verringerungen der Masse auf. In Europa hingegen gibt es teilweise sogar eine Zunahme der Masse (Kasang, Gletscher in Asien, 2014 -> Diagramm).

Doch was genau sind die Ursachen und Hintergründe des Rückzuges und der Abnahme der Masse der Gletscher? Vor allem stellt sich natürlich die Frage, welche Rolle der Klimawandel in dieser Hinsicht spielt und inwiefern er für den Gletscherrückgang verantwortlich ist.

2.4 Klimawandel: Ursache der Gletscherschmelze?

Zunächst einmal wird das Klima allgemein in der Himalaya-Region betrachtet und Besonderheiten dargestellt:

Wie die Gletscherverteilung ist auch das Klima sehr unterschiedlich im Himalaya-Gebirge, denn der Himalaya dient als Klimascheide zwischen dem Subkontinent Indien und Tibet in China: Im Norden des Himalayas ist es daher sehr trocken, da die feuchten Monsunwinde des Südens von der Gebirgskette nicht durchgelassen werden, im Süden ist es wiederum relativ warm, da auch die kühlen Nordwinde nicht durch das Gebirge nach Süden gelangen (Mercatpress, Klima im Himalaya, Jahr unbekannt). Deshalb unterscheiden sich auch die Temperatur und die Niederschläge je nach Region; die Temperatur ist außerdem je nach Höhenlage unterschiedlich. Doch wie hat sich das Klima in der letzten Zeit verändert?

Die Abnahme der Massenbilanz weist auf Einwirkungen gegenwärtiger Klimaänderungen hin. Das würde bedeuten, dass tatsächlich der Klimawandel eine Ursache für den Gletscherschwund wäre. Schaut man sich die Temperaturveränderung der letzten Jahrzehnte an, so sieht man einen Anstieg der durchschnittlichen Temperatur. Zwischen den Jahren 1906 und 2005 nahm der Durchschnittswert der Temperatur in Tibet (Norden des Himalayas) dreimal so stark zu wie der globale Mittelwert; ab den 1950ern gab es eine Erwärmung von mehr als einem Grad Kelvin (Treffeisen, Lässt der Klimawandel die Himalaya- Gletscher schmelzen, Jahr unbekannt). Am höchsten ist die Temperaturzunahme in der Höhe von 4800 bis 6200 Metern. Hier findet die Ablation vieler Gletscher statt. Aber nicht nur die Temperaturen haben sich im Laufe der Zeit verändert, sondern auch die Niederschläge, die durch die atmosphärische Zirkulation beeinflusst werden. Die Niederschläge im Süden und Osten, die durch den indischen Monsun beeinflusst werden, haben sich verringert, die im Norden und Westen durch die Westwinddrift transportierten Niederschläge hingegen erhöht (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Dies kann eine weitere Erklärung für den unterschiedlich ausgeprägten Gletscherrückzug sein. Die Ursachen der Klimaänderungen sind sehr vielschichtig. Zum einen sind die vom Menschen verursachten Treibhausgase, die den natürlichen Klimawandel verstärken, für die globale Erwärmung verantwortlich, andererseits spielen auch andere Faktoren und Kreisläufe eine wichtige Rolle, wie die Eis-Albedo-Rückkopplung. Albedo beschreibt

das Rückstrahlvermögen des Sonnenlichts. Eis und Schnee reflektieren bis zu 90 Prozent der Sonneneinstrahlung, sie haben deshalb eine hohe Albedo. Dunklere Flächen, wie Böden und Wasser, haben eine sehr geringe Albedo, sie absorbieren 80 bis 90 Prozent der Strahlen, was zur Folge hat, dass sich die unteren Luftschichten erwärmen. Der Eis-Albedo-Effekt ist also ein Kreislauf, denn durch die Erwärmung schmilzt weiteres Eis und weiterer Schnee, wodurch wieder mehr Sonnenstrahlen absorbiert werden (Kasang, Eis-Albedo-Rückkopplung, 2015). Welche wichtige Funktion die Gletscher im Himalaya aufgrund ihrer hohen Albedo auf die Klimatemperatur haben, wird in Abbildung 3 sehr deutlich: In Experiment A ist die Oberflächentemperatur auf der Erde zu sehen, wenn alle Faktoren ó Eis und Schnee; Wolken; Ozean; Atmosphäre: CO₂- und Wasserkreislauf ó berücksichtigt werden, in Experiment B, wenn all diese Faktoren außer die Eis- und Schneebedeckung miteinbezogen werden. In Experiment B sieht man also, wie das Klima ohne Eis und Schnee wäre: Die globale Durchschnittstemperatur wäre mit 17 Grad um 1,4 Grad wärmer. Genau erkennen kann man den Unterschied jedoch an diesem Abbild nicht; wenn man sich aber die Differenz der beiden Experimente anschaut, so sieht man, in welchen Gebieten die Eis- und Schneebedeckung welchen Effekt hat. Hierbei fällt auf, dass im Bereich des Himalaya-Gebirges eine große Fläche dunkelblau gefärbt ist, was eine Temperatur von minus 5 Grad Celsius bedeutet. Das heißt, dass die Eis- und Schneebedeckung ó und somit auch die Gletscher ó die Temperatur im Himalaya deutlich senken.

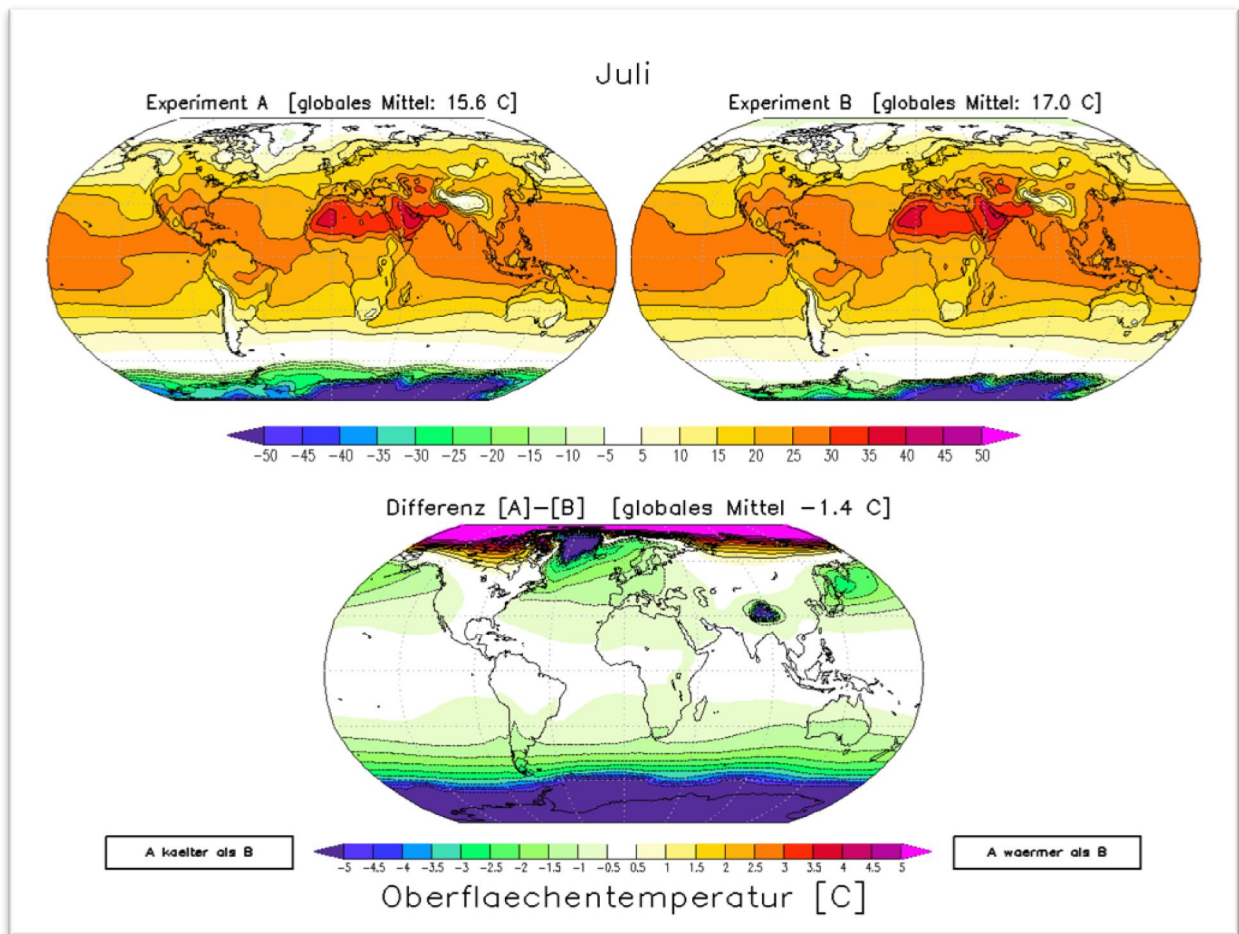


Abbildung 2: Monash-Klimamodell: Experiment A: alle Faktoren; Experiment B, alle Faktoren außer Eis und Schnee; untere Weltkarte zeigt die Differenz an

2.4.1 Prognose für die Zukunft

Es ist schwierig zu berechnen, wie das Klima in den nächsten Jahrzehnten aussehen wird. Nach der Berechnung des IPCC wird sich die Temperatur um 3,7 Grad Celsius in Zentralasien und um 3,8 Grad Celsius in Tibet erhöhen. Diese Werte liegen höher als das globale Mittel, Grund dafür ist die zuvor beschriebene Eis-Albedo-Rückkopplung. Außerdem sollen die Niederschläge zukünftig häufiger in Form von Regen als von Schnee fallen. Im Winter werden die Niederschläge voraussichtlich um vier % steigen, im Sommer allerdings um 13 % nachlassen (Kasang, Gletscher in Asien, 2014).

Eine Temperaturerhöhung zeigt auch die Klimakarte des Himalayas (Abb.4). Diese beschreibt die Temperaturdifferenz der durchschnittlichen Temperaturwerte 1971 bis 2000 und 2071 bis 2000. Man kann also anhand der Karte grob bestimmen, in welcher Region sich die Temperatur um wieviel Grad erhöhen/senken wird. Auffallend ist erstmal, dass die Temperatur überall steigen wird. Östlich des Himalaya-Gebirges, vor allem im Osten Indiens, im Norden Myanmars und in Südchina, ist die geringste Erwärmung zu erkennen, die aber immerhin um die 3° C beträgt. Die rot markierte Fläche zeigt eine Temperaturerhöhung von über 6 °C. Sehr auffällig ist, dass diese Fläche an den Punkten liegt, wo sich auch das Himalaya-Gebirge befindet, nämlich vor allem im Norden Nepals und Süden Chinas, sowie im Karakorum (Norden Indiens). Das würde bedeuten, dass die Gletscher sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts stark zurückziehen werden. Denn mit jedem Grad der Erwärmung verschiebt sich die Schneegrenze um 150 m weiter nach oben. (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Allerdings muss hier noch einmal betont werden, dass es sich um eine grobe Tendenz handelt.

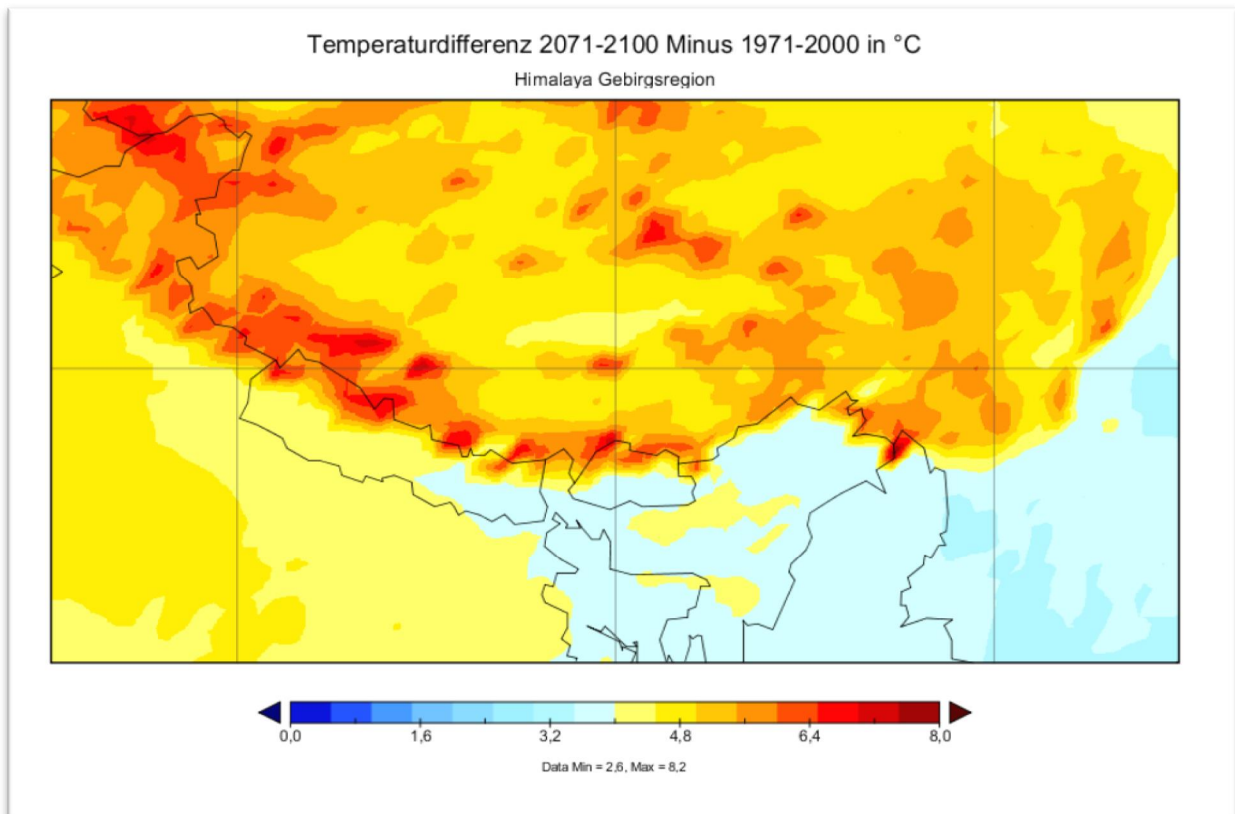


Abbildung 3: Klimakarte des Himalayas mit dem Visualisierungsprogramm Panoply der NASA

2.5 Folgen und Auswirkungen

Im Folgenden wird untersucht, welche Folgen das Schmelzen der Gletscher auf die Umwelt und die Bevölkerung hat, beziehungsweise welche Auswirkungen es geben wird, wenn sich die Gletscher weiterhin so zurückziehen. Dabei wird auf die Problematiken der Überschwemmung, des Meeresspiegelanstiegs, des anschließenden Trinkwassermangels und der entstehenden Wirtschaftsschäden eingegangen.

2.5.1 Überschwemmungen

Unmittelbar mit der Gletscherschmelze ist die Gefahr der Überschwemmungen verbunden. Indem die Gletscherseen durch das abfließende Schmelzwasser einen höheren Wasserstand erreichen, drohen die Ränder der Seen wegzubrechen, was zur Folge haben würde, dass Täler überschwemmt und somit Dörfer zerstört werden würden. Nach Stand 2014 haben im Himalaya 44 Gletscherseen einen hohen Pegelstand und drohen bei weiterer Gletscherschmelze zu überfluten (Greenpeace, Berge ohne Eis, Jahr unbekannt).

2.5.2 Meeresspiegelanstieg

Die Gletscherschmelze des Himalayas leistet auch einen Beitrag zum weltweiten Meeresspiegelanstieg. Würde insgesamt das ganze Gletschereis schmelzen, würde dies einen Anstieg des Meeresspiegels von 5 bis 11 mm ausmachen (Lozán, Eis der Erde, 2015). Zum Vergleich: Von 1993 bis 2010 stieg der Meeresspiegel global durchschnittlich um 3,2 mm pro Jahr, seit 2010 liegt der Anstieg schon bei 4,49 mm pro Jahr (Kasang, Regionaler Meeresspiegelanstieg, 2015; Kasang, Aktueller Meeresspiegelanstieg, 2015). Der Anteil der schmelzenden Gletscher im Himalaya ist demnach nicht so hoch wie der Anteil anderer Faktoren. Dennoch ist der Anstieg eine große Gefahr für die Bevölkerung auf der ganzen Welt, denn allein die Hälfte aller Menschen lebt in Küstenregionen. In Indien und Bangladesch liegt ein besonderes Problem darin, dass die angebauten Reisfelder durch den Meeresspiegelanstieg versalzen werden: „Ein Anstieg des Meeresspiegels um einen Meter würde 17 Prozent der Fläche Bangladeschs überfluten. Die Hälfte der Ackerfläche wäre betroffen – in einem der ärmsten Länder der Welt.“ (Greenpeace, Alarm für die Gletscher, 2006) Eine weitere Gefahr durch den Anstieg zeigte sich bereits in Thailand, Israel, Vietnam und China: durch das Eindringen des Meerwassers in das Grundwasser bzw. Oberflächenwasser gab es eine Versalzung des Trinkwassers (Greenpeace, Alarm für die Gletscher, 2006).

2.5.3 Bedrohte Trinkwasserreservoirs

Doch nicht nur der Meeresspiegelanstieg bedroht die Trinkwasserressourcen. Langfristig gesehen wird auch durch das fehlende Gletscherwasser die Trinkwasserversorgung ein großes Problem werden: 500 bis 600 Millionen Menschen (Greenpeace, Berge ohne Eis, Jahr unbekannt) in der Himalaya-Region, vor allem in den Staaten Pakistan, Nepal, Bhutan, Indien und Bangladesch (Bildungsserver Wiki, Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, 2014), sind von den Gletschern des Himalayas abhängig,

denn diese speisen zehn der größten Flüsse des Kontinents (Bildungsserver Wiki, Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, 2014). Diese sind der Ganges, der Mekong, der Indus, der Brahmaputra, der Jangtse, der Hwangho, der Irrawaddy, der Salween, der Tarim und der Amu Darya. Auch die Nebenflüsse des Indus, des Ganges und des Brahmaputras werden zu 45 Prozent durch das Schmelzwasser der Gletscher gespeist (Trefflein, Lässt der Klimawandel die Himalaya-Gebirge schmelzen, Jahr unbekannt). Dem Indus und dem Ganges selbst bringen die Gletscher 70 Prozent des Sommerabflusses. Wegen dem großen Anteil an der Wasserversorgung trägt das Himalaya-Gebirge auch den Namen Wasserschloss Asiens (Bildungsserver Wiki, Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, 2014).

Aber auch nördlich des Himalaya-Gebirges wäre die Folge des Ausbleibens der Schmelzwasser fatal: In den vor den Hochgebirgen liegenden Becken der Staaten Kasachstan, Kirgistan, Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan und auch des Nordwesten Chinas herrscht ein sehr trockenes Klima. Nur durch die Möglichkeit der Gletscher, das Wasser der Niederschläge zu speichern, ist die Trinkwasserversorgung möglich (Bildungsserver Wiki, Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, 2014).

2.5.4 Wirtschaftsschäden

Auch für die Wirtschaft hat das Schmelzwasser der Gletscher eine wichtige Bedeutung. Zum Beispiel für die Kühlung in Industrien ist das Wasser ein wichtiger Rohstoff. (Bildungsserver Wiki, Wirtschaftliche Folgen für Entwicklungsländer, 2015) Auch für die Landwirtschaft in Mittelasien stellt der Gletscherrückgang eine Gefahr dar, denn der Baumwollanbau benötigt eine Bewässerung der fast gesamten Fläche und verbraucht bis zu 90 Prozent der Wasserreserven (Bildungsserver Wiki, Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, 2014).

2.6 Schutzmaßnahmen

Über Maßnahmen, die den Gletscherschwund stoppen oder vor den Folgen der Gletscherschmelze schützen könnten, findet man relativ wenige Informationen. Insgesamt wird die Situation der Gletscher im Himalaya vom indischen Umweltministerium auch nicht als besonders bedrohlich angesehen (Kasang, Gletscher in Asien, 2014). Denn aktuell ist von den negativen Auswirkungen wenig zu sehen. Es gibt allerdings Schutzmaßnahmen, die vor den Überschwemmungen der Gletscherseen (siehe 2.5.1 Überschwemmungen) Schutz verschaffen sollen: Programme wurden eingeführt, um die gefährdeten Gletscherseen zu beobachten, um Wassermengen an bestimmten Stellen abfließen zu lassen und die Anwohner des Gebietes zu warnen (Benn, Himalaya: Trinkwassermangel, 2009). Das Problem von Schutzmaßnahmen sind die hohen Kosten, die die in der Himalaya-Region liegenden Entwicklungsländer nur schwer übernehmen können. Dabei trifft der Klimawandel allgemein die Entwicklungsländer am schlimmsten (Bildungsserver Wiki, Wirtschaftliche Folgen für Entwicklungsländer, 2015).

Abschließend kann man festhalten, dass die Himalaya-Gebirgskette in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Rückzug zeigte und bei weiterer Gletscherschmelze langfristig gravierende Auswirkungen entstehen werden, gegen die bisher nur wenige Schutzmaßnahmen unternommen wurden.

3 Kilimandscharo

3.1 Allgemeine Informationen

3.1.1 Geographische Einordnung

In Ostafrika, ungefähr 350 km südlich vom Äquator, ist das Kilimandscharo-Massiv zu finden. Das Gebirge liegt im Nordosten von Tansania, an der Grenze zu Kenia. Das Massiv erstreckt sich über eine Fläche von rund 80 x 60 km; es ist das höchste in ganz Afrika. Der Kibo (Uhuru Peak), mit einer Höhe von 5895m, ist der höchste Gipfel im ganzen Kilimandscharo-Massiv und auch der Höchste in ganz Afrika. Zwei weitere bedeutende Gipfel, die wie der Kibo erloschene Vulkangipfel sind, befinden sich im Kilimandscharo-Massiv: der Mawensi, mit einer Höhe von 5270m, und der Schira, der eine Höhe von etwa 4000m aufweist. Das Umland ist mit 750 ó 1000 m Höhe erheblich niedriger.

3.1.2 Geologie

Der Kilimandscharo ist vulkanischen Ursprungs mit einer typischen Schichtvulkanstruktur. Er entstand durch das sich über die Zeit aufschichtende, verhältnismäßig kalte, austretende Magma. Der letzte Ausbruch wird vor etwa 315 Jahren vermutet, ist jedoch noch nicht zweifelsfrei wissenschaftlich erwiesen. Seither ist er von niedriger vulkanischer Aktivität. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass der Kilimandscharo irgendwann wieder ausbrechen wird. Das Kilimandscharo-Massiv befindet sich auf der Grabenschulter des ostafrikanischen Grabenbruchsystems, was durch die Abspaltung der Arabischen Platte von der Afrikanischen Platte entstanden ist und sich von Ostafrika nach Südwestasien erstreckt.

Das Massiv wird auf ungefähr zwei bis drei Millionen Jahre geschätzt.

3.1.3 Flora und Fauna

Die Flora und Fauna des Kilimandscharo ist in verschiedene Zonen einzuteilen, die durch Höhenunterschiede und damit durch Temperatur- und Witterungs-unterschiede, sowie verschiedene Boden-qualitäten geprägt sind. Die Kulturzone, oder das Buschland, ist die unterste Zone, sie erstreckt sich auf einer Höhe von 800m bis 1800m Höhe.



Abb. 5: Erikapflanze

Der größte Teil der Flora und Fauna dieser Zone wurde von Farmland verdrängt, da der vulkanische Boden sehr fruchtbar ist. Ausschließlich an den Nord- und Westhängen, die im Niederschlagschatten des Kilimandscharo liegen, ist ursprüngliche Vegetation von Wildsträuchern zu finden. In dieser Zone findet man verschiedenste und zahlreiche Tierarten, insbesondere Vogel- und Affenarten. In einer Höhe von 1800m bis 2800m ist die Regenwaldzone oder auch Bergwaldstufe vorzufinden. Diese Zone besteht aus üppigem, dichtem Regenwald, der durch eine Vielzahl von Pflanzenarten geprägt ist, die nur hier zu finden sind. Die Tierwelt in dieser Zone ist ebenfalls sehr vielfältig. Begibt man sich in eine noch höherliegende Zone des Kilimandscharo, kommt man in die Heide- und Moorlandschaft, die sich in einer Höhe von 2800m bis zu 4000m befindet. Insbesondere bei dieser Zone ist der Übergang zur Regenwaldzone sehr breit und somit eine klare Einteilung der Zonen schwierig. In der Heide- und Moorlandschaft ist überwiegend das Erikagewächs vorzufinden, ein immergrünes Strauchgewächs. Da in dieser Zone die Temperaturen schon deutlich niedriger sind, als in der Regenwaldzone, sind nur noch vereinzelt Bäume zu finden; im oberen Teil der Zone sind keine Bäume mehr vorhanden.

Nun folgt die alpine Wüste, die sich in einer Höhe von 4000m bis 5000m erstreckt. Durch hohe Temperaturschwankungen und vor allem kalte Nächte, ist keine Pflanzenvielfalt in dieser Zone vorzufinden. Vereinzelte Flecken von Gräsern, Moosen und Flechten, sind die einzige Vegetation dieser Zone.

Die oberste Zone des Kilimandscharos ist die Gipfelzone. Hier geht die Temperatur fast nie über den Gefrierpunkt hinaus, so dass in dieser Zone keine Tiere leben. Vegetationen sind ebenfalls kaum vorhanden. Nur die widerstandsfähigsten Flechten können in dieser Zone überleben.

Der Kilimandscharo ist durch seine verschiedenen Zonen, die so unterschiedliche Lebensräume für Tiere und Pflanzen bilden, ein sehr artenreiches Naturgebiet.

3.2 Kilimandscharo im Klimawandel

3.2.1 Klima des Kilimandscharo

Das Klima des Kilimandscharo ist von einem starken Jahresgang geprägt. Im Verlauf des Jahres wechseln sich trockene mit regenreichen Perioden ab. Im Januar und Februar ist eine Trockenzeit, von März bis Mai fällt hingegen viel Regen und die Temperaturen steigen. Im Sommer, von Juni bis September, ist wieder eine Trockenzeit und von Oktober bis Dezember wird es erneut feuchter. Natürlich sind bei der Bestimmung des Klimas des Massivs die verschiedenen Höhenunterschiede zu berücksichtigen. Allgemein kann festgehalten werden, dass mit zunehmender Höhe, Temperatur und Niederschläge abnehmen.

Das umgebende Klima des Kilimandscharo-Massivs ist typisches Savannenklima: bis auf die Regenzeiten trocken und heiß.

3.2.2 Klimadaten und Auswertung

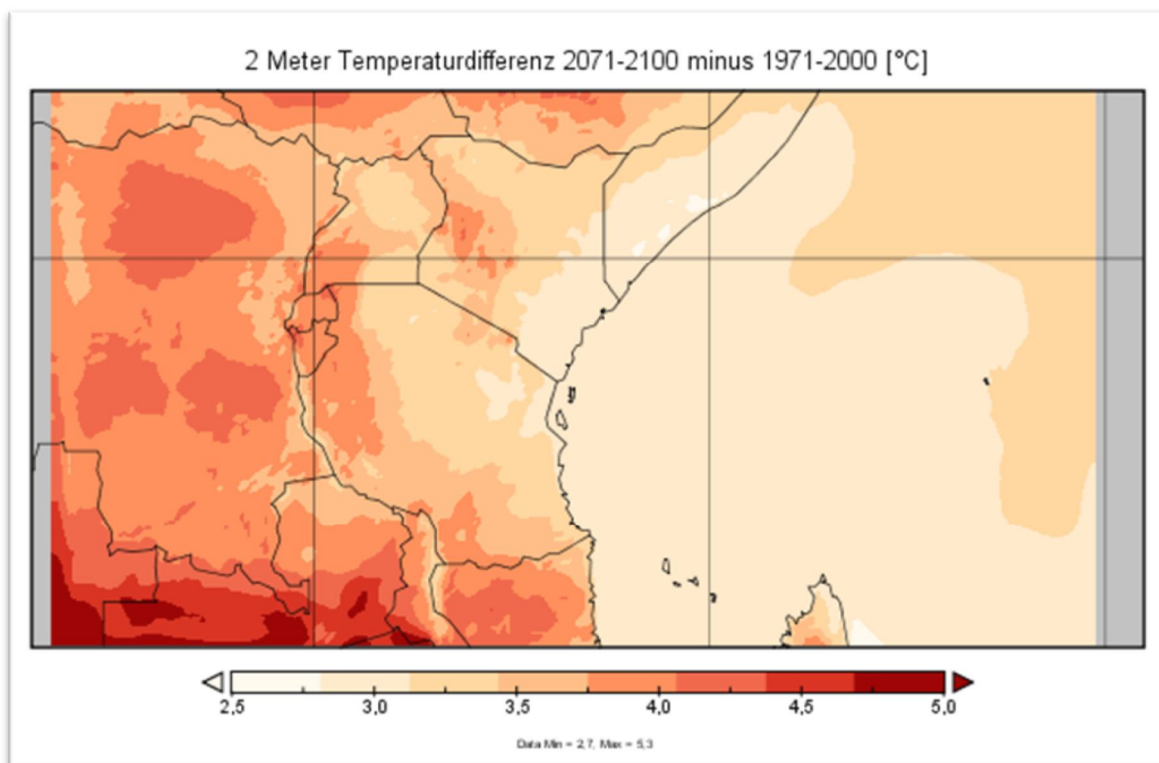


Abbildung 4: Klimakarte des Kilimandscharo mit dem Visualisierungsprogramm Panoply der NASA, Szenario A1B

Die vorliegende Klimakarte (siehe Abb. 4) zeigt die vorhergesagte Temperaturdifferenz zwischen dem Mittelwert vom Jahre 2071 bis 2100 und dem Mittelwert zwischen den Jahren 1971 bis 2000. Je dunkler der Rotton, desto stärker ist die Erwärmung.

Bei einem ersten Blick auf die Klimakarte fällt die unterschiedlich große Temperaturzunahme im Bereich des Festlands und des Meeres auf. Diese Differenz ist durch die hohe Wärmekapazität des Wassers zu erklären. Allgemein kann man in Tansania und Kenia eine Erwärmung von 3,0°C bis 4,0°C feststellen. Vereinzelt sind kleine Flecken zu sehen, wo sogar eine Erwärmung von 4,5°C stattfindet. Dort, wo etwa der Kibo-Gipfel des Kilimandscharo zu finden ist, ist eine Erwärmung von 4,3°C festzustellen, also eine eher starke Erwärmung im Vergleich zum Umfeld. Erklären ließe sich dies dadurch, dass meteorologisch beobachtbar ist, dass in den Tropen in tieferen Lagen eine schwächere Erwärmung stattfindet als in höheren Lagen.

Der Erwärmungsprozess verstärkt sich zusätzlich durch den Eis-Albedo Effekt. Die Albedo gibt an, wie die Erdoberfläche je nach Helligkeit und Bodenstruktur mehr oder weniger Sonnenwärme reflektiert. Die Erwärmung ist dadurch nicht überall gleich stark. Der Eis-Albedo-Effekt im Besonderen beschreibt die Tatsache, dass ein schmelzender Gletscher die Sonnenenergie zunehmend weniger stark reflektiert, was zu einem noch schnelleren Abschmelzen führt; ein sich selbst verstärkender Prozess.

Es muss allerdings beachtet werden, dass die Klimakarte in Raster eingeteilt ist und die jeweilige durchschnittliche Erwärmung dieses Rasters verwendet wird. Nicht auszuschließen ist also, dass es in den einzelnen Punkten zu noch stärkerer Erwärmung kommt. Auch ist der Mittelwert aus 2071 bis 2100 eine Prognose und keine Messung. Was trotz der annähernden Werte festgestellt werden kann, ist, dass die Temperaturen im Kilimandscharo, bei gleichbleibenden Bedingungen, ansteigen.

3.2.3 Gletscher des Kilimandscharo

Die Eisdecke des Kilimandscharo ist in drei Teilgebiete einzuteilen. Das größte Gletschergebiet ist das nördliche Eisfeld. Ursprünglich war dieses Eisfeld ein Plateaugletscher, der durch Schmelze erstmals 2012 in zwei Einzelteile getrennt wurde. Etwas kleiner ist das südliche Eisfeld, das ebenfalls aus mehreren Einzelgletschern besteht. Einige der Teilgletscher reichen als Hanggletscher weit herab. Das kleinste Teilgebiet ist das östliche Eisfeld. In Abbildung 11, die den Gletscherrückgang zeigt, kann man die drei Eisfelder des Gletschers gut erkennen. Der Kilimandscharo-Gletscher ist durchaus eine Besonderheit unter den tropischen Gletschern, da er Plateaugletscher und Hanggletscher kombiniert.

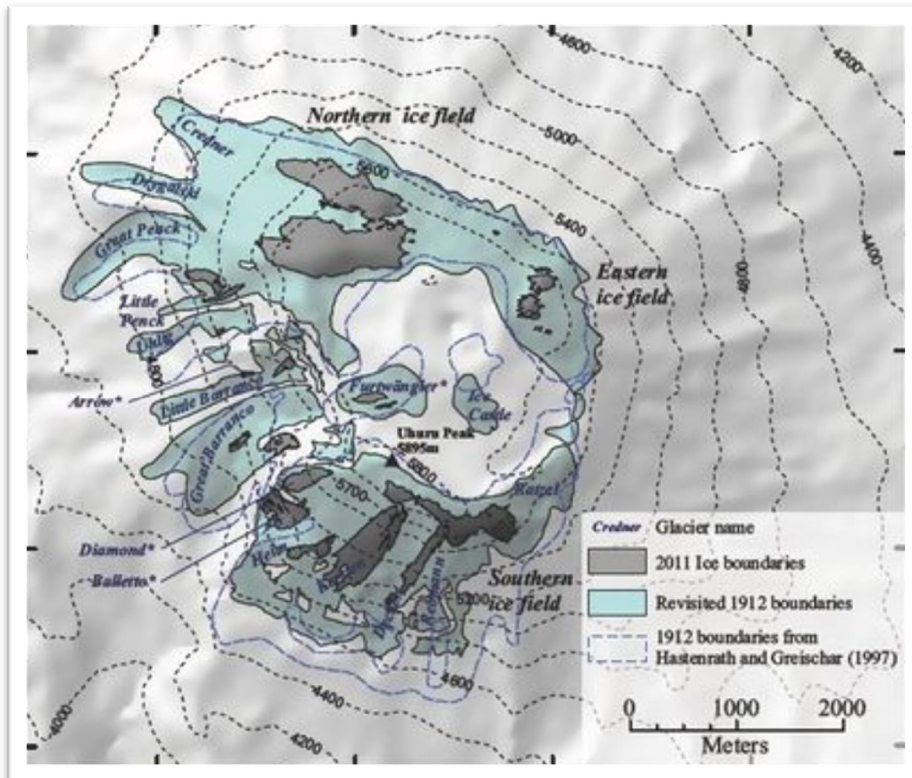


Abbildung 5: Darstellung des Gletscherrückgangs des Kilimandscharo von 1912 bis 2011

3.2.4 Gletscherschmelze



Abbildung 6: Darstellung des Gletscherrückgangs auf dem Kilimandscharo von 1912 bis 2011

Seit ungefähr 12.000 Jahren ist der Gipfel des Kilimandscharo mit Eis bedeckt. Doch dieses ist in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Während es 1880 auf etwa 20 km² geschätzt wurde, verlor es an Größe und wies 1912 nur noch eine Gesamtfläche von 11,4 km² auf. 2011 waren nur noch rund 15% der ursprünglichen Gletscherfläche übrig. Sie betrug eine Größe von 1,76 km². In Abbildung 6 wird dies sehr deutlich. Zwischen den Jahren 2000 bis 2007 nahm die Eisfläche relativ um 5% pro Jahr ab. Von 1912 bis 1953 nahm die Eisfläche hingegen nur 1% jährlich ab. Vor allem das südliche Eisfeld hat in den Jahren 2000 bis 2007 an 5,1 m Dicke verloren. Das nördliche Eisfeld nahm um knappe 2 m

in der Dicke ab. Durch das rasante Abschmelzen des Gletschers sind fast alle früheren Hanggletscher der Südwestseite des Kilimandscharo verschwunden. Forscher, darunter beispielsweise der amerikanische Gletscherforscher Lonnie Thompson, schließen nicht aus, dass unter gleichbleibenden Bedingungen der Gletscher in ein, spätestens zwei Jahrhunderten gänzlich verschwunden sein wird.

3.3 Diskussion der Gletscherschmelze

3.3.1 Ursachen

Welche Ursache das rasante Schmelzen des Gletschers herbeiführt, ist nicht zweifelsfrei festzustellen. Viele Forscher sehen den Klimawandel als Ursache, da andere tropische Gletscher, in den Anden und Neu-Guinea, gleiche Veränderungen aufweisen. Der Klimawandel könnte somit als gemeinsame Ursache eine Erklärung liefern. Thompson plädiert ebenfalls für diese Begründung. Er ist überzeugt, dass der Klimawandel einen entscheidenden Faktor für das Abschmelzen der Gletscher darstellt. Andererseits finden, unabhängig vom Klimawandel, Veränderungen der Meeresströmungen und Wassertemperaturen statt. So herrscht seit etwa Ende des 19. Jahrhunderts in Ostafrika ein trockenes Klima vor. Dieses wurde durch die Änderung der Meeresoberflächentemperatur des Indischen Ozeans herbeigeführt. Die Änderungen sorgten dafür, dass Ostwinde und damit der Feuchtigkeitstransport nach Ostafrika abnahmen. Die Folge war verminderter Schneefall, der auch den Gletscherzuwachs verringerte.

Georg Kaser nennt ein weiteres Argument, das gegen den Klimawandel als Ursache spricht. Er hebt hervor, dass die Plateaugletscher des Kilimandscharo an senkrechten Wänden abbrechen und dadurch eine Eiskante in Höhe von bis zu 40 m entsteht, also der Dicke des Gletschers. Diese Gletscherwände sind vor allem im Sommer und Winter starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt und damit einem starken Abschmelzen. Diese Prozesse sind unabhängig von Temperaturunterschieden und damit von der globalen Erderwärmung.

3.3.2 Folgen

Durch die Gletscherschmelze des Kilimandscharo-Massivs sind unzählige Ökosysteme betroffen, die durch starke Veränderungen aus dem Gleichgewicht geraten oder gänzlich zusammenbrechen. Die Bevölkerung Kenias und vor allem Tansanias muss mit den Folgen der Gletscherschmelze zurechtkommen.

Das Abschmelzen von Gletschern bedeutet das Versiegen einer wichtigen Wasserquelle für die dort lebenden Menschen, Tiere und Pflanzen. Gerade beim Kilimandscharo ist dieser Effekt jedoch nicht so erheblich, denn sein Gletscher verliert am meisten Wasser durch Sublimation. Das Wasser gelangt vom festen direkt in den gasförmigen Zustand und fließt somit nicht in flüssiger Form in Bächen ab. Hinzu kommt, dass etwa eine Millionen Menschen in der unteren Regenwaldzone leben, wo der größte Teil der Wasserressourcen durch den Regenwald selbst gedeckt wird. Der Gletscher ist inzwischen zudem so klein, dass bei einer ad hoc kompletten Abschmelze der Eismassen eine

Wassermenge entstehen würde, die lediglich einem starken Regenschauer über der Region gleich kommen würde. Die Dramatik der Entwicklung wird daher nicht von allen Forschern gleich hoch eingeschätzt. Einige sehen das Abschmelzen des Gletschers als deutlich dramatischer als andere.

Ziemlich deutlich hingegen ist, dass das Abschmelzen der Gletscher eine wichtige Einnahmequelle der Bevölkerung zerstören würde. Rund 10.000 Touristen reisen jedes Jahr nach Tansania, um den Gletscher zu bestaunen. Da die Bevölkerung Tansanias sehr arm ist, ist es für diese wichtig eine solche Einnahmequelle nicht zu verlieren.

Der Kilimandscharo, als „Haus der Götter“, spielt außerdem in afrikanischen Mythen eine wichtige Rolle und hat auch eine religiöse Bedeutung. Inwiefern die massive Gletscherschmelze auf kulturelle Faktoren Einfluss nimmt, kann und soll an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

3.3.3 Prognose

Prognosen für die Zukunft zu entwerfen, ist nicht einfach, da Veränderungsprozesse meistens von vielen Faktoren abhängig sind. Ähnlich ist es bei einer Prognose für die Gletscherschmelze des Kilimandscharo. Doch sind sich viele Forscher einig, dass der Gletscher in den nächsten Jahren weiter schmelzen wird. Wie schnell dies geschehen wird und ob der Gletscher bald gänzlich verschwunden sein wird, ist umstritten. Das genaue Einschätzen der vielen Bedingungsfaktoren ist dabei wichtig. Ein wichtiger Faktor ist hierbei sicherlich die Lebensweise und Anzahl der Menschen.

Ein anderes diskutiertes Szenario ist, dass der Klimawandel in den nächsten Jahren für mehr Niederschläge über Ostafrika sorgen könnte. Das Plateauis des Kilimandscharo würde dann wieder um mehrere Meter an Dicke gewinnen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Kilimandscharo in den letzten Jahrzehnten einen großen Teil seines Gletschers verloren hat. Dadurch sind vor allem die einzigartigen Pflanzen und Tiere, die dort ihren Lebensraum haben, betroffen. Für die örtliche Bevölkerung ist vorwiegend der Tourismus gefährdet, wodurch eine wichtige Einnahmequelle des Landes verloren gehen würde. Wasserknappheit würde nur begrenzt auftreten, doch positive Aspekte der Gletscherschmelze konnten jedoch nicht gefunden werden.

Insgesamt scheint der wissenschaftliche Diskurs eher dafür zu plädieren, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass das Eis des Kilimandscharos bald ganz verschwunden sein wird.

4 Vergleich des Himalayas und Kilimandscharos und Fazit

Der Himalaya und der Kilimandscharo liegen auf unterschiedlichen Kontinenten und befinden sich in unterschiedlichen Klimazonen. Dennoch weisen sie einige Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Gletscherschmelze auf.

Beide Gebirge zeigen einen Rückzug der Gletscher in den letzten Jahren, wobei die Kilimandscharo-Gletscher deutlicher zurückgingen: Im Jahr 2011 befand sich nur noch etwa 15 % der ursprünglichen Gletscherfläche auf dem Kilimandscharo (siehe weiter oben). Der Himalaya hat insgesamt auch einen Rückgang der Gletscher zu verzeichnen, in manchen Teilen, wie beispielsweise dem Karakorum, veränderte sich die Gletscherfläche jedoch in den letzten Jahren kaum bzw. nahm sogar zu.

Die Ursachen der Gletscherschmelze sind bei beiden Gletschern nicht eindeutig zu klären. Der Klimawandel könnte zwar ein Grund sein, jedoch ist dies vor allem beim Kilimandscharo umstritten. In beiden Regionen gab es eine Erwärmung der Temperatur; die Gletscher könnten aber laut einigen Wissenschaftlern auch unabhängig von der Klimaänderung schmelzen.

Negative Folgen gibt es sowohl in der Himalaya-Region als auch im Kilimandscharo-Gebiet, beziehungsweise es wird sie bei weiterer Schmelze geben. Allerdings machen sich die Auswirkungen hier in unterschiedlichen Bereichen bemerkbar. Im Himalaya drohen zunächst Überflutungen aufgrund der steigenden Wasserpegel der Gletscherseen, danach besteht die große Gefahr des Brauch- und Trinkwassermangels. Dies würde für mehr als eine halbe Milliarde Menschen, deren Trinkwasserversorgung von den Gletschern abhängig ist, ein riesiges Problem darstellen. Im Kilimandscharo-Gebiet hingegen ist die Gefahr der Trinkwasserknappheit nicht so hoch, denn die meisten dort lebenden Menschen sind von den Wasserressourcen des Regenwaldes abhängig, da das meiste Gletscherwasser sowieso durch Sublimation den Menschen nicht zur Verfügung steht. Das Problem des Gletscherrückganges liegt beim Kilimandscharo mehr im Bereich des Tourismus. Denn diese Branche bietet eine gute Einnahmequelle, die durch den Gletscherschwund verloren gehen würde.

Prognosen zur Entwicklung der Gletscher sind in beiden Gebieten nicht leicht zu bestimmen. Jedoch zeigt sich bei beiden die Tendenz der weiteren Eisschmelze. Deshalb wäre es sicherlich sinnvoll, Gegenmaßnahmen zu ergreifen, beziehungsweise sich auf die möglichen Folgen vorzubereiten. Im Himalaya-Gebirge gibt es einige wenige Schutzmaßnahmen, wie die Beobachtungen der Gletscherseen, jedoch sind bisher keine Lösungsansätze für die zukünftige Trinkwasserversorgung vorhanden. Auch beim Kilimandscharo sind wir auf keine Gegenmaßnahmen gestoßen. Da die beiden Gebirge in Regionen von Entwicklungsländern liegen, sind die hohen Kosten der Gegen- und Schutzmaßnahmen ein großes Problem für die Länder, weshalb es sinnvoll wäre, wenn reiche Industrieländer die Entwicklungsländer unterstützen würden.

5 Literatur- und Abbildungsverzeichnis

Textquellen:

- Bildungsserver Wiki (2014): Wasserprobleme und Klimawandel in Asien, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wasserprobleme und Klimawandel in Asien](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wasserprobleme_und_Klimawandel_in_Asien)
(abgerufen am 13.12.15)
- Bildungsserver Wiki (2015): Wirtschaftliche Folgen für Entwicklungsländer, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wirtschaftliche Folgen f%C3%BCr Entwicklu
ngsl%C3%A4nder](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wirtschaftliche_Folgen_f%C3%BCr_Entwicklungslande) (abgerufen am 14.12.15)
- Benn, Roland (2009): Himalaya: Trinkwassermangel in Asien, unter:
<http://www.merian.de/magazin/himalaya-asien-trinkwasser.html> (abgerufen am 14.12.15-)
- Geowissen: Vegetationszonen des Himalayas, unter: <http://www.everest.cc/geowissen-vegetationszonen.html> (abgerufen am 02.12.15)
- Greenpeace (2006): Alarm für die Gletscher, unter:
<http://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/20061101-Klimawandel-Alarm-fuer-die-Gletscher.pdf> (abgerufen am 13.12.15)
- Greenpeace: Berge ohne Eis: Traurige Aussicht am Kilimandscharo, unter:
<https://www.greenpeace.de/themen/klimawandel/folgen-des-klimawandels/berge-ohne-eis-die-gletscher-schmelzen> (abgerufen am 12.12.15)
- Kasang, Dieter (2015): Aktueller Meeresspiegelanstieg, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Aktueller Meeresspiegelanstieg](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Aktueller_Meeresspiegelanstieg) (abgerufen am 09.12.15)
- Kasang, Dieter(2015): Bildungsserver Wiki ó Gletscher in Afrika, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher in Afrika](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher_in_Afrika) (abgerufen am 13.12)
- Kasang, Dieter (2015): Eis-Albedo-Rückkopplung, unter:
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eis-Albedo-R%C3%BCckkopplung> (abgerufen am 12.12.15)
- Kasang, Dieter (2014): Gletscher in Asien, unter:
[http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher in Asien](http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_in_Asien) (abgerufen am 14.12.15)
- Kasang, Dieter (2015): Gletscher im Klimawandel, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher im Klimawandel](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher_im_Klimawandel) (abgerufen am 14.12.15)
- Kasang, Dieter (2015): Regionaler Meeresspiegelanstieg, unter:
[http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Regionaler Meeresspiegelanstieg](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Regionaler_Meeresspiegelanstieg) (abgerufen am 09.12.15)
- Lozán, José L.; Graßl, Hartmut; Kasang, Dieter; Notz, Dirk; Escher-Vetter, Heidi: Warnsignal Klima: Das Eis der Erde, Hamburg: Verlag Wissenschaftliche Auswertungen, in Kooperation mit GEO, 2015, S. 130 óS.136

- Lozán, José L.; Graßl, Hartmut; Kasang, Dieter; Notz, Dirk; Escher-Vetter, Heidi: Warnsignal Klima: Das Eis der Erde, Hamburg: Verlag Wissenschaftliche Auswertungen, in Kooperation mit GEO, 2015, S.104
- Mercatpress.com: Klima im Himalaya, unter: <http://www.mercatpress.com/klima-im-himalaya.html> (abgerufen am 12.12.15)
- Mommsen, Eva (2015): Gebirge ó Himalaya, unter: <http://www.planet-wissen.de/natur/gebirge/himalaja/pwwbhimalaja100.html> (abgerufen am 09.12.15)
- Patinkin, Jason (2014): Die Welt ó Eiskappe des Kilimandscharo droht zu schmelzen, unter: <http://www.welt.de/wissenschaft/article132017712/Eiskappe-des-Kilimandscharo-droht-zu-schmelzen.html> (abgerufen am 02.12.15)
- Pumba-Reisen: Klima, Flora und Fauna, unter: <http://www.pumba-reisen.de/der-kilimanjaro/klima-flora-und-fauna> (abgerufen am 03.12.15)
- 3sat(2009): 3sat ó Kilimandscharo-der schlafende Vulkan, unter: <http://www.3sat.de/page/?source=/ard/sendung/140581/index.html> (abgerufen am 04.12.15)
- Seyfferth, Günter (2006): Gesamtübersicht über den Himalaya, unter: <http://www.himalaya-info.org/Gesamtuebersicht.htm> (abgerufen am 28.11.15)
- Spiegel (2006): Gletscherschwund, unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/gletscherschwund-schnee-am-kilimandscharo-schmilzt-immer-schneller-a-400815.html> (abgerufen am 06.12.15)
- tansania-entdecken(2006): Kilimandscharo -Klima-und Vegetationszonen, unter: <http://www.tansania-entdecken.de/Kilimandscharo-klima.php> (abgerufen am 03.12.15)
- Treffeisen, Dr. Renate; Fischer-Bruns, Dr. Irene; Kehlenbeck, Dr. Uwe: Lásst der Klimawandel die Himalaya- Gletscher schmelzen?, unter: http://www.climate-service-center.de/012257/index_0012257.html.de (abgerufen am 12.12.15)
- Wikipedia (2015): Faltengebirge, unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Faltengebirge> (abgerufen am 02.12.15)
- Wikipedia (2015): Himalaya, unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Himalaya> (abgerufen am 15.12.15)
- Wikipedia (2015): Höhenstufe (Ökologie), unter: https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6henstufe_%28%C3%96kologie%29 (abgerufen am 03.12.15)
- Wikipedia(2015): Kilimandscharo, unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kilimandscharo> (abgerufen am 08.12.15)
- Wikipedia (2015): Massenbilanz (Glaziologie), unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Massenbilanz_%28Glaziologie%29 (abgerufen am 09.12.15)
- Wikipedia(2015): Tansania, unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tansania> (abgerufen am 12.12.15)
- ZAMG: Gebirgsgletscher, unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafolgen/gebirgsgletscher> (abgerufen am 11.12.15)

Bildquellen:

- Abbildung Titelblatt oben links: Himalaya, unter:
http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Himalaya_Gletscher.jpg
- Abbildung Titelblatt unten rechts: Kibo am Kilimandscharo, unter:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kibo_summit_of_Mt_Kilimanjaro_001.JPG; CC BY-SA
- Abbildung 1: Himalaya Übersicht, unter:
https://de.wikipedia.org/wiki/Himalaya#/media/File:Zentralasien_topo.png; C BY-SA
- Abbildung 2: Rückgang des Gangotrie-Gletschers von 1780 bis 2001, unter:
http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Gangotri_Gletscher_NASA.jpg; NASA: Public Domain
- Abbildung 3: Monash-Klimamodell, unter: http://mscm.dkrz.de/greb/cgi-bin/dmc_b_i18n.py?activetab=undefined&version=Basic&locale=DE&atmosphere=1&clouds=1&co2=1&heat_diff=1&heat_adv=1&albedo=1&hydro=1&vapour_diff=1&vapour_adv=1&ocean=1&model=0&atmosphere_s=1&clouds_s=1&co2_s=1&heat_diff_s=1&heat_adv_s=1&albedo_s=0&hydro_s=1&vapour_diff_s=1&vapour_adv_s=1&ocean_s=1&model_s=0&lat=&lon=®ions=0&location=Gloabal%20mean%20%28default%29&country=0&city= ; CC BY-SA-NC
- Abbildung 4: Eigene Darstellung mit dem Visualisierungsprogramm Panoply der NASA nach Daten des Rossby Centre SMHI (Swedish Meteorological Hydrological Institute) nach dem Szenario RCP8.5
- Abbildung 5: Erikapflanzen, unter:
http://commons.hortipedia.com/wiki/File:Erica_darleyensis_DARLEY_DALE_PDB_photo_file_235_KB.jpg ; Autor: Kurt Kramer; Lizenz: CC BY-SA-NC
- Abbildung 6: Eigene Darstellung mit dem Visualisierungsprogramm Panoply der NASA nach Daten des REMO Regionalmodels
- Abbildung 7: Darstellung des Gletscherrückgangs des Kilimandscharo von 1912 bis 2011, unter:
http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Kilimandscharo_1912-2011.jpg; CC BY
- Abbildung 8: Darstellung des Gletscherrückgangs auf dem Kilimandscharo, unter:
http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Kilimandscharo_Eisfl%C3%A4chen1912-1975-2012.jpg ; CC BY