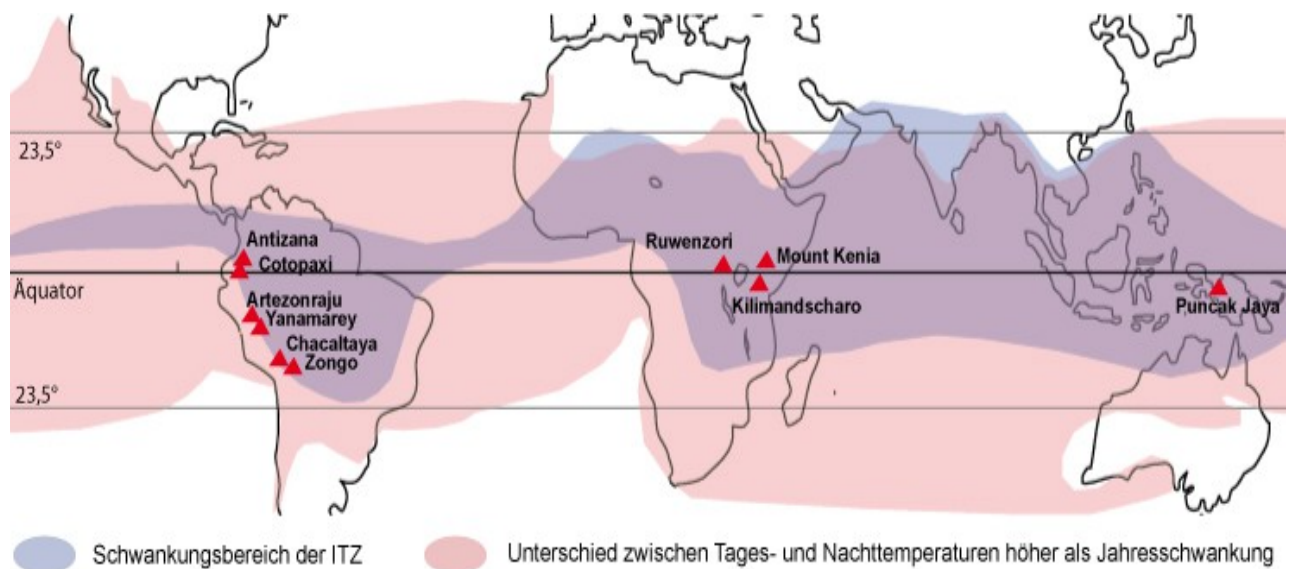


Gletscher in den Tropen

Welche Ursachen und Folgen hat das Abschmelzen tropischer Gletscher am Kilimandscharo und in den Anden?



(Kasang, Gletscher in den Tropen , 2014)

Inhaltsverzeichnis:

1. Einführung in das Thema

-Gletscher in den Tropen

-Klimawandel

-Gletscherschmelze

2. Die Anden

-Allgemeine Informationen

-Ursachen für das Abschmelzen der Gletscher

-Folgen

3. Der Kilimandscharo

-Allgemeine Informationen

-Ursachen für das Abschmelzen des Gletschers

→Theorien der Glaziologen Lonnie Thompson und Georg Kaser

-Folgen

4. Lösungsansätze

5. Fazit

-Prognose für die Zukunft

Einführung in das Thema

Am 31. März 2014 veröffentlichte der Weltklimarat den Beitrag der Arbeitsgruppe 2 des IPCC zum Fünften Sachstandsbericht, in dem es um die weltweiten Folgen des Klimawandels geht.

Die globale Erderwärmung kann man schon heute in verschiedenen Ökosystemen beobachten, jedoch wird sich die Situation noch drastischer verschlechtern, wenn keine Maßnahmen eingeleitet werden. (Bundesministerium für Umwelt, 2014)

Eine von vielen Folgen des Klimawandels ist das Abschmelzen der Gletscher.

Im Rahmen der Projektarbeit haben wir uns mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gletscher in den Tropen beschäftigt. Seit einigen Jahren beobachten Wissenschaftler, sogenannte Glaziologen, dass nicht nur das Eis der Arktis und im Himalaya, sondern auch die Gletscher in den Tropen unserer Erde schmelzen. Zu den tropischen Gletschern zählen die Gletscher in den Anden in Südamerika, drei Gletscher in Ostafrika und der Puncak Jaya Gletscher in Neuguinea. Im Folgenden werden wir genauer auf die tropischen Anden und den Kilimandscharo in Südafrika eingehen. In beiden Regionen hat das Abschmelzen unterschiedliche Gründe und Auswirkungen. Deshalb haben wir diese beiden Gletscher als Beispiele ausgewählt. (Kasang, Gletscher in den Tropen , 2014)

Gletscher entstehen, wenn sich Neuschnee sammelt, schichtet und die unteren Schichten so durch den zunehmenden Druck zu Eis werden. Diesen Vorgang nennt man Akkumulation. Der Gletscher schrumpft jedoch, wenn die sogenannte Ablation, Abschmelzung von Schnee und Eis, der Akkumulation überwiegt.

Weltweit gibt es ca. 170.000 Gletscher, dabei handelt es sich jedoch um einen geschätzten Wert, da es einige nicht registrierte Gletscher gibt. Sie bilden eine Gesamtfläche von ca. 730.000 km² (das entspricht der doppelten Fläche von Deutschland).

Die maximale Ausdehnung erreichten die Gletscher während der kleinen Eiszeit, die vom frühen 14. bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts andauerte. Danach gab es Phasen, in denen die Gletscher in einigen Regionen wuchsen und in anderen Regionen zurückgingen. Ab Mitte der 1980er Jahre ist auf allen Kontinenten eine starke Abnahme zu verzeichnen; Ausnahmen sind selten und in der Regel vorübergehend. Dabei weisen die tropischen Gletscher schon seit 1970 einen starken Rückgang auf. Heute warnt Herr Håberli, der Leiter des Welt-Gletscher Beobachtungsdienstes, davor, „dass es eine Tendenz zur Beschleunigung gibt, ohne dass ein Ende abzusehen ist.“ (Håberli, 2014)

Selbst wenn das Klima ab jetzt konstant bliebe, müsste mit weiteren Verlusten von ca. 38 % der gesamten Gletschermasse gerechnet werden. (Kasang, Gletscher im Klimawandel, 2013/14)

Dies ist deswegen so besorgniserregend, weil ca. 40% der Weltbevölkerung unmittelbar von den Folgen der abschmelzenden Gletscher betroffen sind und sein werden. (Kasang, Gletscher im Klimawandel, 2014)

Auf Grund der ganzjährig hohen Temperatur in den Tropen und der direkten Sonneneinstrahlung überrascht es, dass es in Äquatornähe trotzdem Gletscher gibt. Grund dafür ist die Abnahme der Lufttemperatur pro tausend Höhenmeter um ca. 6,5 °C. In einer Höhe von 5000 m ist die Temperatur also um ca. 32,5 °C kälter als auf Höhe des Meeresspiegels und die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf kaum (die Tagesschwankungen sind in den Tropen größer als die Jahresschwankungen). (Kaser & Mote, 2008)

Doch gerade diese Lage ist dafür verantwortlich, dass tropische Gletscher besonders empfindlich gegenüber Klimaveränderungen sind. Schon ein geringer Temperaturanstieg kann die Null-Grad-Grenze, also die Gleichgewichtsgrenze zwischen Ablation und Akkumulation, um mehrere 100 Höhenmeter verschieben. Außerdem wirkt sich eine Veränderung der atmosphärischen Zirkulation, die durch die Wanderung der innertropischen Konvergenzzone (ITZ) bedingt ist, auf den Niederschlag aus. Einerseits bildet sich neues Eis nur bei viel Niederschlag, was wiederum nur in den feuchten Jahreszeiten möglich ist, und andererseits schmilzt das Eis ganzjährig auf Grund der täglichen Temperaturschwankungen. Ein weiterer Faktor ist der Albedo-Wert des Eises. Neuschnee hat einen hohen Albedo-Wert. Das bedeutet, dass viel Sonnenstrahlung reflektiert wird und somit der Gletscher wenig Wärme aufnimmt. Dunkleres Alteis hingegen hat schon einen geringeren Albedo-Wert und Rußablagerungen führen dazu, dass die Gletscherschmelze durch Absorption noch begünstigt wird. (Kasang, Gletscher in den Tropen , 2014)

Die folgende Graphik zeigt, wie sich die Dicke der Gletscher in den unterschiedlichen Regionen in der Zeit von 1960-2003 verändert hat. Es fällt auf, dass in dieser Zeit die europäischen Gletscher im Vergleich zu den tropischen Gletschern nur wenig an Dicke verloren haben. Das Patagonische Eisschild musste zum Beispiel im selben Zeitraum 37 m an Dicke einbüßen. Die Gletscher in den Anden dagegen, die nur einige Breitengrade nördlicher liegen, sind in weit geringerem Umfang geschmolzen.

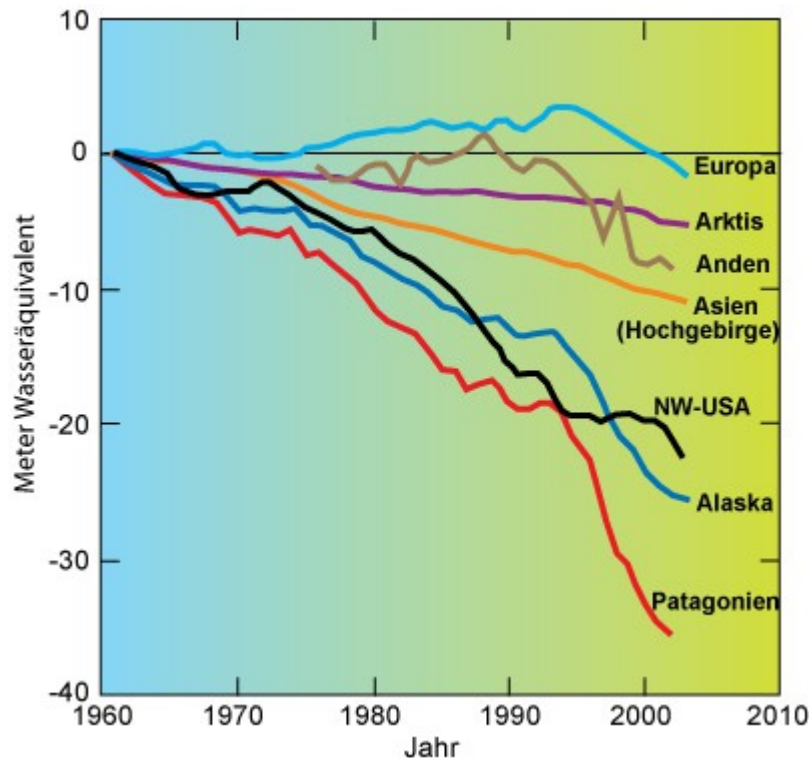


Abbildung 1: Änderung der spezifischen Massenbilanz in Meter Wasseräquivalent für verschiedene Regionen.

(Kasang, Gletschergebiete, 2010; Eigene Darstellung nach Dyrgerov, M. and Meier, M.F. (2005): [Glaciers and the Changing Earth System: a 2004 snapshot](#))

Tatsache ist, dass die tropischen Gletscher schmelzen, umstritten ist jedoch, ob bei allen tropischen Gletscherregionen der Klimawandel gleichermaßen verantwortlich ist.

Die Anden

Die Anden liegen am Westrand Südamerikas und erstrecken sich von Venezuela über Kolumbien, Ecuador, Peru, Bolivien, Argentinien und Chile. Bei dem 7.500 km langen Gebirgszug handelt es sich um die längste und zweithöchste Gebirgskette der Erde. Die tropischen Anden umfassen 99 % aller tropischen Gletscher, wovon über 70 % in Peru liegen. Die Fläche der Gletscher in den Anden beträgt geschätzt 1.920 km² und der höchste Gipfel ist der Aconacagua mit 6.962 m. Außerdem befinden sich in den Anden die beiden höchsten Vulkane der Welt, der 6.795 m hohe Monte Pissis und der 6.864 m hohe Ojos del Salado. Die Cordillera Blanca und die Quelccaya-Eiskappe (in Peru) sind die größten Vergletscherungen der Anden. (unbekannt, Anden, 2014) (Kasang, Gletscher in den tropischen Anden, 2014)

Die Anden unterliegen verschiedenen klimatischen Bedingungen, da sie nur teilweise in den Tropen liegen und der tropische Einfluss ab 23° S abnimmt. Die Niederschläge hängen nicht nur von der Region, sondern auch von den jahreszeitlichen Schwankungen zwischen der Trockenzeit im Winter (April-Oktober) und der Regenzeit im Sommer (November-März) ab. Allgemein ist jedoch eine Abnahme des Niederschlags von Norden Richtung Süden zu verzeichnen und eine Zunahme von der Westküste nach Osten. Die Westküste (Peru und Nordchile) ist, aufgrund des warmen und trockenen Klimas, von Küstenwüsten gekennzeichnet. Sie bilden einen Kontrast zu den feuchten und kalten Höhenlagen der tropischen Anden. (Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014)

Südlich des 23° S dominiert der kalte Küstenstrom des Pazifiks und der Einfluss des feuchten Regenwaldes im Norden nimmt ab. Dies führt zu starker Trockenheit in den Anden. Weiter südlich, beim Patagonischen Eisfeld (etwa 31° S), ist die marine Westwindzone dominant. Es gibt dort an der Westküste Chiles bis zu 7.000 mm Niederschlag pro Jahr. Im Gegensatz dazu weist die Ostseite der Anden teilweise nur 300 mm Niederschlag pro Jahr auf. Folglich hat sich das Niederschlagsverhältnis, im Gegensatz zu den tropischen Anden, umgekehrt.

Seit 1960 weisen die Anden einen Massenverlust von ca. 40 m Eisdicke (über alle Gletscher gemittelt) auf; davon verloren die Gletscher zwischen 2000 und 2012 etwa 4,4 Gigatonnen pro Jahr.

Glaziologen gehen davon aus, dass der Temperaturanstieg von 1,1 °C in den letzten hundert Jahren in höheren Lagen für den Gletscherrückgang verantwortlich ist. Die Frostgrenze wurde durch den Anstieg der Meeresoberflächentemperatur des östlichen tropischen Pazifiks um 76 m nach oben verschoben. Trotzdem reagieren unterschiedliche Gletscher verschieden auf die Erwärmung. Insgesamt sind die Gletscher auf der Westseite der Anden schneller abgeschmolzen als auf der Ostseite. Dies ist durch andere Klima-Parameter, wie zum Beispiel die direkte Sonneneinstrahlung und Luftfeuchtigkeit, zu begründen. Je nachdem wie viele Wolken vorzufinden sind, ist die Sonneneinstrahlung stärker oder geringer. Sie ist dafür verantwortlich, dass der Gletscher durch Sublimation (direkter Übergang des festen in den gasförmigen Aggregatzustand des Eises) an Masse verliert. Die Luftfeuchtigkeit ist wiederum von der Wassertemperatur der Ozeane abhängig und „lebensnotwendig“ für die Gletscher. (Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014)

Hinzu kommt, dass der Niederschlag seit der kleinen Eiszeit um 20-30 % abgenommen haben soll und somit die Akkumulation eingeschränkt. Aktuellere Daten zeigen jedoch, dass der Niederschlag in den letzten Jahrzehnten etwa gleich geblieben ist und nur die Trockenperioden zugenommen haben. Abgesehen von den globalen klimatischen Veränderungen spielen El-Niño- und La-Niña-Ereignisse eine wichtige Rolle (siehe Arbeit von Lina Schnitter und Lisa Leichsenring), denn sie verzögern oder beschleunigen den Gletscherrückgang. (Kasang, Gletscher in Südamerika, 2013)

Klimatologen wie Lonnie Thompson stellen fest, dass "ganz gleich, ob man sich individuelle Bohrkerne anschaut oder die Kombination aller sieben [Bohrkerne aus verschiedenen Regionen], es sticht heraus, wie ungewöhnlich warm die letzten 50 Jahre waren."

(unbekannt, Klimawandel: Tropengletscher so warm wie seit 2000 Jahren nicht mehr, 2006)

Das bedeutet, dass das Abschmelzen der Gletscher im Fall der tropischen Anden eindeutig auf den Temperaturanstieg zurückzuführen ist.

In den folgenden Visualisierungen sind die Temperaturen von 1971 bis 2000 (Abbildung 2) und eine Prognose für die Jahre 2031 bis 2060 nach dem RCP4.5-Szenario (Abbildung 3) dargestellt. Die Visualisierungen zeigen deutlich, dass die Regionen mit Temperaturen unter 0 °C für dieses Szenario abnehmen werden. In einigen Regionen werden die Eisplatten vollständig verschwinden, da die Temperatur um ca. 3 °C ansteigen wird (im Süden von Chile und Argentinien). Projektionen des Klimas für das 21. Jahrhundert sagen eine Fortsetzung des Abschmelzens und zum Teil sogar Verschwinden der Gletscher in den Anden voraus.

(Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014)

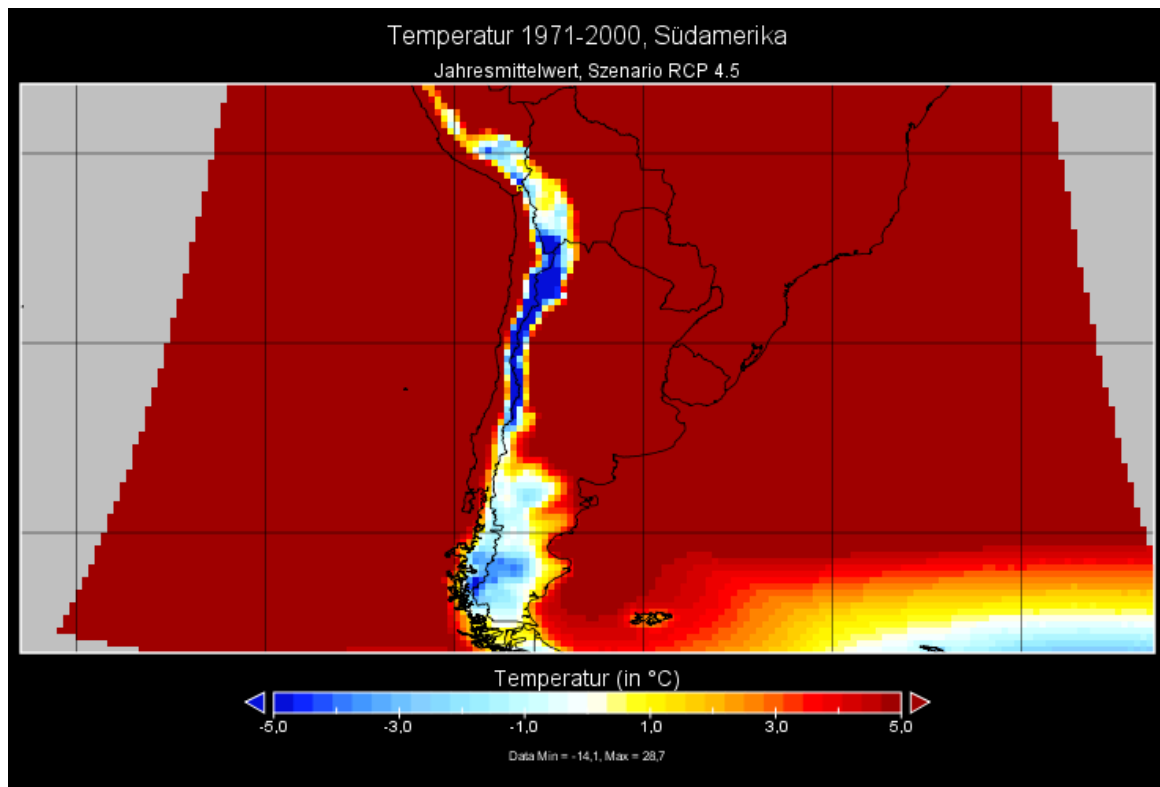


Abbildung 2: Temperaturverteilung in den Anden für den Zeitraum 1971 – 2000.

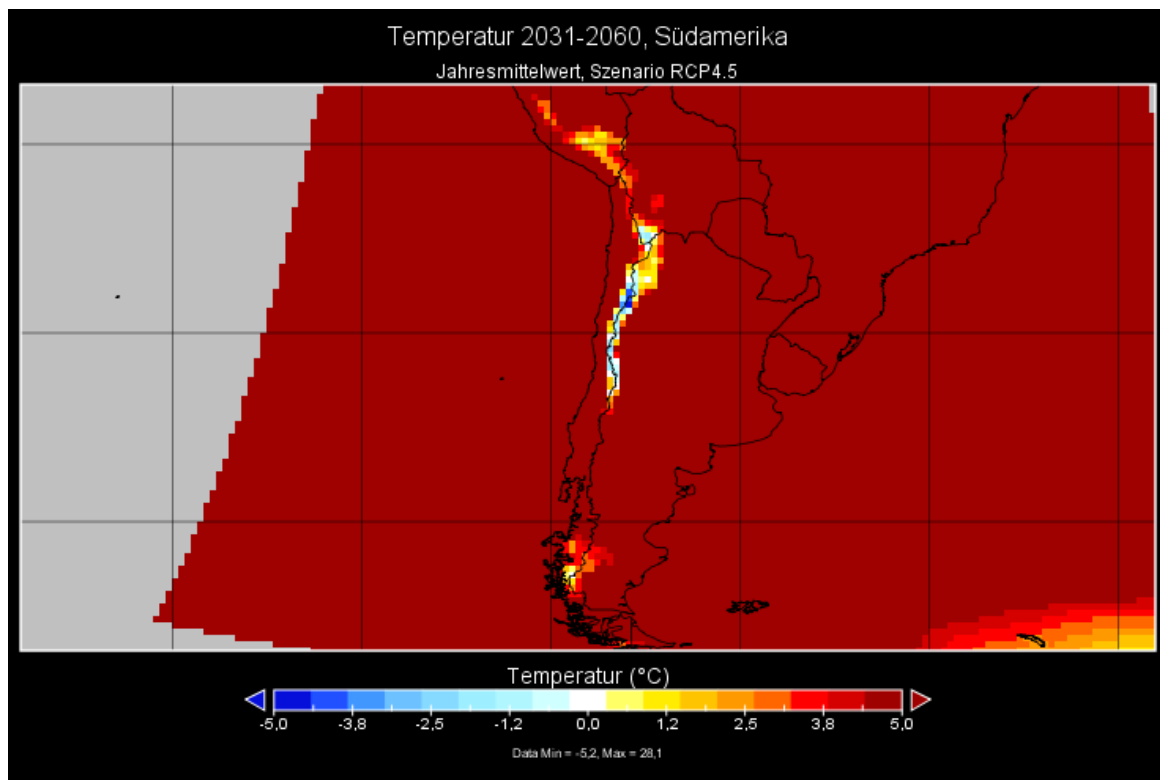


Abbildung 3: Temperaturverteilung in den Anden für den Zeitraum 2031 – 2060 nach RCP4.5.

(Bildungsserver, 2014)

Die Folgen der abschmelzenden Gletscher sind erschreckend. Insgesamt werden 40 % der gesamten Weltbevölkerung unmittelbar betroffen sein. Zu den gravierendsten Folgen in den tropischen Anden gehören zunächst Überschwemmungen und ein Meeresspiegelanstieg von 33-36 cm; auf längere Sicht führt das Abschmelzen zu einem Wassermangel. Einerseits schmelzen die Gletscher so schnell ab, dass die Stauseen überschwemmen, andererseits folgt langfristig ein Wassermangel, da die Gletscher schrumpfen und schlussendlich verschwinden. Das Wasser der Gletscher ist nicht nur das größte Trinkwasserreservoir für die Städte mit teilweise 8,5 Millionen Einwohnern (Hauptstadt Lima von Peru, Stand: 2007), sondern dient auch den Bauern in den Dörfern zur Bewässerung der Landwirtschaft. Die Bauern leben häufig nur von der Terrassenlandwirtschaft, die wiederum sehr viel Wasser benötigt. (Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014) Wenn die Ernten vertrocknen, müssen die Väter ihre Familien verlassen, um sich eine Arbeit in der Stadt zu suchen. (Youtube, Bolivien - der weltweite Klimawandel lässt die Gletscher schmelzen | Global 3000, 2010)

Abgesehen vom Wassermangel ist die Stromversorgung ein großes Problem. Hier sind vor allem die Hauptstädte Lima (Peru), Quito (Ecuador) und La Paz (Bolivien) betroffen, da die Elektrizitätsversorgung durch Wasserkraftwerke in den Gletscherstauseen erfolgt. (Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014) Alleine in Peru werden 70 Prozent des Stroms durch Wasserkraftwerke erzeugt. (Springer, 2007)

Ein weiteres Problem ist, dass der Tourismus zurückgehen wird und somit viele Arbeitsplätze verloren gehen. In Argentinien und Chile gibt es zum Beispiel große Skigebiete auf den Gletschern „Perito Moreno“ und „Portio“, die jedes Jahr eine halbe Millionen Touristen anlocken. (unbekannt, Anden, 2014) (Youtube, Gletscher, Wüsten und Vulkane- Abenteuer Anden (Doku), 2014)

Ein Beispiel für die Gletscherschmelze ist die Quelccaya-Eiskappe in Peru. Der Gletscher wurde schon von den Inkas vor tausend Jahren als Trinkwasserquelle verwendet und heute dient er der Hauptstadt Lima mit 8,5 Millionen Einwohnern als Wasserspender in der Trockenzeit. Wissenschaftler befürchten, dass die Wasserversorgung auf lange Sicht gefährdet ist. 2011 entdeckten sie Pflanzen, die durch den Gletscherrückgang frei wurden. Untersuchungen ergaben, dass die Pflanzen mehr als 6000 Jahre alt sind und von dem Eis konserviert wurden. Der Gletscher war also das letzte Mal vor ca. 6000 Jahren so klein wie

heute. (unbekannt, Quelccaya-Gletscher: Perus Wassertresor schwindet rapide, 2013)
(Springer, 2007)

Das Bild zeigt den Gletscherrückgang des „Qori-Kalis Gletscher“ (Quelccaya-Eisplatte) von 1978 bis 2002. An Hand des Graphen kann man erkennen, dass der Gletscher in diesem Zeitraum knapp 1 km an Länge eingebüßt hat. Lonnie Thompson geht davon aus, dass der Gletscher in den kommenden 40 bis 50 Jahren vollständig verschwunden sein wird.

(unbekannt, Quelccaya-Gletscher: Perus Wassertresor schwindet rapide, 2013)

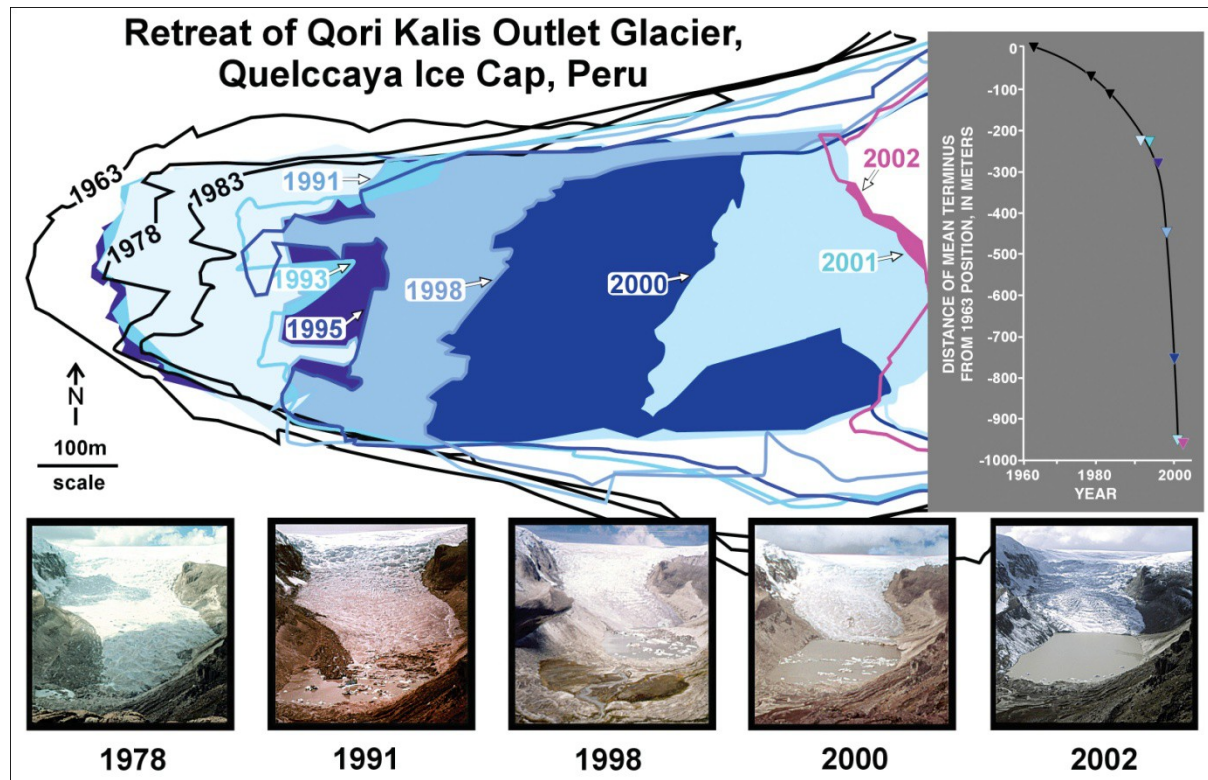


Abbildung 4: Rückzug des Qori-Kali-Gletschers. (USGS: Photographic and cartographic history of the retreat of Qori Kalis, 2013; Publikation genehmigt von Cynthia Manuel, USGS, in Mail an Lina Teckentrup vom 3.9.2014 – s. Mail von Lina am 24.9.14)

Der Kilimandscharo

Der Kilimandscharo, auch Kilimanjaro oder Kilimandscharo-Massiv genannt liegt, rund 350km, was drei Breitengraden entspricht, südlich des Äquators in Nordost-Tansania. Er ist etwa zwei bis drei Millionen Jahre alt und vulkanischen Ursprungs. Er besteht im Wesentlichen aus drei erloschenen Vulkanen. Shira, Mawenzi und Kibo. Der Kibo ist mit einer Höhe von 5896 m (ragt weit in die mittlere Troposphäre) der höchste Gipfel des Kilimandscharos. Gleichzeitig ist er der höchste Berg Afrikas und der höchste freistehende

Berg der Erde überhaupt und gehört zu den „Seven Summits“. Die „Seven Summits“ sind die jeweils sieben höchsten Berge der sieben Kontinente, wobei der Kilimandscharo auf Platz 4 ist. (unbekannt, Seven Summits, 2014)

Der Kibo soll um 1700 zuletzt ausgebrochen sein. Er wird auch der „helle Berg“ genannt, da sich die Gletscher beim Kilimandscharo ausschließlich auf den Kibo beschränken. Dort sind zwei verschiedene Gletscherarten vorzufinden, Hanggletscher und Plateaugletscher, wobei sich die Hanggletscher bis 5.000 m hinab befinden und die Plateaugletscher in 5.700-5.800 m Höhe. Seit dem 19. Jahrhundert soll jedoch Gletscherschwund beim Kilimandscharo zu beobachten sein. Von 1912 bis 2011 ist die gesamte Eismasse von 11,4 km² auf 1,76 km² geschrumpft, was einen Verlust von 85 % in den vergangenen 100 Jahren bedeutet.

(unbekannt, Kilimandscharo, 2014)



Abbildung 5: Eisrückgang auf dem Kilimandscharo von 1912 – 2011.

(Cullen, N. J., et al. (2012): [A century of ice retreat on Kilimanjaro: the mapping reloaded](#), The Cryosphere Discussion 6, 4233-4265, Creative Commons Attribution 3.0 License)

Die Ursachen für das Abschmelzen sind beim Kilimandscharo umstritten. Die beiden bekannten Glaziologen Lonnie Thompson und Georg Kaser haben unterschiedliche Ansichten. Lonnie Thompson ist der Meinung, dass das Abschmelzen der Gletscher weltweit ein eindeutiger Beweis des Klimawandels ist. 2002 zog er am Kilimandscharo verschiedene Eisbohrkerne aus dem Eis. Mittels dieser Proben belegt er seine These, dass die Gletscherschmelze am Kilimandscharo Folge des Klimawandels sei. Außerdem stützt er seine These mit Niederschlagsdaten der Anden der letzten 1.500 Jahre. Sie zeigen, dass die Gletscher der Anden trotz durchschnittlicher bis überdurchschnittlicher Niederschlagsmengen geschmolzen sind. (Hagmann, 2003)

Georg Kaser hingegen ist der Meinung, dass es beim Kilimandscharo nicht am Klimawandel liegen könne, sondern an zu wenig Niederschlag (in Form von Schnee), der den Gletscher „füttert“. Er argumentiert mit Niederschlagsmessungen die zeigen, dass es um 1880 einen abrupten Klimawandel gab und seitdem die Region trocken geblieben ist. Kasers ausschlaggebendes Argument ist, dass das Plateaeis auf dem Kilimandscharo nahezu senkrechte, 40 m hohe Wände besitzt. Im Sommer ist der Schrumpfungsprozess deutlicher zu erkennen als im Winter, weil die Sonneneinstrahlung intensiver ist. Daraus schließt er, dass die Sonneneinstrahlung Ursache für den Gletscherrückgang ist. Durch die direkte Sonneneinstrahlung kommt es zu Sublimation, das bedeutet, dass das Eis verdunstet und der Gletscher sich vom Rand aus verkleinert. Grund für die starke Sonneneinstrahlung soll eine längere Trockenphase sein, welche geringe Wolkenbedeckung, wenig Schneefall, stärkere Einstrahlung und somit Sublimation als Folge hat. Zudem ist er der Ansicht, da die Temperaturen immer unterhalb der Null-Grad-Grenze liegen (sie schwanken zwischen -3 und -2 °C mittags und -9 °C kurz vor Sonnenaufgang), es nicht zu Schmelzvorgängen kommen könne. Somit bleibt die Sublimation, durch direkte Sonneneinstrahlung, als einzige Ursache der Gletscherschmelze am Kilimandscharo. Ein indirekter Zusammenhang mit der globalen Erwärmung ist damit jedoch nicht ausgeschlossen. (Kasang, Gletscher in Afrika, 2014)

Douglas R. Hardy und Nicholas Pepin teilen Georg Kasers Meinung, jedoch meint Douglas: „Die wirklichen Erklärungen sind viel komplexer. Die globale Erwärmung spielt eine Rolle, aber maßgeblich sind eine Vielzahl von anderen Faktoren, die wirklich daran beteiligt sind“. Ein Faktor ist die geringere Wolkenbildung am Kilimandscharo. Diese wird durch die Verringerung der Waldfläche am Hang des Kilimandscharos hervorgerufen. Die Gründe dafür sind zunehmende Abholzung für landwirtschaftliche Zwecke und häufige Waldbrände. Der Mangel an Bio-Masse führt schließlich dazu, dass weniger Luftfeuchtigkeit an die Atmosphäre abgegeben wird, die zur Wolkenbildung beiträgt. Somit reduziert sich die Wolkendecke (und auch der Niederschlag) und verstärkt damit den Effekt der Sublimation. (Eder, 2009) (Kostka, Mount Kilimandjaro, 2010)

Georg Kaser meint, dass es bis 2040 kein Plateaeis mehr auf dem Kibo geben wird. Dennoch ist er der Meinung, dass eine Serie mehrerer feuchter Jahreszeiten mit hohen Niederschlägen den Gletscherschwund herauszögern würden. Ähnlich warnt Lonnie Thompson, wenn es so weitergehe, sei „in zehn bis fünfzehn Jahren nichts mehr übrig“. (Hagmann, 2003)

Die daraus entstehenden Folgen sind im Vergleich zu den der Anden geringer, da dort kaum Gletscherwasser entsteht, welches zu Überflutungen führen könnte. Dennoch benutzen die Chagga (ein rund um den Kilimandscharo lebendes Volk) das wenige Schmelzwasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft. Hierfür haben sie schon früh begonnen ein fein verästeltes Wassernetz zu bauen, welches Wasser zu ihren Feldern führt. Jedoch ein viel gravierendes Problem für die Menschen, die dort leben, ist, dass, die Gletscher jährlich ca. 10 000 Touristen lockt und ca. eine Million Menschen direkt oder indirekt von den Einnahmen des Tourismus abhängig sind. (Kasang, Gletscher in Afrika, 2014) (Kostka, Mount Kilimandjaro, 2010)

Lösungsansätze

Da das Abschmelzen der tropischen Gletscher in den beiden unterschiedlichen Regionen unterschiedliche Ursachen und Folgen hat gibt es auch unterschiedliche Lösungsansätze. In den Anden ist das erste Problem, dass durch das viele Schmelzwasser die Gletscherseen überschwemmen. Um dies zu vermeiden, könnte man in den betroffenen Regionen hohe Dämme bauen. Außerdem sollte man den allgemeinen Wasserverbrauch senken und die Einwohner sensibilisieren, Wasser zu sparen. Der durchschnittliche Peruaner verbraucht 280 Liter Wasser pro Tag (diese hohen Werte kommen vor allem durch den hohen Wasserverbrauch in der Landwirtschaft zu Stande). Die Deutschen verbrauchen im Gegensatz dazu nur 120 Liter Wasser pro Tag pro Person. (Youtube, ZDF tivi purplus - Wenn Gletscher schmelzen, 2011)

Eine weitere Maßnahme könnte es sein, Regenwasser während der regenreichen Monate zu sammeln, um für die Dürreperioden vorzusorgen. Hinzu kommt, dass man eine Grundwasserversorgung für die Küstenregionen installieren oder Brunnen bauen könnte. Bei dem Brunnenbau sollte man jedoch beachten, dass viele Städte in den Anden sehr hoch über dem Meeresspiegel liegen und diese Lösung nur begrenzt realisierbar ist. Das Problem der Stromversorgung könnte man vielleicht mit Wasserkraftwerken im Pazifik oder erneuerbaren Energien lösen.

Beim Kilimandscharo könnte man die Gletscherschmelze mit Hilfe von künstlicher Wolkenbildung oder Gletscherabdeckungen im Sommer bekämpfen. Die Gletscherabdeckungen wurden zum Beispiel schon auf der Zugspitze angewendet und könnten sogar mehrere Meter Verluste einsparen. (unbekannt, Gletscherabdeckung an der Zugspitze, 2011)

Allgemein kann man aber sagen, dass diese Lösungsansätze unbefriedigend erscheinen, weil die Ursachen der Gletscherschmelze nicht bekämpft werden können. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind für die betroffenen Länder schwer zu finanzieren und umzusetzen.

Fazit

Um auf unsere Leitfrage zurück zu kommen, welche Ursachen und Folgen das Abschmelzen tropischer Gletscher in den Anden und am Kilimandscharo hat, kann man abschließend sagen, dass der Temperaturanstieg und der Klimawandel zwar in den Anden die Gründe für die Gletscherschmelze sind, jedoch beim Kilimandscharo nicht gezwungenermaßen. Für das Abschmelzen der Gletscher am Kilimandscharo gibt es die drei genannten Haupt-Theorien von Georg Kaser, Lonnie Thompson und Nicholas Pepin und Douglas Hardy. Wir sind der Meinung, dass die Gletscherschmelze am Kilimandscharo einerseits durch die sogenannte Sublimation geschieht und andererseits durch den Temperaturanstieg, der dazu führt, dass der Gletscher von unten (von dem dunklen Untergrund) abschmilzt, begründet wird, wobei die Sublimation für einen größeren Teil der Gletscherschmelze verantwortlich ist. Außerdem sind wir der Meinung, dass durch die Abnahme des Niederschlags der Gletscher am Kilimandscharo keine Chance hat weiterzuwachsen.

Die Folgen sind am Kilimandscharo nur auf regionaler Ebene, weshalb sie im Gegensatz zu den Folgen in den tropischen Anden eher gering erscheinen. Da die Folgen in den Anden nicht nur regionale Auswirkungen haben, sondern mit dem Meeresspiegelanstieg noch viele weitere Länder der Welt betreffen. Zudem sind die regionalen Folgen der Anden im Vergleich zum Kilimandscharo ebenfalls deutlich schlimmer, da die Anwohner von der Trinkwasser- und Stromversorgung der Gletscher abhängig sind und bis jetzt noch keine Alternativen hierfür gefunden wurden.

Voraussichtlich wird der Gletscher am Kilimandscharo spätestens 2040 komplett abgeschmolzen sein und die Gletscher in den Anden ca. 2100.

Wissenschaftler sind sich jedoch über den Zeitpunkt, zu dem die Folgen das volle Ausmaß erreichen werden, uneinig. Diese Ungewissheit ist auch der Grund dafür, dass die Menschen sich der Dringlichkeit, einzuschreiten und zu handeln, nicht bewusst sind. (Kasang, Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden, 2014)

Der Gletscherrückgang kann nicht mehr verhindert werden. Wir sind der Meinung, dass es am besten wäre, wenn sich die betroffenen Menschen jetzt schon auf die Veränderungen vorbereiten und sich eventuelle Alternativen suchen sollten. Vor dem Hintergrund, dass der

Klimawandel durch die Industrienationen beschleunigt wurde und auch weltweite Folgen mit sich bringt, sollten sich auch die Industrieländer für eine globale Lösung einsetzen.

Literaturverzeichnis

Bildungsserver, H. (2014). *Temperatur in Südamerika, Datensatz*. Abgerufen am 3. Mai 2014 von Hamburg Bildungsserver: <http://bildungsserver.hamburg.de/00-suedamerika/4297274/suedamerika-temperatur.html>

Bundesministerium für Umwelt, N. B. (31. März 2014). *Gemeinsame Pressemitteilung mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung- Klimawandel ist zentrale gesellschaftliche Herausforderung*. Abgerufen am 7. Mai 2014 von BMUB: <http://www.bmub.bund.de/bmub/presse-reden/pressemitteilungen/pm/artikel/klimawandel-ist-zentrale-gesellschaftliche-herausforderung/>

Eder, J. (03. 11 2009). *Kein Schnee am Kilimandscharo*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Handelsblatt: <http://www.handelsblatt.com/technologie/energie-umwelt/umwelt-news/glatscherschwund-kein-schnee-am-kilimandscharo/3294318.html>

Häberli, W. (7. Mai 2014). *Gletscherschmelze*. Abgerufen am 5. Juni 2014 von Bayrischer Rundfunk (BR): <http://www.br.de/themen/wissen/klimawandel-gletscherschmelze-weltweit100.html>

Hagmann, M. (09. Januar 2003). *Eismann in den Tropen*. Abgerufen am 09. Juni 2014 von Zeit Online: http://www.zeit.de/2003/03/Eismann_in_den_Tropen

Kaltenborn BP, e. a. (1. Januar 2010). *Glacier mass balances for seven mountainous regions*. Abgerufen am 7. Mai 2014 von Environmental Health Perspectives Cumulative: <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/119/1/ehp.119-a20.g002.png>

Kaltenborn BP, e. a. (2010). *Modeled Glacier Changes*. Abgerufen am 7. Mai 2014 von Environmental Health Perspectives: <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/119/1/ehp.119-a20.g003.png>

Kasang, D. (28. Februar 2014). *Gletscher im Klimawandel*. Abgerufen am 7. Mai 2014 von Klima-Wiki: http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_im_Klimawandel

Kasang, D. (22. Januar 2014). *Gletscher in Afrika*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Klima Wiki: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher_in_Afrika

Kasang, D. (28. Februar 2014). *Gletscher in den Tropen* . Abgerufen am 23. April 2014 von Klima-Wiki: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gletscher_in_den_Tropen

Kasang, D. (2. Mai 2014). *Gletscher in den tropischen Anden*. Abgerufen am 20. Mai 2014 von Klima-Wiki: http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_in_den_tropischen_Anden

Kasang, D. (19. Oktober 2013). *Gletscher in Südamerika*. Abgerufen am 20. Mai 2014 von Klima-Wiki: http://www.klimawiki.org/klimawandel/index.php/Gletscher_in_S%C3%BCdamerika

Kasang, D. (21. Mai 2014). *Wasserprobleme und Klimawandel in den tropischen Anden*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Klima-Wiki:

http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Wasserprobleme_und_Klimawandel_in_den_tropischen_Anden#Projezierte_Klima.C3.A4nderungen

Kaser, G., & Mote, P. W. (2008). *Gletscherschwund am Kilimandscharo*. Abgerufen am 3. Mai 2014 von Spektrum der Wissenschaft: <http://sigmaxi.org/4Lane/ForeignPDF/2007-07MoteGerman.pdf>

Kostka, D. (01. Februar 2010). Abgerufen am 10. Juni 2014 von Mount Kilimandjaro: <http://www.mount-kilimanjaro.de/>

Kostka, D. (09. August 2012). *Sublimation*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Mount-Kilimanjaro-Wiki: <http://kilimanjaro.bplaced.net/wiki/index.php?title=Sublimation>

Richard S. Williams, J., & Ferrigno, J. G. (23. April 1999). Abgerufen am 25. April 2014 von U.S. Geological Survey: <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/chile-arg/wet/historic.html>

Springer, A. (21. Februar 2007). *Gletscher in Peru schmelzen dahin*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Die Welt: <http://www.welt.de/wissenschaft/article728482/Gletscher-in-Peru-schmelzen-dahin.html>

unbekannt. (7. Mai 2014). *Anden*. Abgerufen am 28. April 2014 von Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Anden>

unbekannt. (Mai 2011). *Gletscherabdeckung an der Zugspitze*. Abgerufen am 16. Mai 2014 von Tagesspiegel: <http://www.tagesspiegel.de/mediacenter/fotostrecken/weltspiegel/bildergalerie-gletscherabdeckung-an-der-zugspitze/4155134.html?p4155134=1>

unbekannt. (17. Mai 2014). *Kilimandscharo*. Abgerufen am 9. Juni 2014 von Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kilimandscharo>

unbekannt. (27. Juni 2006). *Klimawandel: Tropengletscher so warm wie seit 2000 Jahren nicht mehr*. Abgerufen am 5. Juni 2014 von Spiegelonline: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/klimawandel-tropengletscher-so-warm-wie-seit-2000-jahren-nicht-mehr-a-423752.html>

unbekannt. (6. Februar 2013). *Photographic and cartographic history of the retreat of Qori Kalis*. Abgerufen am 11. Juni 2014 von USGS- Science for a changing World: <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386a/gallery2-fig40.html>

unbekannt. (5. April 2013). *Quelccaya-Gletscher: Perus Wassertresor schwindet rapide*. Abgerufen am 16. Mai 2014 von Spiegelonline: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/peru-quelccaya-gletscher-so-klein-wie-seit-6000-jahren-nicht-a-892508.html>

unbekannt. (5. June 2014). *Seven Summits*. Abgerufen am 10. Juni 2014 von Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Summits

unbekannt. (22. April 2014). *Wikipedia*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von <http://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCdamerika>

Youtube (Regisseur). (2010). *Bolivien - der weltweite Klimawandel lässt die Gletscher schmelzen | Global 3000* [Kinofilm].

Youtube (Regisseur). (2014). *Gletscher, Wüsten und Vulkane- Abenteuer Anden (Doku)* [Kinofilm].

Youtube (Regisseur). (2011). *ZDF tivi purplus - Wenn Gletscher schmelzen* [Kinofilm].