

Was Geologen und Meteorologen voneinander lernen können...

Eine Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Vulkanismus und globalem Klimawandel anhand der Vulkaninsel Island



Lykke Ibbeken, Sabrina Trahn

Klimaprojekt des 11. Jahrgangs

2014/2015

Fachlehrer: Herr Sanheim

Lykke Ibbeken, Sabrina Trahn.....	1
1. Einleitung:.....	3
2. Wie können Vulkane das Klima beeinflussen?.....	3
2.1 Definition Klima.....	3
2.2 Definition Wetter.....	4
2.3 Die Kleine Eiszeit.....	4
2.4 Pinatubo Ausbruch 1991 - und wie das unser Klima beeinflusst hat.....	6
2.5 Ökologische und soziale Auswirkungen.....	7
2.6 Globale Auswirkung.....	7
2.7 Auswirkungen von Vulkaneruptionen auf das regionale und globale Klima.....	8
2.8 Vorhersage von Vulkanausbrüchen.....	8
Zusammenfassendes Fazit von Teil 1.....	9
3. Kann der anthropogene Klimawandel zu vermehrter Vulkanaktivität auf Island führen? .	10
3.1 Ring of Fire, Vorkommen von Vulkanen, Formen von Vulkanen.....	10
3.1.1 Vorkommen von Vulkanen.....	10
3.1.2 Formen von Vulkanen.....	10
3.2 Geographische Einordnung Islands.....	11
3.3 Wie kann das Klima Vulkane beeinflussen?.....	12
3.3.1 Postglaziale Landhebung.....	12
3.3.2 Auswirkungen der postglazialen Landhebung auf Islands Vulkane.....	13
3.3.3 Forschungsergebnisse, die meine Hypothese stützen.....	13
.....	14
3.3.4 Das Beispiel Katla.....	15
3.4 Gefahren, die im Zusammenwirken von Klima und Vulkanen entstehen.....	15
3.5 Ist mit einem Abschmelzen der Gletscher auf Island zu rechnen?.....	16
3.5.1 Die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5.....	16
3.5.1.1 Das Szenario RCP4.5.....	16
3.5.1.2 Das Szenario RCP8.5.....	16
3.5.2 Prognosen für die Temperaturentwicklung auf Island.....	17
3.5.2.1 Differenzkarte 1:	17
2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP4.5.....	17
3.5.2.2 Differenzkarte 2:.....	18
2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP8.5.....	18
3.5.3 Prognosen für die Entwicklung der Schneebedeckung auf Island.....	19
3.5.3.1 Differenzkarte 3:	19
2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP 4.5.....	19
3.5.3.2 Differenzkarte 4:	21
2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP8.5.....	21
3.6 Zusammenfassendes Fazit von Teil 2.....	22
4. Fazit unserer Arbeit.....	22
5. Danksagung:.....	22
6. Quellenverzeichnis:	23
7. Abbildungsverzeichnis:	25

1. Einleitung:

Die altbekannte These, dass Vulkane das Klima beeinflussen können, war uns natürlich auch bekannt. Aber wie funktioniert das genau? Dieser Aspekt interessierte Sabrina genauer.

Dass dieser Prozess auch andersherum funktionieren könnte, erschien uns zuerst undenkbar. Diese Ansicht änderte sich durch eine Fernsehdokumentation, in der genau diese These aufgestellt wurde. Könnte es tatsächlich möglich sein, dass eine Klimaveränderung Vulkanausbrüche hervorruft? Das war eine spannende These, die Lykke sehr faszinierte.

So entstand unsere Leitfrage für das Klimaprojekt 2014/2015.

***„Was Geologen und Meteorologen voneinander lernen können...
Eine Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Vulkanismus und
globalem Klimawandel anhand der Vulkaninsel Island.“***

Die in dieser Arbeit verfassten Texte haben wir selbst verfasst und nicht aus dem Internet kopiert. Außerdem haben wir auf korrekte Quellenangaben geachtet (siehe Quellen- und Abbildungsverzeichnis)

2. Wie können Vulkane das Klima beeinflussen?

2.1 Definition Klima

„Klima ist der Zustand der Atmosphäre an einem Ort, der über einen längeren Zeitraum durch Mittelwerte und Summen ausgewählter physikalischer Größen beschrieben werden kann.“ (vgl. Bauer, J., 1998)

Unter Mittelwerten und Summen physikalischer Größen sind etwa Durchschnittstemperaturen, Niederschlagssummen, mittlere Sonneneinstrahlung oder Hauptwindrichtungen zu verstehen. Klima ist also als Sammelbegriff zu verstehen, für all das, was an einem bestimmten Ort über einen längeren Zeitraum in der Atmosphäre geschieht.

Das Klima kann man nach seiner räumlichen Ausbreitung in drei Bereiche unterteilen:

- Das **Makroklima** - hier ist die Erde in Klimaregionen eingeteilt. Bekannt ist das Makroklima auch als Großklima.
- Das **Mesoklima**, welches auch als Regional- und Lokalklima bekannt ist. Es beschreibt das Klima in einer Region wie zum Beispiel den Mittelmeerraum oder auch in kleinen Regionen, wie eine Siedlung oder ein Tal.
- Das **Mikroklima**, das beispielsweise das Klima in Bodennähe oder in einem Wald charakterisiert.

(vgl. Forkel, Matthias, 4.02.2015).

2.2 Definition Wetter

Das Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort (vgl. Peter Matthias Gaede, Geo Bibliographisches Institut, Seite 4.). Das für uns spürbare Wettergeschehen spielt sich in der unteren Schicht der Atmosphäre, der sogenannten Troposphäre, ab. Diese erstreckt sich bis zu 15 km hoch. Erfolg oder Misserfolg bei Agrargesellschaften mit Selbstversorgungswirtschaft sind vom Wetter abhängig.

Gekennzeichnet wird das Wetter durch meteorologische Elemente wie Strahlung, Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wind. Damit ist Wetter das Augenblicksbild eines Vorgangs. Notwendig zur Erfassung des Wetters ist die Gleichzeitigkeit der Wetterbeobachtungen in größeren Gebieten, sodass Luftdruckgebilde, Luftmassen, Frontalzonen und Fronten bestimmt werden können (vgl. Peter Matthias Gaede, Geo, Bibliographisches Institut, Seite 4).

2.3 Die Kleine Eiszeit

In dem Zeitraum von 1300 bis 1900 fand die Kleine Eiszeit in Europa statt. Dort überwogen auf der Nordhemisphäre kalte Temperaturen; diese Kälteperioden wurden immer wieder von sehr warmen Sommern durchbrochen, welches ein besonderes Kennzeichen der kleinen Eiszeit ist. Zur Rekonstruktion bezieht man sich auf die Auswertungen von Proxydaten meteorologischer Daten, die aus vergangener Zeit aufbereitet wurden (vgl. Kasang, Dieter, 27.02.2015).

Die genaue Datierung des Beginns der Kleinen Eiszeit ist unter Forschern nicht einheitlich geklärt, jedoch kann man feststellen, dass ab 1300 kühlere Temperaturen geherrscht haben. Eine schlagartige Abkühlung der Temperatur mit Anstieg der Niederschlagsmenge stellt den Beginn der Eiszeit da. In den höheren Breiten und größeren Höhen beginnendes Eiswachstum ist ein weiteres Merkmal, welches dem Zeitraum von 1275 bis 1300 zugeordnet werden kann (vgl. Kasang, Dieter, 27.02.2015).

Mit dem Anbruch des 16. Jahrhunderts sank die Temperatur weiterhin stetig. In Europa war diese niedriger als je zuvor; in Grönland hingegen lag, abgesehen von dem Beginn der Kleinen Eiszeit, die Temperatur über den gesamten Zeitraum der Eiszeit über dem Durchschnitt. Die Verkürzung der Vegetationsperiode um 14 Tage und die Verschiebung der Jahreszeiten sind charakteristische Merkmale für das Jahr 1550, welches zugleich das kälteste Jahr und somit den kältesten Abschnitt der Eiszeit darstellt.

Mit Ausnahme der Antarktis war auch auf der Südhemisphäre ein Temperatursturz zu beobachten. Diese niedrigen Temperaturen blieben bis in das 17. Jahrhundert bestehen. Deshalb wird dieses Jahrhundert als das kälteste seit 2000 Jahren bezeichnet (vgl. Kasang, Dieter, 27.02.2015). Auch wenn von einem globalen homogenen Trend des Temperaturabfalls gesprochen wird, sind regionale Abweichungen zu verzeichnen.

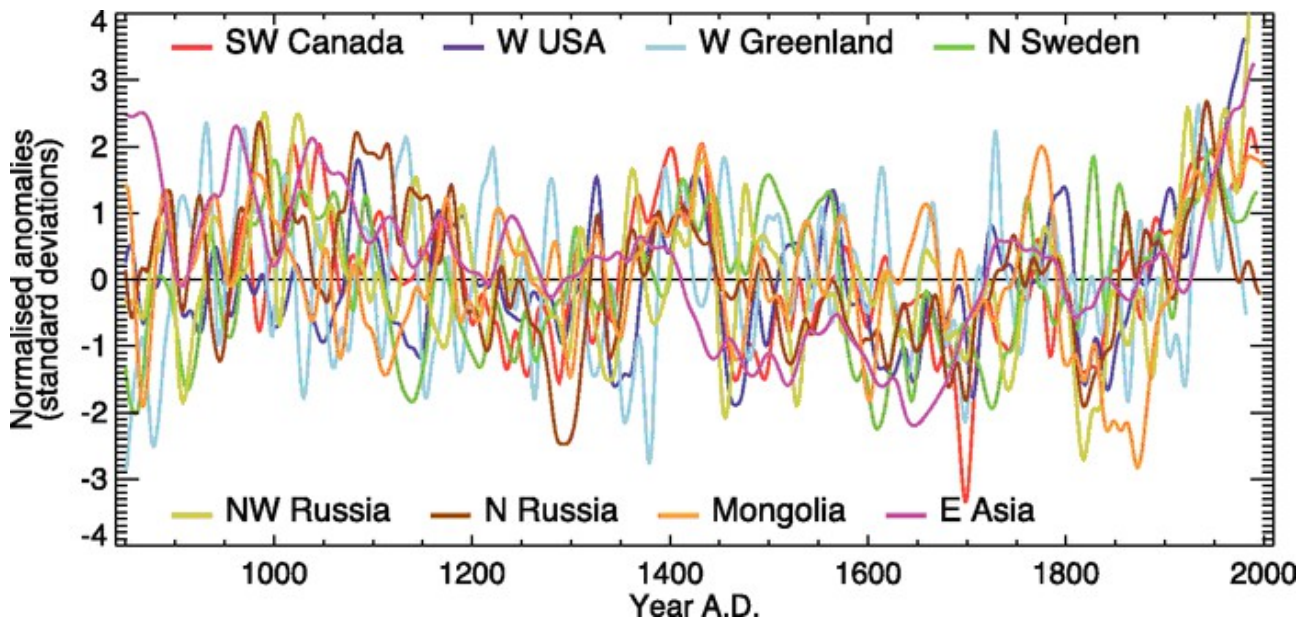


Abb 1. Regionale Unterschiede des Klimas (Kasang, Dieter, 22.02.2015; ursprgl. Quelle: IPCC AR4 2007, Box 6.4 Abb.1)

In Abbildung 1 ist die Temperaturabweichung im Jahresmittel für verschieden Regionen verzeichnet. Dort kann man erkennen, dass im Zeitraum von 1300 bis 1900 verhältnismäßig geringe regionale Ausschläge im negativen Temperaturänderungsbereich festzustellen sind. Insgesamt wird daher von einem räumlich homogenen Abkühlungstrend ausgegangen. In diesem Zeitraum erreichten die Gletscher und Eiskappen Kanadas ihre maximale Ausdehnung (vgl. Kasang, Dieter, 22.02.2015).

Als Auslöser für die Klimaveränderung werden von Forschern Vulkanausbrüche angesehen: Nach 1250 eruptierten vier äquatornahe Vulkane; Vulkane in den Tropen haben einen besonders starken Einfluss auf das Klima. Durch den Eintrag von Asche bis in die Stratosphäre ist eine globale Verteilung durch die dort herrschenden Höhenwinde möglich. Dadurch wird die solare Einstrahlung auf mehrere Jahre gesehen stark verringert. Das wurde auch bei der kleinen Eiszeit beobachtet. Der Wärmetransport Richtung Norden wurde geschwächt, wodurch eine verstärkte Eisbildung stattfinden konnte.

Das führte auch dazu, dass der Eis-Albedo-Rückkopplungsprozess seine Wirkung entfalten konnte: Die durch das neu entstandene Eis erhöhte Albedo führte zu einer weiteren Abkühlung, woraus wieder eine verstärkte Eisbildung resultierte (vgl. Bittner, Matthias, 20.02.2015, telefonische Mitteilung). Der vermehrt entstehende Transport von Meereis zur Südhemisphäre brachte Süßwasser mit sich, sodass sich auch im Ozean Eisschichten ausbildeten. Mit der damit einhergehenden Verringerung der Konvektion im offenen Ozean und der Abschwächung der meridionalen Umwälzzirkulation kam es zu einem weiteren Absinken der Wassertemperatur im Norden. Durch den Eis-Albedo-Rückkopplungsprozess blieben die Temperaturen lange nach einer Eruption noch verringert (vgl. Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, Dr. Sebastian Lüning, 22.02.2015).

Bereits im Jahr 1200 nahm die Sonneneinstrahlung, bedingt durch die Position der Erde zur Sonne, auf ihrer Umlaufbahn ab. Durch die Vulkanausbrüche und den Eis-Albedo-Rückkopplungsprozess wurde die Sonneneinstrahlung nochmals verringert. Zwar gab es zwischenzeitlich, ca. im Jahr 1550, eine Zunahme der Sonneneinstrahlung, diese wurde aber später durch andere Klimaphänomene wie das Maunder Sonnenfleckenminimum oder das Dalton Sonnenfleckenminimum kompensiert, sodass weitere Minima der Sonneneinstrahlung erkennbar sind.

In Europa war, wenn auch um 20 bis 50 Jahre verzögert, ein Abfall des Temperaturgradienten und des Druckgradienten als Folge zu spüren (vgl. Kasang, Dieter,

22.02.2015). Das Azorenhoch und das Islandtief konnten die herrschenden Westwinde nicht mehr verstärken, sondern wurden schwächer. Das führte zu trockeneren und kälteren Winden, im Gegensatz zum Mittelmeerraum, wo mildere und feuchte Winde dominierten (vgl. Kasang, Dieter, 22.02.2015).

2.4 Pinatubo Ausbruch 1991 - und wie das unser Klima beeinflusst hat

Der auf den Philippinen gelegene, heute noch aktive Vulkan Pinatubo ist ein 1486 km hoher Berg. Vor der Eruption am 15. Juni 1991 betrug seine Höhe 1745 km. Diese Eruption zählt zu den gewaltigsten des 20. Jahrhunderts und ereignete sich nach einer 550-jährigen Ruhezeit des Vulkans. Durch die lange Ruhezeit des Vulkans war das Gebiet an und um den Vulkan gut bewachsen, es hatten sich Waldflächen gebildet. Diese Gegend stellte einen Fluchtort für die indigene Bevölkerung dar.

Glaukt man führenden Vulkanologen, so ist davon auszugehen, dass ein Erdbeben am 16. Juli 1990 der Stärke 7.8 der Auslöser für die wiederkehrende Aktivität des Vulkans ist. Das Epizentrum lag etwa 100 km vom Pinatubo entfernt. Zwei Wochen nach diesem Ereignis stieg Dampf aus dem Vulkan auf. Forscher begannen sofort mit Untersuchungen, hielten jedoch eine Aktivität für unwahrscheinlich. Mit Beginn des Jahres 1991 wurden vermehrt Erdbeben mit steigender Intensität unmittelbar am Pinatubo beobachtet. Dadurch war klar, dass der Pinatubo wieder aktiv war.

Am 2. April kam es zu der ersten kleinen Eruption. Daraufhin folgten täglich mehrere hunderte Erdbeben. Umliegenden Gebiete wurden mit Asche bedeckt. Die vulkanische Aktivität stieg in den Monaten April und Mai stark an. Der Schwefeldioxydausstoß stieg von 500 auf 5000 Tonnen pro Tag an. Durch den schlagartigen Anstieg des SO₂-Ausstoßes wurde eine Blockierung der Magmakammer, eine Zunahme des Drucks in der Magmakammer und dadurch eine Eruption befürchtet.

Am 3. und am 7. Juni fanden Eruptionen statt. Am 7. Juni entstand dabei eine 7 km hohe Aschesäule. In den nächsten zwei Wochen sollte die Haupteruption stattfinden, warnte das Philippinische Institut für Vulkanologie und Seismologie.

Da viele Menschen in der Nähe des Pinatubo lebten, wurde das Gebiet in drei Evakuierungszonen eingeteilt. Die erste Evakuierung fand am 7. April statt, das umfasste den Bereich in unmittelbarer Nähe (<10 km) zum Vulkan. Bis zum 15. Juni wurden 60.000 Menschen in einen Umkreis von 30 km um den Vulkan evakuiert. Diese Menschen wurden in Flüchtlingslager auf verschiedene Städte verteilt.

Die Haupteruption begann am 15. Juni 1991 gegen 13:42 Uhr mit einem großen Erdbeben. Dieses störte nicht nur die Seismographen der Clark-Air-Base, sodass diese gegen 14:30 stillgelegt werden mussten, sondern es war auch eine Veränderung des atmosphärischen Drucks zu verspüren.

Etwa zur gleichen Zeit zog der Taifun Yunya über das Land hinweg, weswegen eine genaue Beobachtung der Eruption unmöglich war. Messdaten weisen aber darauf hin, dass während der dreistündigen Eruptionsphase eine 34 km hohe Aschewolke entstanden sein muss. Pyroklastische Ströme entfernten sich bis zu 16 km vom Gipfel.

Die entstandene Aschewolke führte zu einer vollständigen Dunkelheit in Luzons Zentrum. Die Asche legte sich wie Schnee über das Land; diese schneeähnliche Schicht sog sich mit Regenwasser des Taifuns voll, sodass sie zunehmend instabil wurde. Gegen 22:30 fiel der Druck in der Atmosphäre wieder, was nach einer siebenstündigen Aktivität das Ende

der Hauptphase bedeutete (vgl. Szeglat, Marc, 11.04.2015; Wikipedia: Pinatubo, <https://de.wikipedia.org/wiki/Pinatubo>, 30.11.2015).

2.5 Ökologische und soziale Auswirkungen

Insgesamt waren 364 Gemeinden und 2.1 Millionen Menschen von der Eruption betroffen. Mehr als 8000 Häuser wurden zerstört. Weitere 73000 Häuser wurden beschädigt. Kommunikationseinrichtungen und Straßen wurden teils komplett zerstört oder ernsthaft beschädigt. Die Gesamtkosten betrugen 3.8 Milliarden Pesos (etwa 76 Millionen Euro).

Landwirtschaftliche Flächen zum Anbau von Lebensmitteln wurden zerstört, zuvor fruchtbarer Boden war unfruchtbar, Vieh und Geflügeltiere wurden getötet. Durch Schäden an medizinischen Einrichtungen und die mangelnde Hygiene stieg die Todesrate in den Monaten nach der Eruption.

2.6 Globale Auswirkung

Durch die gewaltige Eruption wurden jede Menge Staub und Aerosole in die Stratosphäre geschleudert. Oxidierendes Schwefeldioxid in der Erdatmosphäre erzeugte Nebel aus Schwefelsäuretropfen, welcher sich über das Jahr hinweg in der Stratosphäre ausbreitete. Es handelte sich um eine Injektion von 17 Millionen Tonnen Schwefeldioxid in die Atmosphäre.

Der Temperaturabfall auf der nördlichen Hemisphäre von 0.4 bis 0.6 °C und 0.4 °C weltweit war Folge der Sonnenlichtreduktion von etwa 5%, die durch die Schwefeldioxid Injektion hervorgerufen wurde. Wolken, die sich durch die Eruption in der Stratosphäre bildeten, blieben für drei Jahre bestehen.

Durch den Staub in der Erdatmosphäre war der Mond, bei der Mondfinsternis, auch im Kernschatten nicht mehr zu erkennen, da der Staub so viele Sonnenstrahlen absorbierte (Unbekannter Autor, <https://de.wikipedia.org/wiki/Pinatubo>, 30.11.2015).

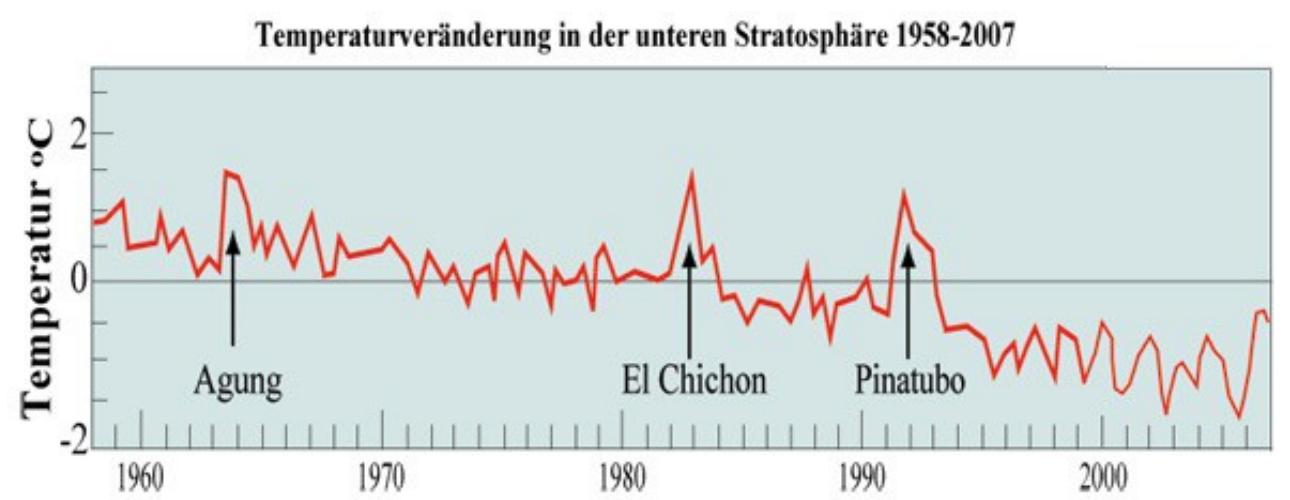


Abb. 2: Temperaturveränderung in der unteren Stratosphäre von 1958- 2007.
(Kasang, Dieter, 11.04.2015; Eigene Darstellung (D.K.) nach [Met Office Hadley Centre](http://www.metoffice.gov.uk))

Auch Auswirkungen auf die Ozonschicht waren nach der Eruption zu erkennen. Das über der Antarktis existierende Ozonloch erreichte eine neue Rekordgröße. Auch die

Ozonschicht in den mittleren Breiten erreichte ihren geringsten Stand (vgl. Kehse, Ute, 11.04.2015).

2.7 Auswirkungen von Vulkaneruptionen auf das regionale und globale Klima

Die Auswirkungen von Vulkaneruptionen auf das Klima sind sehr vielseitig und können regional sehr unterschiedlich sein. Man muss hierbei zwischen kleinen Ausbrüchen wie z.B. den Eyjafjallajökull auf Island und den größeren Ausbrüchen wie z.B. den Pinatubo 1991 auf den Philippinen unterscheiden, wobei nur letztere Klimarelevanz besitzen (vgl. Bittner, Matthias, telefonische Mitteilung, 4.02.2015).

Auch die geographische Position der Vulkane spielt eine entscheidende Rolle. Bei sehr großen, tropischen Ausbrüchen wie denen des eben schon genannten Pinatubo auf den Philippinen, der 1991 eruptierte, kommt es generell zu einer globalen Abkühlung der Bodentemperatur um etwa 0,5 Grad Celsius. Am stärksten sind entsprechend hierbei die tropischen Breiten betroffen.

Durch die Emission von vulkanischen Gasen wird die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert. Besonders stark und lang anhaltend sind die Auswirkungen, wenn die Gase in höhere Schichten gelangen. Während die Gaspartikel in der Troposphäre, also der untersten, etwa 10 km dicken Atmosphärenschicht, recht schnell durch Niederschläge ausgewaschen werden, können sie in der darüber liegenden Stratosphäre bis zu drei Jahren verbleiben (vgl. Bittner, Matthias, telefonische Mitteilung, 4.02.2015).

Regional und auch abhängig von den Jahreszeiten, kann es jedoch zu sehr spezifischen Änderungen in Temperatur und Niederschlag kommen. Insbesondere kann man im Nordwinter nach einem großen tropischen Vulkanausbruch eine Erwärmung über Nordeuropa und Sibirien und eine Abkühlung über Grönland und den mittleren Osten beobachten (vgl. Bittner, Matthias, 4.02.2015).

2.8 Vorhersage von Vulkanausbrüchen

Des Öfteren stellt man sich die Frage, ob eine konkrete Vorhersage vom Vulkanausbruch möglich ist. Dies ist jedoch noch nicht exakt möglich, trotz der vielen Hilfsmittel. Allerdings können die Wissenschaftler eine vulkanische Aktivität feststellen; fraglich bleibt, ob dieser Vulkan dann tatsächlich eruptiert. Unter anderem werden die Hebungen und Senkungen des Vulkans protokolliert oder auch die Bewegungen am Boden.

Ein weiterer Anhaltspunkt der Vulkanologen ist die Veränderung der Temperatur. Für die Wissenschaftler relevant ist jedoch auch die Zusammensetzung chemischer Vulkangase.

Zur Forschung richteten die Vulkanologen Observatorien auf Vulkanen ein.

Die erste Einrichtung auf einem Vulkan wurde 1811 auf den aktiven Vulkan Vesuv fertiggestellt. Der Vesuv befindet sich auf dem europäischen Festland, er liegt am Golf von Neapel in der italienischen Region Kampanien (vgl. Szeglat, Marc, 2.02.2015).



Abb. 3: Vulkanologen mit Observatorium
(Szeglat, Marc, 22.02.2015)



Abb. 4: Messstation auf dem Vulkan
Vesuv
(Szeglat, Marc, 22.02.2015)

Schon Monate bevor ein Vulkan eruptiert, sind Mikrobeben festzustellen, die mit Seismographen gemessen werden können. Solche Mikrobeben können zuerst ein paar Mal im Monat protokolliert werden. Steht der Vulkan kurz vor einem Ausbruch, so sind es teils über hundert Mikrobeben, die an einem Tag gemessen werden können.

Eine weiteres Gerät zur Vorhersage von Vulkaneruptionen sind hochempfindliche Wärmemessgeräte an Bord von Satelliten. Diese protokollieren eine Veränderung der Temperatur am Vulkan. So steigt die Temperatur wenn der Vulkan kurz vor einer Eruption ist. Durch das emporquellende Magma wird der Vulkan auch um einige Dezimeter empor gedrückt. Das lässt sich wiederum mit speziellen Neigungsmessgeräten ermitteln.

Trotz allem ist den Wissenschaftlern eine Verhinderung von Vulkankatastrophen noch nicht gelungen; jedoch können die Menschen in den Regionen, wo eine Vulkaneruption bevorsteht, rechtzeitig evakuiert werden.

Zusammenfassendes Fazit von Teil 1

Die Auswirkungen von Vulkanausbrüchen können, wie in den übrigen Seiten beschrieben, sehr vielseitig sein.

Je nach Größe des Ausbruchs kann das Maß der Auswirkung variieren. Es kann, wie z.B. bei dem Ausbruch des Pinatubo, durch die Ascheteilchen in der Atmosphäre zu einem Absinken der Temperaturen kommen. Des Weiteren kann die Bodenfruchtbarkeit eine Zeit lang verringert werden und dies kann negative Folgen für die dortigen Bewohner haben.

3. Kann der anthropogene Klimawandel zu vermehrter Vulkanaktivität auf Island führen?

3.1 Ring of Fire, Vorkommen von Vulkanen, Formen von Vulkanen

3.1.1 Vorkommen von Vulkanen

Die meisten Vulkane treten an den Subduktionszonen auf. Diese befinden sich an den Plattengrenzen der sechs Litosphären-Platten. Am bekanntesten sind die Vulkane am Pazifischen Feuerring, dem wohl bedeutendsten zusammenhängenden Vulkanring an Subduktionszonen. Allerdings ist der Name etwas trügerisch, der Vulkanring ist kein geschlossener Ring, sondern eher ein großes „U“, das den Pazifik umschließt.

An den Subduktionszonen wird nun immer eine Platte mit geringerer Masse über eine Platte mit höherer Masse geschoben. Dabei entstehen Spannungen, die nicht selten zu Erdbeben und in deren Folge auch zu Tsunamis führen können.

Zusätzlich wird die Platte, die absinkt, langsam aufgeschmolzen, wodurch sich Magma bildet. Dieses Magma hat einen relativ hohen Silicium-Gehalt und ist deswegen viskos. Ein Großteil des neu entstandenen Magmas, das nach oben steigt, gelangt wegen seiner hohen Viskosität nicht an die Oberfläche und verbleibt innerhalb der Erdkruste, wo es erkaltet.

Subduktionsvulkane entstehen aber nicht nur an Plattengrenzen, sondern können auch in Blöcken aus kontinentaler Kruste entstehen. Beispiele dafür wären z. B. Japan und der östliche Pazifik. Auch hier findet Subduktion, also ein Absinken und Überschieben von Platten, statt, allerdings sind nun beide Platten Kontinentalplatten.

Für unser Beispiel Island trifft die Lage auf einer Subduktionszone nicht zu. Island liegt in einer Divergenzzone und liegt auch noch auf einem Hotspot (s. 3.2 Geographische Einordnung Islands).

Die meisten Vulkane, die über Hot Spots liegen, liegen nicht auch noch an einer Subduktionszone. Sie werden Intraplatten-Vulkane genannt, da sie sich innerhalb einer Lithosphären-Platten, befinden. Sie erhalten ihre Energie durch Hot Spots, die über einem Plume liegen (siehe 3.2 Geographische Einordnung Islands). Die Hot Spots sind ortsstabil, sie wandern also nicht mit der sich bewegenden Platte mit. So entstehen lange Ketten an Vulkanen, die je weiter sie vom Hot Spot entfernt sind, geologisch immer älter werden. Ein sehr gutes Beispiel hierfür sind die Hawaii Inseln (vgl. Stefan Schorn et al., 04.02.2015).

3.1.2 Formen von Vulkanen

Die bekannteste Form von Vulkanen ist der Stratovulkan, der durch seinen steilen, kegelförmigen Krater gekennzeichnet ist. Diese Vulkane entstehen, wenn sich abwechselnd Lavaströme und Pyroklastite über einander lagern. Als Pyroklastite bezeichnet man Bruchstücke von Lava oder anderem vulkanischem Auswurfmaterial.

Die Vulkanform, die mit ca. 95% die mit Abstand größte Gruppe der Vulkane auf der Erde ausmacht, sind die Schildvulkane. Sie entstehen durch sehr flüssige, meist basaltische Lava.

Schildvulkane nehmen eine sehr große Fläche ein, erreichen dabei aber kaum nennenswerte Höhen. Diese Vulkanform ist auch auf Island in der größten Anzahl zu finden.

In Bezug auf Island trifft man immer wieder auf sogenannte Spaltenvulkane, einer speziellen Form von Vulkan. Diese Vulkane haben keinen zentralen Vulkanschlot, wie die Strato- oder Schildvulkane, sondern besitzen einen langen Spalt, aus dem das Magma austritt. An den Seiten der Spalten entstehen kleine Gebirgsketten. Spaltenvulkane können eigenständig auftreten, wie z.B. in Neuseeland oder als Teil von Strato- oder Schildvulkanen (Bsp. Hekla, Island). Außerdem treten sie am Mittelozeanischen Rücken auf. Hier findet „sea floor spreading“, also eine Neubildung von Meeresboden durch vulkanische Aktivität, statt.

Eine oft auf Island vorhandene vulkanische Struktur sind die Calderen. Dies sind ehemaligen Stratovulkane, die durch ein Einstürzen der Magmakammer einen breiten Krater bekommen haben. Die Wände dieses Kraters können durch Erosion so instabil werden, dass sie einstürzen. Ein solcher Krater wird nun als Caldera bezeichnet. Die Calderen können mehrere Kilometer im Durchmesser betragen. Außerdem können sich in einer Caldera durch Regenwasser Kraterseen bilden. Auf Island verstecken sich viele Caldera-Vulkane unter einem dicken Eisanspanzer und sind nicht sofort als solche zu erkennen, was sie aber nicht weniger gefährlich macht, wie ich noch erläutern werde (vgl. Stefan Schorn et al., 04.02.2015).

3.2 Geographische Einordnung Islands

Island ist im Nordatlantik knapp südlich des Polarkreises zu finden. Geologisch gesehen ist Island mit einem Alter von ca. 17 – 20 Millionen Jahren noch sehr jung. Dieses Alter ist auf die interessante Lage Islands auf dem Mittelatlantischen Rücken zurückzuführen. Als Teil des Mittelatlantischen Rückens bildet Island ein Gebirge aus Vulkangestein, das bis über Meereshöhe ragt. Abbildung 5 zeigt eine divergente Plattengrenze, wie sie am Mittelatlantischen Rücken vorkommt.

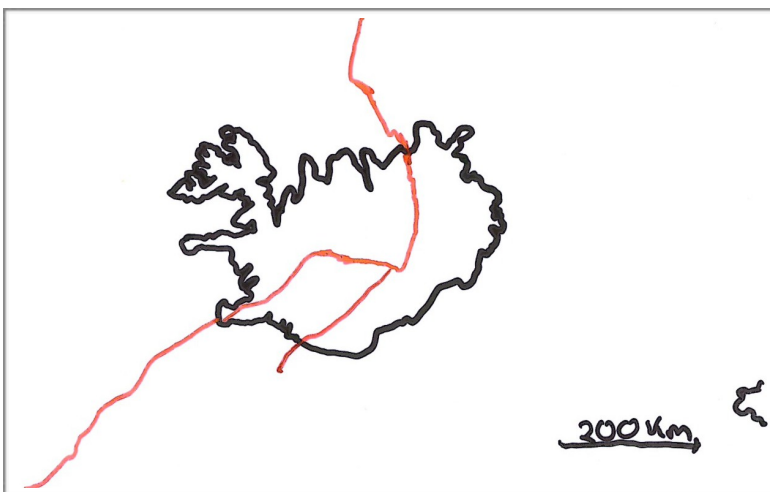


Abb. 5: Karte von Island & Mittelatlantischer Rücken, Lykke Ibbeken, 31.05.2015

Auf der Westseite Islands befindet sich die Nordamerikanische Platte und auf der Ostseite die Eurasische. Diese beiden Platten driften mit einer Geschwindigkeit von zwei Zentimetern pro Jahr auseinander. Durch diese Drift wird die vulkanische Aktivität des Mittelatlantischen Rückens hervorgerufen. Island wächst somit etwa zwei Zentimeter pro Jahr in Ost-West-Richtung. Dies tut Island allerdings nicht gleichmäßig, sondern immer etwas mehr in Ost- als in West-Richtung (vgl. Wikipedia: Island, 22.01.2015, <https://de.wikipedia.org/wiki/Island>).

Die vulkanische Aktivität Islands ist jedoch nicht nur auf den Mittelatlantischen Rücken zurückzuführen, sondern auch auf die Lage über einem Plume. Dieser sorgt mit seinen sehr starken Konvektionsströmungen in der Asthenosphäre, also dem oberen Teil des Erdmantels in einer Tiefe von 120 – 600 km, für eine starke Vulkanaktivität auf Island. Durch den Plume wird immer wieder heißes Magma in die Erdkruste befördert, wo es sich durch Ritzen und Spalten seinen Weg an die Erdoberfläche sucht (vgl. Wikipedia: Island, 22.01.2015, <https://de.wikipedia.org/wiki/Island>; vgl. Scivit, unbekannter Autor: Konvektionsströmungen, <http://www.scivit.de/glossar/geologie/konvektion.html> 22.01.2015,; vgl. Jochen Zielke, 22.01.2015).

3.3 Wie kann das Klima Vulkane beeinflussen?

3.3.1 Postglaziale Landhebung

Während der letzten Eiszeit, die vor etwa 10.000 Jahre endete, waren Nordeuropa, Sibirien und Nordamerika sowie Kanada und Alaska und somit auch Island von großen Massen Inlandeis bedeckt. Die Eismassen drückten die darunter liegende Erdkruste weiter in den zähflüssigen Erdmantel hinein. Da der Erdmantel eine hohe Viskosität besitzt, flossen Teile des Erdmantels, sehr langsam aber stetig, an den Seiten ab. Durch diesen Prozess sank die Erdkruste unter den Eismassen ab, während die Erdkruste im Umfeld der Eismassen langsam anstieg.

Doch am Ende der Eiszeit vor ca. 10.000 Jahren begann das Eis zu schmelzen und der Prozess kehrte sich um. Diese Umkehrung kann man noch heute erkennen, denn auch heute steigen Teile Skandinaviens, Sibiriens, Nordamerikas sowie Alaskas und Kanadas an.

Diese Hebung lief in zwei Phasen ab. Die erste endete vor ca. 2.000 Jahren. In dieser ersten Phase stieg die vom Eis befreite Erdkruste mit ca. 75 mm pro Jahr recht schnell an. Währenddessen sank das umliegende Land, durch die Umkehrung, mit ca. der gleichen Geschwindigkeit ab.

Danach setzte die zweite Phase ein, in der die Hebung bzw. Senkung mit nur noch ca. 25 mm jährlich, deutlich geringer wurde. Heute bewegen sich die Landmassen nur noch um ca. 10 mm im Jahr.

Diese drastische Hebung, die seit der letzten Eiszeit ca. 800 m beträgt, ist in Skandinavien vielerorts sichtbar (Wikipedia: Schweden, <https://de.wikipedia.org/wiki/Schweden>, 11.12.2015). So erzählen Bauern und Landbesitzer von aus dem Boden wachsenden Steinen. Alte Fischerhütten stehen, durch die Hebung, viel zu weit von der heutigen Küstenlinie entfernt (vgl. unbekannter Autor, 20.04.2015, katgo.wordpress.com).

Es kann jedoch auch zur vermehrten Bildung von Spannungszonen kommen.

Durch diese Spannungszonen könnten vermehrte Bergstürze in den Norwegischen Fjorden entstehen. Diese Bergstürze könnten, wie z. B. auch das Kalben von großen Gletschern, zu Tsunamis führen (vgl. unbekannter Autor, 20.04.2015, tsunami-alarm-system.com).

3.3.2 Auswirkungen der postglazialen Landhebung auf Islands Vulkane

Die Erkenntnis, dass das Abschmelzen von Eismassen aufgrund einer Klimaveränderung solche massiven geologischen Folgen haben konnte, bestärkte mich in meiner Hypothese, dass der Klimawandel auch Auswirkungen auf den Vulkanismus haben könnte. Ich vermute, dass ein klimabedingtes Abnehmen des Eisdrucks auf Island zu einer erhöhten Vulkanaktivität führen könnte.

Das erkläre ich mir folgendermaßen: Durch Druckveränderungen ausgelöste Hebungs- und Senkungsbewegungen können zu Spannungen in der Erdkruste führen. Diese Spannungen lösen sich in Form von Erdbeben, welche wiederum Vulkanausbrüche hervorrufen können. Die Bewegungen in der Erdkruste können auch direkt zu Vulkanausbrüchen beitragen. Diese werden indirekt durch die Spannungen hervorgerufen. Spalten entstehen, die es dem Magma und den Gasen erleichtern aufzusteigen. Eine erhöhte Vulkanaktivität, wahrscheinlich auch gepaart mit Ausbrüchen, wäre die Folge.

Auf Island gibt es zwar keinen großen Eisschild mehr, aber dennoch sind ca. 10 % der Landfläche von Gletschern bedeckt. Unter diesen Gletschern befinden sich verschiedene Vulkane, z. B. die Katla. Der Eispanzer auf den Vulkanen wirkt wie ein Deckel auf einem Topf, der den Druck auf die Gase und das Magma erhöht und es somit in tieferen Schichten des Erdmantels hält. Die Erklärung hierfür ist, dass das Magma bei einem erhöhten Druck, der durch das Eis hervorgerufen wird, das umliegende Gestein nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt einschmelzen kann. Außerdem werden die Gase am Aufsteigen gehindert, denn auch diese können nicht gegen den hohen Druck ansteigen.

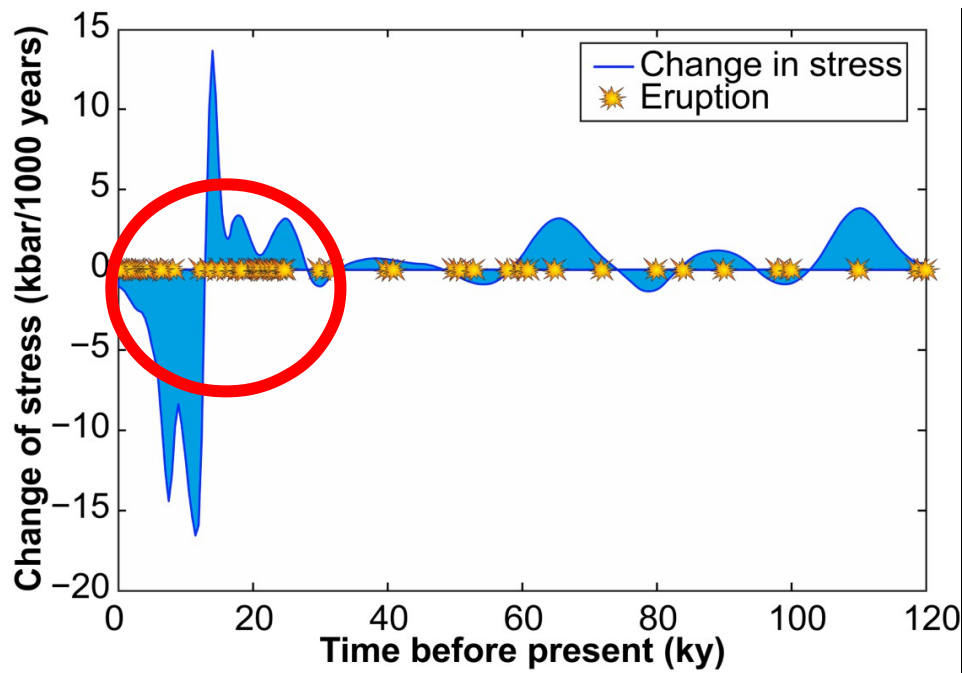
Würden diese Eismassen nun, in geologischer Zeitrechnung gerechnet schnell, abschmelzen so würde der Druck auf die isländischen Vulkane rapide abnehmen, es würde viel mehr Gestein eingeschmolzen werden und Magmakammern nahe der Oberfläche füllen. Ist der Druck in diesen Magmakammern erstmal groß genug oder entstehen Spalten zur Oberfläche, bricht der Vulkan aus.

3.3.3 Forschungsergebnisse, die meine Hypothese stützen

Während meiner Recherche stieß ich durch einen Zeit-Artikel auf den Geologen Dr. Kutterolf. Dieser hatte sich mit Vulkanen im Pazifik beschäftigt und war so freundlich, mir eine Publikation zur Verfügung zu stellen.

Die Autoren der Publikation (Kutterolf et al. (2012)) haben vermutet, dass der Oberflächenvulkanismus nach der letzten Eiszeit deutlich zunahm. Dies haben sie an 49 Vulkanausbrüchen in Zentral-Amerika erforscht. Dabei haben sie das im Meer abgelagerte Auswurfmaterial der Vulkane untersucht. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass ein Zusammenhang zwischen Klimaveränderungen und Vulkanausbrüchen bestehen muss.

Als Auslöser für die Zunahme der Aktivität des Oberflächenvulkanismus stellten sich vermehrte Spannungen in 20 km Tiefe in der Erdkruste heraus. In dieser Tiefe befinden sich die Magmareservoirs. Werden diese durch Druck- und Spannungsänderungen in der Erdkruste beeinflusst, liefern sie mehr Magma in die weiter oben liegenden Schichten des Erdmantels und der Erdkruste. Durch das aufsteigende Magma nimmt die Aktivität der oberhalb liegenden Vulkane zu (vgl. Steffen Kutterolf, 30.11.2012, S. 2-5).



(Steffen Kutterolf, 28.01.2015)

Da diese Veränderungen aber zeitlich versetzt ablaufen, treten auch die Vulkanausbrüche mit leichter Verzögerung nach der Entgletscherung und den damit zusammenhängenden Spannungsänderungen auf. Diesen Zusammenhang kann man in Abb. 6 erkennen. Auf der Y-Achse wird der Stresslevel in der Erdkruste angegeben. Auf der X-Achse ist die Vergangenheit von heute bis vor 120.000 Jahren angegeben.

In der Mitte der Y-Achse befindet sich die Nulllinie, wenn also keine Spannungsveränderungen in der Erdkruste vorkommen. Die blaue Linie mit ihren Peaks zeigt nun den Stresslevel in der Erdkruste in Form von Druckschwankungen in Kilobar (kbar) an. Dieser Druck kann stark ins Negative als auch ins Positive schwanken.

Außerdem erkennt man in der Abbildung die Vulkanausbrüche. Sie sind in dieser Grafik als kleine Explosionen dargestellt. Man erkennt deutlich, dass in dem rot markierten Bereich im Vergleich zu den vorherigen Jahren deutlich mehr Ausbrüche stattfanden.

Gleichzeitig kann man erkennen, dass die Stressrate der Erdkruste stark schwankt und sehr hohe Peaks ins Positive wie auch ins Negative auftreten.

Die leichte zeitliche Verzögerung der Ausbrüche ist etwas schwer zu erkennen. Aber wenn man die höchsten Peaks in diesem Bereich betrachtet und dann die Ausbrüche, ist zu erkennen, dass diese nach kurzer Zeit folgen. Ebenso verhält es sich mit den Tiefpunkten der Peaks.

Die etwas ruhigeren Phasen der Vulkanaktivität sind wieder zeitlich verzögert zu erkennen. Somit hat sich die Hypothese von Herr Kutterolf, was die Pazifischen Vulkane betrifft, bestätigt. Diese Daten lassen sich auch auf Island übertragen und stützen meine Hypothese für Island (vgl. Steffen Kutterolf, 30.11.2012, S. 2-5).

3.3.4 Das Beispiel Katla

Ein isländisches Beispiel für einen solchen Vulkan ist die Katla. Sie liegt unter dem viertgrößten Gletscher Islands, dem Mýrdalsjökull. Im Durchschnitt brach die Katla zwei Mal pro Jahrhundert aus. Doch der letzte Ausbruch fand bereits 1918 statt. Ein neuer Ausbruch ist also zu erwarten und wird immer wahrscheinlicher. Außerdem folgen die Ausbrüche der Katla meist denen des Nachbarvulkans Eyafjallajökull. Dieser brach bereits im März 2010 aus.

Nicht nur im pazifischen Raum, sondern auch in der Geschichte Islands gab es aber noch deutlichere Zeichen von einem Zusammenhang zwischen dem Klima und der Vulkanaktivität.

Vor 12.000 Jahren brachen viele verschiedene isländische Vulkane 100 mal öfter als zuvor aus. Diese Veränderung ist direkt im Zusammenhang mit dem drastischen Rückgang der Gletscherflächen auf Island zu bringen. Damals bedeckten diese noch nahezu die gesamte Insel, wo es heute nur noch ca. 10 % sind.

Wie viel Einfluss eine solche Entgletscherung haben kann, zeigte sich ca. 2.000 Jahre später, als die vulkanische Aktivität ihren Höhepunkt erreichte.

Heute ist diese Aktivität wieder abgeflacht, was auch damit zusammenhängt, dass wir uns am Ende einer Warmzeit befinden. Die größten Auswirkungen sind also bereits vorüber (vgl. Wikipedia: Katla, <https://de.wikipedia.org/wiki/Katla>, 26.01.2015).

3.4 Gefahren, die im Zusammenwirken von Klima und Vulkanen entstehen

Der Rückgang der Gletscherflächen führt nicht nur zu vermehrten, sondern auch zu explosiveren Ausbrüchen. Diese werden dann auch für die Bevölkerung vor Ort zur Gefahr.

Das ist auf folgende Weise zu erklären: Das Eis der Gletscher schmilzt, das Schmelzwasser sucht sich durch Ritzen und Spalten einen Weg durch das Gestein und trifft schließlich auf das sehr viel heißere Magma. Hier dehnt sich das Wasser blitzartig aus. Dieses tut es schon bei normalem Druck zu tausendfachem Volumen, doch das Wasser steht unter starkem Druck und das Magma hat eine Temperatur von 800 – 1.000 °C. Das blitzartig erhitzte Wasser explodiert und zerreißt das Magma zu „Bims“ (poröses Vulkangestein) und Asche. Diese werden aus dem Vulkan geschleudert und können schwerwiegende Schäden anrichten.

Eine weitere Gefahr von schmelzenden Gletschern sind die Lahare. Dies sind von Vulkanen ausgehende Schlamm und Schuttströme, die eine enorme Kraft entwickeln können. Sie entstehen, wenn durch schnelles Abschmelzen von Gletschern Gletscherläufe entstehen. Diese nehmen, mit ihren enormen Wassermassen, auf ihrem Weg ins Tal Schlamm, Geröll und zum Teil Trümmer mit.

Auf Island wurden z.B. nach dem Ausbruch 2010 Brücken beschädigt und die wichtigste Ringstraße Island musste teilweise eingerissen werden, um Schlimmeres zu vermeiden.

3.5 Ist mit einem Abschmelzen der Gletscher auf Island zu rechnen?

3.5.1 Die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5

Für den fünften Sachstandsbericht des IPCC, der 2013 veröffentlicht wurde, wurden RCP-Szenarien verwendet. Bei diesen Szenarien ist der Ausgangspunkt die Konzentration und der Strahlungsantrieb der Treibhausgase; damit unterscheiden sie sich grundlegend von den SRES-Szenarien, bei denen der Schwerpunkt auf die Emission gelegt wird. Aus den Treibhausgaskonzentrationen, die für die RCP-Szenarien angenommen werden, kann dann wieder Rückschluss auf die Emissionen gezogen werden, die nötig sind, um die festgelegte Konzentration zu erreichen. Aus den Treibhausgaskonzentrationen werden dann auch Klimaänderungen abgeleitet (vgl. Dieter Kasang, 28.01.2015).

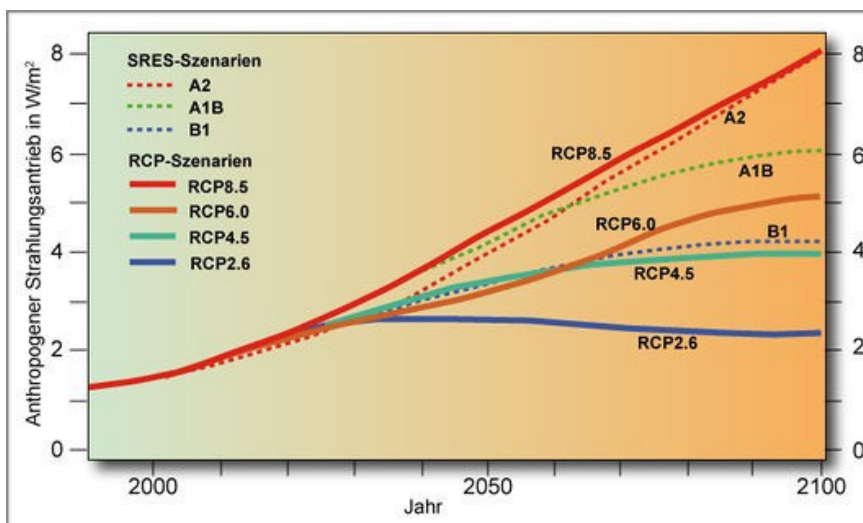


Abb. 7: Szenarien RCP und SRES (Dieter Kasang, 28.01.2015)

In Abbildung 7 kann man die Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien im Vergleich zu den früher verwendeten SRES-Szenarien erkennen. Ich habe in meiner Arbeit nur die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 verwendet und werde deswegen nur auf diese eingehen.

3.5.1.1 Das Szenario RCP4.5

Das Szenario RCP4.5 ist ein mittleres Szenario. Eine Zunahme der Weltbevölkerung bis 2100 auf knapp über 9 Mrd. Menschen würde dieses Szenario wahrscheinlich machen. Dementsprechend müsste der Energieverbrauch steigen, ein Energiemix könnte z.B. zu etwas mehr als ein Drittel aus umweltfreundlichen, regenerativen Energiequellen, also welchen, die kein CO₂ produzieren, gewonnen werden.

Aus dem RCP4.5-Szenario würde folgen, dass sich die Temperaturen im Vergleich zu der vorindustriellen Zeit nur recht moderat verändern. Die Niederschläge könnten sich insofern ändern, als dass die trockenen Bereiche trockener werden und die feuchten Bereiche feuchter (vgl. Dieter Kasang, 30.11.2015).

3.5.1.2 Das Szenario RCP8.5

Das Szenario RCP8.5 ist ein extremeres Szenario. Es würde durch einem enormen Anstieg der Weltbevölkerung auf über 12 Mrd. Menschen in Jahr 2100 wahrscheinlich werden. Daraus folgt ein drastischer Anstieg des Energieverbrauchs. Die Energie wird dabei zum großen Teil aus fossilen Energiequellen gewonnen.

Daraus folgen Temperaturwerte, die im Durchschnitt 4,8 °C höher sind als die Werte in vorindustrieller Zeit. Die Temperaturanstiege sind jedoch nicht überall gleich, sondern sind von Ozeanen und Landflächen abhängig. So würde die Temperatur im Binnenland nach dem Szenario RCP8.5 um 6 °C und mehr ansteigen, während sie an den Küsten nur um 4 °C ansteigen. Eine weitere Ausnahme bildet das Nordpolarmeer, hier ist eine Temperaturzunahme von bis zu 11 °C möglich.

Die Niederschläge könnten in manchen Regionen um bis zu 75 % abnehmen. In Nordeuropa sind allerdings Zunahmen um die 25 % zu erwarten (vgl. Dieter Kasang, 30.11.2015). Auch unter diesem Szenario wäre zu erwarten, dass trockene Regionen trockener und feuchte Regionen feuchter werden.

3.5.2 Prognosen für die Temperaturentwicklung auf Island

3.5.2.1 Differenzkarte 1:

2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP4.5

Abbildung 8 zeigt die nach RCP4.5 prognostizierte Temperaturveränderung auf Island in zwei Meter Höhe. Diese wird im Zeitraum von 2071 – 2100 im Vergleich zum Zeitraum von 1971 – 2000 betrachtet.

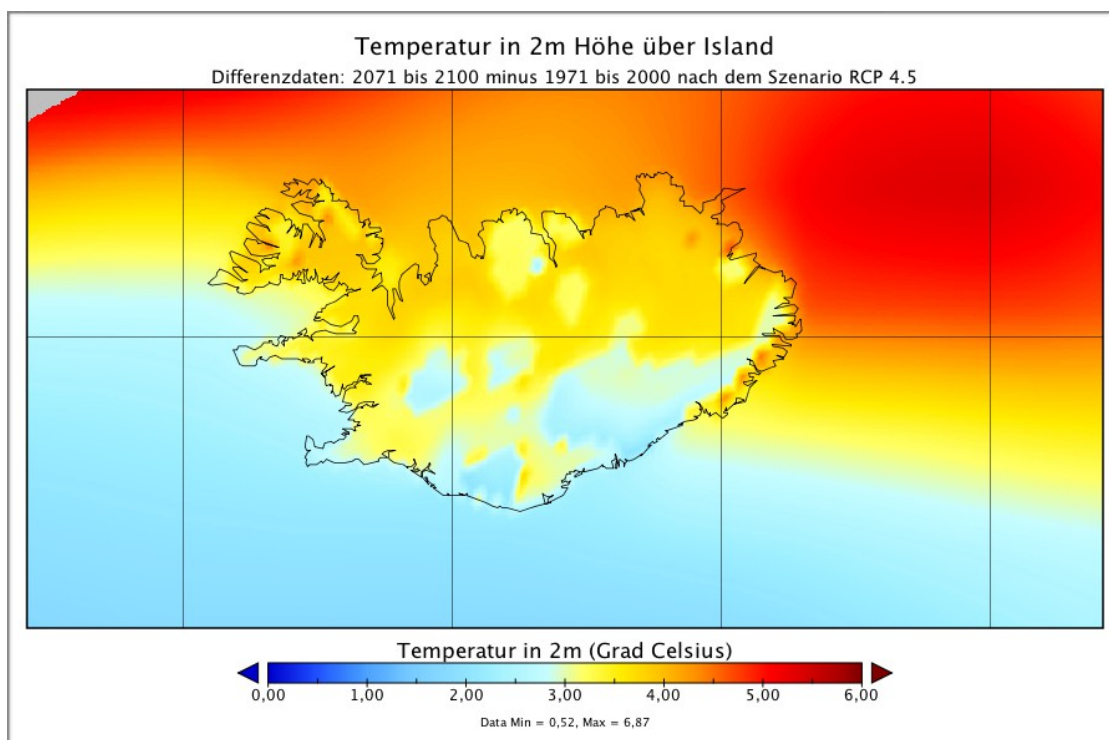


Abb. 8: Temperaturentwicklung auf Island nach RCP4.5

Die Differenzdaten von 2071 – 2100 minus 1971 – 2000 zeigen einen lokal unterschiedlichen Temperaturanstieg über Island. Jedoch ist zu erkennen, dass sich die Jahresmitteltemperaturen auf Island nach Szenario RCP4.5 überall um mindestens 2 °C erhöhen werden.

Dieser Anstieg kann schon erhebliche Folgen haben, doch im Norden von Island ist die Temperaturveränderung noch viel höher. Dieses Phänomen ist auch von anderen polnahen Regionen bekannt und hängt mit dem Abschmelzen des Eises zusammen. Im Norden von Island wird ein Temperaturanstieg von bis zu 4,5 °C auf der Insel prognostiziert, während sich der Ozean im Norden um bis zu 6 °C erwärmt. Es gibt allerdings auch Bereiche, gerade im Süd-Westen der Insel, in denen im Vergleich zur Umgebung, erheblich geringere Temperaturveränderungen stattfinden. Dies ist vor allem auf die dort vorhandenen Gletscherflächen (siehe Abb. 5 auf S. 11 Karte aus „b) Einordnung Islands“) zurückzuführen, die eine schnelle Zunahme der Temperatur durch ihre enorme Kühlwirkung verhindern. Schmelzen diese Gletscher allerdings weiter ab, weil die Temperatur über einen längeren Zeitraum zu hoch bleibt, so dreht sich diese Wirkung um und die Erdschichten unter dem Gletscher werden sich ähnlich schnell wie ihre Umgebung erwärmen.

3.5.2.2 Differenzkarte 2:

2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP8.5

Die zweite Differenzkarte zeigt wieder die Temperaturveränderung auf Island in einer Höhe von zwei Metern. Allerdings liegt dieser Karte das Szenario RCP8.5 zugrunde. Die Zeiträume sind mit denen der Differenzkarte 1 (s. Abb. 8) identisch. Wieder wird vom Zeitraum 2071 – 2100 minus dem Zeitraum 1971 – 2000 ausgegangen.

Mit dieser extremeren Karte möchte ich zeigen, was passieren würde, wenn die Menschen weiterhin so sorglos CO₂ in die Atmosphäre entweichen lassen. Außerdem möchte ich verdeutlichen, dass schon überschaubare Veränderungen zu deutlichen Ergebnissen führen können.

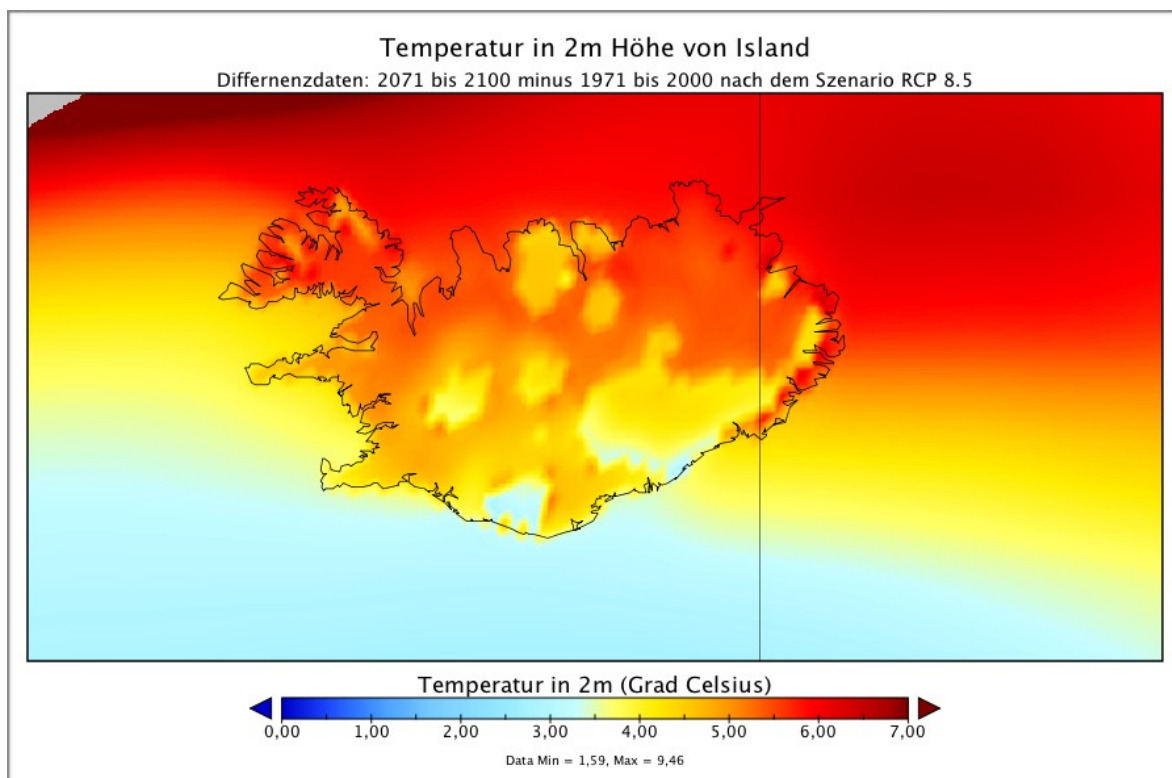


Abb. 9: Temperaturentwicklung auf Island nach RCP8.5

Die Karte zeigt, wie im Szenario zuvor, die Verteilung der Temperaturänderung über die Insel. Von Süden nach Norden wird es immer wärmer. Wenn man von diesem Szenario ausgeht, bewegt sich der Temperaturanstieg allerdings zwischen 3 °C und 6 °C. Während im Atlantik südlich von Island eine Temperaturzunahme von „nur“ 3 °C prognostiziert wird, könnten die Temperaturen in Richtung Norden deutlich stärker steigen. So ist über dem Ozean nördlich von Island eine dramatische Temperaturzunahme von 5.5 °C bis 7 °C zu erwarten.

Auf der Insel selbst können wieder Bereiche erkannt werden, in denen die Temperaturerhöhung vergleichsweise gering ausfällt. Ziemlich exakt unter ihnen befinden sich die Gletscherflächen Islands. Sie kühlen, wie schon erklärt, die Gebiete. Bei einer so starken Temperaturzunahme ist allerdings ein deutlicher Rückgang des Gletschereises und dementsprechend langfristig auch in diesen Gebieten eine deutliche Temperaturzunahme zu erwarten.

3.5.3 Prognosen für die Entwicklung der Schneebedeckung auf Island

3.5.3.1 Differenzkarte 3:

2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP 4.5

Die in Abb. 10 gezeigte Differenzkarte habe ich zusätzlich zu den Temperatur Differenzkarten erstellt um noch genauere Aussagen über die Gletscherentwicklung zu erlangen.

Diese Differenzkarte zeigt wieder Island nach dem Szenario RCP4.5. Aus dieser Karte entnehme ich die prognostizierte Schneebedeckung im Zeitraum von 2071 – 2100 minus dem Zeitraum 1971 – 2000.

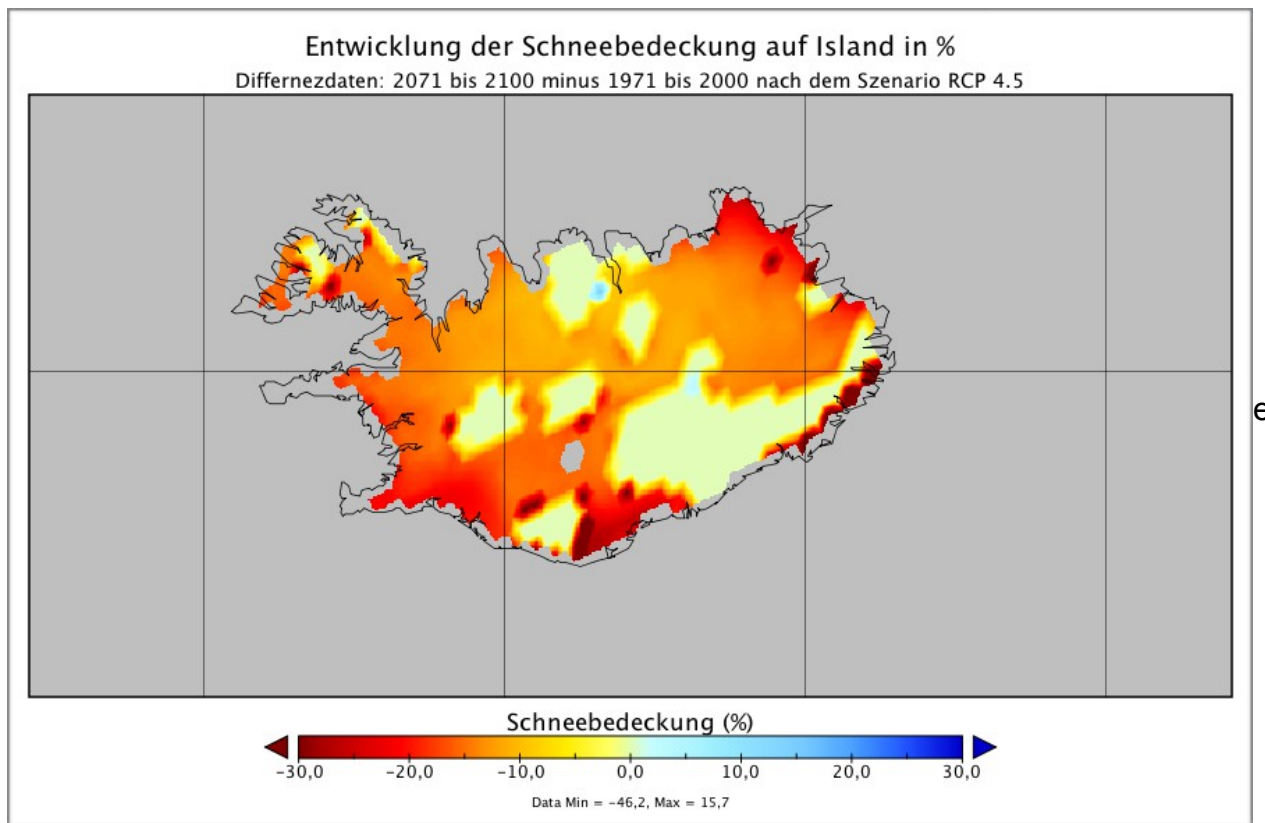


Abb. 10: Entwicklung der Schneebedeckung auf Island nach dem Szenario RCP 4.5

Auf der Karte stellen die roten Bereiche die Gebiete dar, in denen ein besonders starker Rückgang der Schneebedeckung prognostiziert wird. Auffällig sind die großen gelben Bereiche, in denen weniger Eis wegschmilzt. In diesen Bereichen liegt die Abnahme der Schneebedeckung lediglich bei 0 – 5%. Unter diesen Gebieten befinden sich die Gletscher Islands. Diese verlangsamen durch ihre enorme Masse das Abschmelzen des Eises. Die roten Bereiche sind vor allem an den Küsten oder in Gebieten mit wenig Höhe zu finden. Hier wirkt sich die Temperaturerhöhung von ca. 3,5 °C negativ auf die Schneebedeckung aus. Diese nimmt um ca. 15 – 22% ab. An den Küsten nehmen die Temperaturen nach RCP4.5 (s. Abb. 4) zu, dies allerdings nicht mehr als im restlichen Island.

Dass an den Küsten trotzdem ein stärkerer Rückgang der Schneebedeckung prognostiziert wird, hängt wahrscheinlich mit der geringen Höhe zusammen. In den tieferen Lagen fällt weniger Schnee, der sich ablagern könnte.

Im Norden Islands ist ein gelber Bereich mit einem kleinen hellblauen Punkt zu erkennen. In dem Gebiet, das blau dargestellt wird, wird also eine Zunahme der Schneebedeckung um ca. 10 – 15% prognostiziert. In diesem Gebiet gibt es allerdings keine großen Eisflächen. Eine Erklärung für die prognostizierte Zunahme der Schneebedeckung könnten die kalten Meeresströmungen aus der Arktis sein. Diese müssten allerdings an mehreren Stellen an der Küste solche Prognosen hervorrufen.

Eine andere Erklärung könnte die hohe Lage des Punktes sein, aber auch diese ist nicht ungewöhnlich und die Karte müsste mehr solcher Punkte aufweisen. Diesen Punkt kann ich nicht überzeugend erklären.

Den Rest der Schneebedeckungs-Prognose habe ich so erwartet, sie bestätigt meine Hypothese.

3.5.3.2 Differenzkarte 4:

2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000 nach dem Szenario RCP8.5

Auch für die Schneebedeckung habe ich das Szenario RCP8.5 noch zusätzlich zu dem Szenario 4.5 aufgeführt, um einen Vergleichswert zu haben und um darzustellen, was schon eine kleine Veränderung im Verhalten der Menschen bewirken könnte.

Die vierte Differenzkarte (s. Abb. 11) zeigt wieder die Schneebedeckung auf Island in % im Zeitraum von 2071 – 2100 minus 1971 – 2000.

Wie oben bereits erwähnt, kennzeichnen rote Bereiche Gebiete, in denen die Schneebedeckung stark abgenommen hat und blaue das Gegenteil, also eine Zunahme der Schneebedeckung.

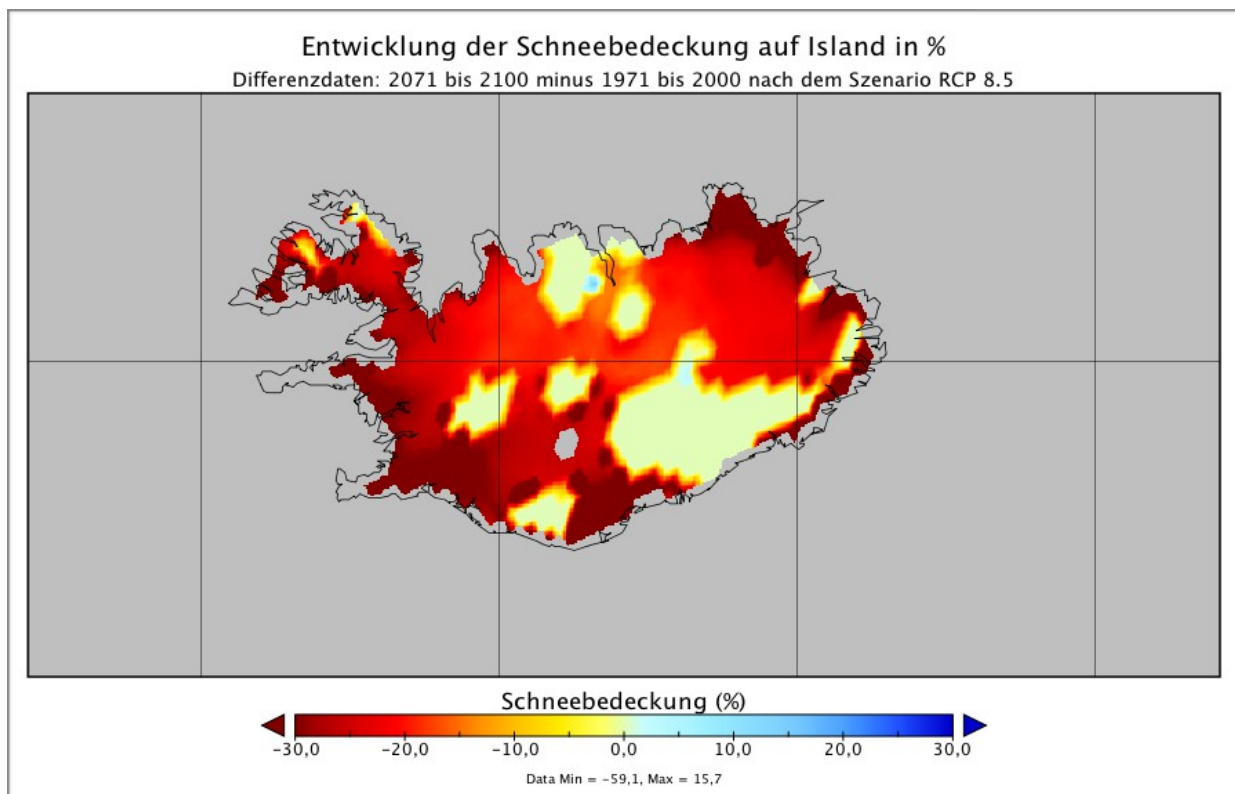


Abb. 11: Entwicklung der Schneebedeckung auf Island nach dem Szenario RCP 8.5

Auch auf dieser Karte sind gelbe Bereiche zu erkennen, die sich über den Gletschern befinden. Das heißt also, dass auch bei einer starken Temperaturerhöhung von ca. 4 °C (s. Abb. 10) die Schneebedeckung rund um die Gletscher nur langsam abnimmt. Das ist ein erfreuliches Ergebnis, allerdings ist die Abnahme der Schneebedeckung im restlichen Island leider um einiges höher.

So wird in großen Gebieten eine Abnahme der Schneebedeckung von ca. 20 % prognostiziert. An den Küsten hat sich die bereits in der Differenzkarte 3 (Abb. 11) prognostizierte verstärkte Abnahme weiter bestätigt. In diesen Bereichen kommt es zu Abnahmen von über 30 %.

Auch in der Differenzkarte 4 (s. Abb. 11) ist wieder ein kleiner Bereich im Norden Islands zu erkennen, der trotz der starken Temperaturerhöhung eine Zunahme der

Schneebedeckung aufweist. Diese Zunahme hat sich in Vergleich zur Differenzkarte 3 nicht verändert. Allerdings haben sich auch die Gletscherbereiche nicht sehr stark verändert. In diesen Bereichen nimmt eine drastische Abnahme der Schneebedeckung wahrscheinlich mehr Zeit in Anspruch, als auf dem Rest der Insel.

Dass die Schneebedeckung trotz der erhöhten Temperatur im Szenario so wenig abnimmt, finde ich erstaunlich. Ich hätte erwartet, dass bei dem Szenario RCP8.5 eine noch deutlichere Abnahme der Schneebedeckung prognostiziert werden würde. Die in der Karte dargestellten Prognosen kann ich mir deswegen nur mit der enormen Dicke der Gletscher erklären, die wahrscheinlich verhindert, dass diese schneller abschmelzen.

3.6 Zusammenfassendes Fazit von Teil 2

In den oberen Kapiteln habe ich ausführliche Informationen gegeben, um meine Hypothese zu bewerten. Diese möchte ich nun kurz zusammenfassen.

Die Temperaturentwicklung auf Island nach dem Szenario RCP4.5 und RCP8.5 prognostiziert eine mehr oder weniger starke Temperaturerhöhung. Diese wirkt sich negativ auf die Schneebedeckung Islands aus. Da die Temperaturänderung und die Schneebedeckungsänderung allerdings geringer über den Gletscherflächen ausfallen als über dem Rest Islands, ist der Einfluss des Klimawandels auf die Gletscherflächen Islands geringer, als ich erwartet hatte.

Doch was heißt das nun für die Aktivität der Vulkane?

Meine Hypothese, dass der anthropogene Klimawandel die Aktivität der Vulkane auf Island verstärken könnte, wird durch meine Untersuchung verifiziert. Allerdings sind die Auswirkungen der Erwärmung zeitlich versetzt zu erwarten, da die Gletscher für eine gewisse Zeit „kühlend“ wirken. Außerdem dauert es, bis die Druckabnahme durch die abschmelzenden Gletscher zum Auffüllen der Magmakammern und damit zu verstärkten Ausbrüchen führt.

4. Fazit unserer Arbeit

Im Rahmen unserer Arbeit haben wir am Beispiel Island belegt, dass nicht nur das Klima durch Vulkanausbrüche beeinflusst wird, sondern dass diese vulkanischen Aktivitäten auch Einfluss auf klimatische Prozesse in der Zukunft nehmen können.

Meteorologen und Geologen können also durchaus etwas voneinander lernen.

5. Danksagung:

Hiermit möchten wir Herrn Kasang für seine tatkräftige Unterstützung bei unserer Klimaprojekt Ausarbeitung danken, insbesondere möchten wir uns für die Hilfestellung bei der Arbeit mit Panoply bedanken.

Ebenfalls eine große Unterstützung im Themenbereich, wie kann das Klima Vulkane beeinflussen, war Herr Kutterolf. Hiermit möchten wir Ihnen ein herzliches Dankeschön aussprechen. Des Weiteren möchten wir uns für die ausführlichen Quellen und die zur Verfügungstellung der Grafiken bedanken.

Im Themenbereich, wie können Vulkane das globale und regionale Klima beeinflussen, war uns Herr Bittner eine große Hilfe. Dafür danken wir Ihnen sehr.

Unser Biologie- und Erdkunde-Lehrer Herr Sanheim war uns in vielen Bereichen des Klimaprojekts eine ausgesprochen gute Unterstützung. Für die gute Unterstützung möchten wir uns bei Ihnen bedanken.

Zu guter Letzt möchten wir allen danken, die uns Bildmaterial und Grafiken zu Verfügung gestellt haben.

6. Quellenverzeichnis:

Bauer, J. (1998): Seydlitz Geographie 11. Sachsen. Hannover: Schroedel

Bittner, Matthias: Telefonische Mitteilung, 4.02.2015

Brunotte, E., H. Gebhardt, M. Meuer, P. Meusbrugger & J. Nipper (Hrsg.) (2002): Lexikon der Geographie. In vier Bänden. Heidelberg: Spektrum. 4.02.2015

Forkel, Matthias: Was ist Klima?. Der Unterschied zwischen Wetter und Klima.
<http://www.m-forkel.de/klima/klima.html>, 4.02.2015

Gaede, Peter Matthias Geo Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 1999, Seite 4., 4.02.2015

Hertzsch, U. (1999): Geografie in Übersichten. Berlin: Volk und Wissen. 4.02.2015

Kasang, Dieter: Klimaszenarien,
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien>, 28.01.2015

Kasang, Dieter: Kleine Eiszeit,
http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kleine_Eiszeit, 30.11.2015

Kasang, Dieter: RCP-Szenarien, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>, 30.11.2015

Kehse, Ute: Ausbruch des Vulkans Pinatubo beeinflusste Wetter in Europa.
http://www.wissenschaft.de/erde-weltall/geowissenschaften/-/journal_content/56/12054/1203615/Ausbruch-des-Vulkans-Pinatubo-beeinflusste-Wetter-in-Europa/ 11.04.15

Kutterolf, Steffen, Jegen, Marion, Mitrovica, Jerry X., Kwasnitschka, Tom, Freundt, Armin and Huybers, Peter J.: Geology, A detection of Milankovitch frequencies in global volcanic activity, published online on 30 November 2012 as doi:10.1130/G33419.1

Lingenhöhl, Daniel: Der Klimawandel heizt explosiven Vulkanen ein,
<http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2013-01/geotektonik-vulkane-klima-erderwaermung>, 02.02.2015

Schorn, Stefan und andere Autoren: Magmatismus,
<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Geologisches%20Portrait/Magmatismus/Vulkanismus?lang=de&language=german/>, 04.02.2015

Schorn, Stefan und andere Autoren: Pyroklastische Gesteine (*Pyroklastite*),
<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/RockData?lang=de&language=german&rock=Pyroklastite>, 04.02.2015

Szeglat, Marc: Pinatubo - Einer der stärksten Vulkanausbrüche des 20. Jahrhunderts.
<http://www.vulkane.net/vulkanismus/katastrophen/pinatubo.html>, 11.04.2015

Wikipedia: Das Beispiel Katla, <http://de.wikipedia.org/wiki/Katla>, 26.01.2015

Wikipedia: Geographie Islands, http://de.wikipedia.org/wiki/Geographie_Islands, 22.01.2015

Wikipedia: Pinatubo, <https://de.wikipedia.org/wiki/Pinatubo>, 30.11.2015

Scivit: Konvektionsströmungen, <http://www.scivit.de/glossar/geologie/konvektion.html>, 22.01.2015

katgo: Landhebung, <https://katgo.wordpress.com/artikel/landhebung/>, 20.04.2015

Bayerischer Rundfunk: Norwegens Küste in Gefahr, http://www.tsunami-alarm-system.com/fileadmin/media/press/articel/de/Bayerischer-Rundfunk-06_09_2007-Norwegens-Kueste-in-Gefahr.pdf, 20.04.2015

WDR: Vulkan-Inferno mit Ansage.
<http://www1.wdr.de/themen/archiv/stichtag/stichtag5512.html>, 20.04.15

Vahrenholt, Fritz, Lüning, Sebastian: Studie der University of Gloucestershire: Kleine Eiszeit war global und extremste Kältephasen ereigneten sich zu Zeiten schwacher Sonnenaktivität.
<http://www.kaltesonne.de/studie-der-university-of-gloucestershire-kleine-eiszeit-war-global-und-extremste-kaltephasen-ereigneten-sich-zu-zeiten-schwacher-sonnenaktivitat/>
20.02.15

Zielke, Jochen: Aufbau der Erde, http://www.planet-wissen.de/natur_technik/energie/erdwaerme/portraet_erdtaufbau.jsp, 22.01.2015

7. Abbildungsverzeichnis:

Deckblatt Eyjafjallajökull Ausbruch, Szeglat, Marc,
<http://www.vulkane.net/vulkane/eyjafjallajoekull/eyjafjallajoekull.html>, genehmigt

Abb. 1: Regionale Unterschiede des Klimas, unbekannter Autor, 22.02.2015,
http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/HeterogenesKlima_800-2000.png, genehmigt

Abb. 2: Temperaturveränderung in der unteren Stratosphäre 1h68-2005, Kasang, Dieter, 01.02.15
<http://bildungsserver.hamburg.de/ozon-stratosphaere/nofl/2533810/ozonveraenderung-klimawandel-artikel/>, genehmigt

Abb. 3: Vulkanologen mit Observatorium, Szeglat, Marc, 22.02.2015,
<http://www.vulkane.net/vulkanismus/monitoring/monitoring.html>, genehmigt

Abb. 4: Messstation auf dem Vulkan Vesuv, Szeglat, Marc, 22.02.2015,
<http://www.vulkane.net/vulkane/vesuv/vesuv.html>, genehmigt

Abb. 5: Karte von Island & Mittelatlantischem Rücken, Lykke Ibbeken, 31.05.2015,

Abb. 6: Auswirkung von Druckveränderung auf die Vulkanaktivität, Kutterolf, Steffen 28.01.2015, aus einer Präsentation von Steffen Kutterolf, genehmigt am 21.04.2015

Abb. 7: Wiki Klimawandel: Szenarien RCP SRES, 28.01.2015,
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>, eigene Darstellung (D.K.) nach: IPCC AR5, 2013, Figure 12.3

Abb 8 – 11: Klimakarten von Island, erstellt mit Panoply, Daten von <http://klimawissen.de>,
genehmigt