

ISLAND im Wandel

Fortschreitendes Rückschmelzen der Gletscher
Welche Folgen gehen für Mensch und Umwelt damit einher?

Bäume pflanzen für den Bodenschutz
Der Soil Conservation Service of Iceland sagt der Bodendegradation den Kampf an.

Gas into Stone
Eine Technologie, CO₂ dauerhaft zu fixieren und so dem Klimawandel entgegenzuwirken

Tourismus an der Ringstraße
Asphaltierte Spazierwege anstatt unberührter Natur

Eine Zeitschrift der Geografie-Exkursion 2019

Diese Zeitschrift wurde klimaneutral und auf FSC-zertifiziertem Papier gedruckt.



Foto: Mayer 2019

Geografische Islandexkursion 2019



Die 16-tägige Exkursion führte von Reykjavík aus in den Süden. Zunächst der Ringstraße folgend und dann über Schotterpisten des Hochlandes bot diese Route vielfältige Eindrücke.

Island gilt insbesondere unter physischen Geografen als außerordentlich spannendes Exkursionsgebiet. Auf dieser aktiven Vulkaninsel im Nordatlantik lässt sich unmittelbar beobachten wie Gesteine und Oberflächenformen neu entstehen und sofort wieder einer vielfältigen Abtragung unterliegen. Aber auch aus klimatologischer Sicht weist Island extreme Unterschiede auf. Das trockene, wüstenartige Hochland steht in starkem Gegensatz zu den intensiven Niederschlagsgebieten der Südküste und den Westfjorden. Das hydrologische System aber auch Verwitterung und Bodenbildung werden durch die spezifischen geologischen und klimatischen Bedingungen geprägt. Trotz der dünnen Besiedlung haben auch menschliche Eingriffe zu gravierende Veränderungen der subarktischen Ökosysteme geführt. So ist kaum bekannt, dass Island zu den am stärksten durch Bodenerosion betroffenen Ländern der Erde gehört. Auf unserer Exkursion konnten wir das an eindrucklichen Beispielen beobachten und

gemeinsam mit lokalen Experten diskutieren. Beste Wetterbedingungen während der Exkursion begünstigten ausgedehnte Wanderungen und Feldstudien. Durch den Einsatz einer Drohne konnten spezifische Landoberflächen und geomorphologische Prozesse aus ungewohnten Perspektiven studiert werden.

Die vorliegende Zeitschrift behandelt ausgewählte Schwerpunktthemen der Exkursion, die von den Studierenden selbst festgelegt wurden. Mit dem Leitmotiv „Island im Wandel“ soll dabei auf aktuell zu beobachtende Entwicklungen Bezug genommen werden, die während der Exkursion besonders deutlich wurden. Nicht nur der Klimawandel auch sozioökonomische Veränderungen und der Tourismus boten zahlreiche Ansatzpunkte, um das im Studium erlernte Wissen an konkreten Beispielen zu reflektieren. Im Vorfeld der Exkursion hatten sich die Studenten in einem dreitägigen Blockseminar mit individuellen Ein-

zelthemen auf die Exkursion vorbereitet. Dadurch waren sie in der Lage im Gelände eigenständig Fragestellungen zu erörtern und Diskussionen zu moderieren. Dieses didaktische Konzept steht im Gegensatz zum früheren „Frontalunterricht von Dozenten im Gelände“ und lässt den Studierenden sowohl vor Ort als auch in der Nachbereitung sehr viel mehr Gestaltungsspielraum.

Neben der vorliegenden Zeitschrift wurde ein 45-minütiger Film zur Exkursion produziert, der mit eindrucksvollen Bildern eine andere Möglichkeit der Präsentation aufzeigt. Der „Gesellschaft für Erd- und Völkerkunde zu Stuttgart (GEV)“ danken wir im Namen aller Teilnehmer sehr herzlich für die Übernahme der Druckkosten dieser Zeitschrift

**Joachim Eberle und
Hans-Joachim Rosner**

INHALT

3

Vorwort



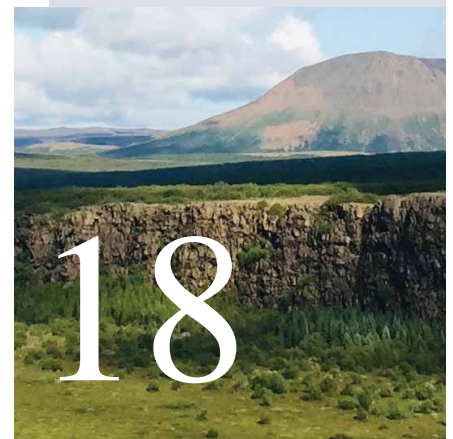
6

Gletscher in Island
Folgen des Rückschmelzens
und aktuelle Beobachtungen

12

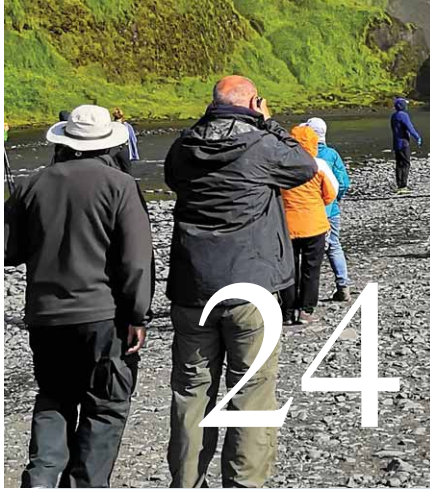
**Umstände und Misstände
isländischer Böden und
Vegetation**

Wie die landwirtschaftliche Nutzung
Böden und Vegetationsdecken
systematisch zersört.



18

**Island sagt der
Bodendegradation
den Kampf an**
Können neue Bäume Islands
Böden retten?



**Isländischer Tourismus
im Wandel**
vom Geheimtipp zum Trendziel



**Die Reaktion der Isländer
auf den Tourismus**
Früher beeindruckte Island vor
allem mit rauer und wilder Natur.
Das hat sich geändert.



Gas into Stone
Eine Möglichkeit der
dauerhaften Fixierung von
Kohlenstoff



Der Boden taut auf...
über Gründe und Auswirkungen
degradierender Permafrostböden
im isländischen Hochland

Gletscher in Island

Folgen des Rückschmelzens

Island – „das Land aus Feuer und Eis“ – ist bekannt für seine Vielzahl an außergewöhnlichen Naturlandschaften, die auf engstem Raum vereint sind. Insbesondere die Gletscher, welche in zahlreichen Dokumentationen und Reiseführern der Insel beschrieben werden, wirken als Tourismusmagnet. Über die Gletscher wurde in den letzten Jahren vor allem im Hinblick auf den Klimawandel berichtet. Die Eismassen Islands unterliegen – wie in vielen anderen Regionen der Erde – einem verstärkten Rückschmelzen.

Worauf lässt sich dies zurückführen und inwieweit sind daraus resultierende Veränderungen bereits vor Ort erkennbar? Was bedeuten diese Veränderungen für die Flüsse, die den Gletschern entspringen und für die damit verbundene Energiegewinnung? Auf diese Fragen versucht der vorliegende Artikel Antworten zu finden und zeigt Impressionen der Exkursion.

von Lisa Heim, Michael Hörz, Helena Obermeier

Rund 10 % der Landoberfläche Islands sind derzeit von Gletschern bedeckt, wobei die größten unter ihnen aufgrund der hohen Niederschläge im Süden der Insel zu finden sind. Im Norden sind nur noch wenige, überwiegend kleine Kargletscher anzutreffen.

Die Gletscher weisen einen erheblichen Einfluss auf die Landschaftsformung auf: Glazialerosion, die Bildung von Moränen jeglicher Art und Größe und die oftmals ausgedehnten Sanderflächen im Vorfeld der Gletscher verleihen der Insel ihren einzigartigen Charakter. Seit den letzten Jahrzehnten lassen sich allerdings weitreichende Veränderungen dokumentieren, welche auf den Klimawandel zurückzuführen sind.

Veränderungen in der Gletscherdynamik

Während der letzten Kaltzeit waren Island und die angrenzenden Schelfbereiche vollständig von Eis bedeckt, welches in Folge der zunehmenden Erwärmung in den vergangenen 16.000 Jahren ungleichmäßig schmolz. Durch die vergleichsweise starke Erwärmung in den letzten Jahrzehnten lässt sich in Island – wie auch in den Alpen – ein verstärktes Rückschmelzen sowohl der großen als auch der kleinen Gletscher feststellen.

Der Auslassgletscher Falljökull im Süden Islands dient als Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen des Gletscherverhaltens der letzten Jahrzehnte. Bradwell veröffentlichte im Jahr 2013 hierzu eine



Foto: Schmidt 2019

Die Gletscherlagune Jökulsárlón wird von Jahr zu Jahr größer. Ein klares Zeichen für das Schmelzen des Gletschers. Die Lagune ist mit dem Ozean verbunden, so dass die abgebrochenen Eisstücke direkt ins Meer treiben.



Überschreitung der dynamischen glaziologischen Schwelle

Üblicherweise formen sich durch das Rückschmelzen der Gletscher im Sommer und deren Vorstoß in den kalten Wintermonaten jährlich neu gebildete, sehr kleine Moränen, sogenannte „annual moraines“. Durch die Überschreitung der dynamischen glaziologischen Schwelle kommt es jedoch zu einer erheblichen Verhaltensänderung des Gletschers. Sie äußert sich darin, dass solche Moränen nicht mehr ausgebildet werden, da kleine Vorstöße des Gletschers auch im Winter nicht mehr stattfinden. Der Gletscherrand befindet sich demzufolge nicht länger im dynamischen, „geordneten“ Rückzug, stattdessen lässt sich eine beschleunigte Rückzugsrate der Eisfront feststellen.

Was ist ein Surge?

Surges bezeichnen sehr rasche Vorstöße großer Gletscher und treten oftmals periodisch auf. Die Geschwindigkeit eines solchen Vorstoßes kann bis zu 200 m pro Tag erreichen, wobei es zu einem enormen Eisabfluss in tiefere Lagen kommt. Die Ursachen für einen Surge können vielfältig sein.

Studie, welche zum Ergebnis kommt, dass der Gletscher rund 10 Jahre zuvor die dynamische glaziologische Schwelle überschritten hat.

Zwischen 2004 und 2013 hat sich der Falljökull um ca. 30 m pro Jahr zurückgezogen, was auf ein ungewöhnlich starkes Rückschmelzen des Gletschers hindeutet. Ausgehend von einer Temperaturzunahme von ca. 2 K pro Jahrhundert ist anzunehmen, dass die dynamische glaziologische Schwelle in den nächsten Jahrzehnten bei den meisten isländischen Gletschern überschritten wird.

Beobachtungen vor Ort: Surge am Svínafelljökull

Beim Vatnajökull handelt es sich um den größten Gletscher der Insel. Mit einer Ausdehnung von rund 7.800 km² stellt er darüber hinaus die größte Inlandeismasse Europas und die drittgrößte der Welt dar. Über sechs große Gebirgszüge hinweg konnte sich durch Niederschlagswerte von über 1.500 mm pro Jahr dieser ausgedehnte Plateaugletscher bilden.

Am südlichen Rand des Gletschers befinden sich zahlreiche Auslassgletscher. Einer davon ist der Svínafelljökull, der aufgrund seiner gut erreichbaren Lage bereits für den Dreh zahlreicher Hollywood-Filme genutzt wurde.

Im August 2019 zeigten sich am Svínafelljökull die Folgen eines Surge (siehe Abbildung 3). Dieser lag zum Zeitpunkt der Besichtigung im Zuge der Exkursion vermutlich erst wenige Wochen zurück und ermöglichte es, die Bildung neuer

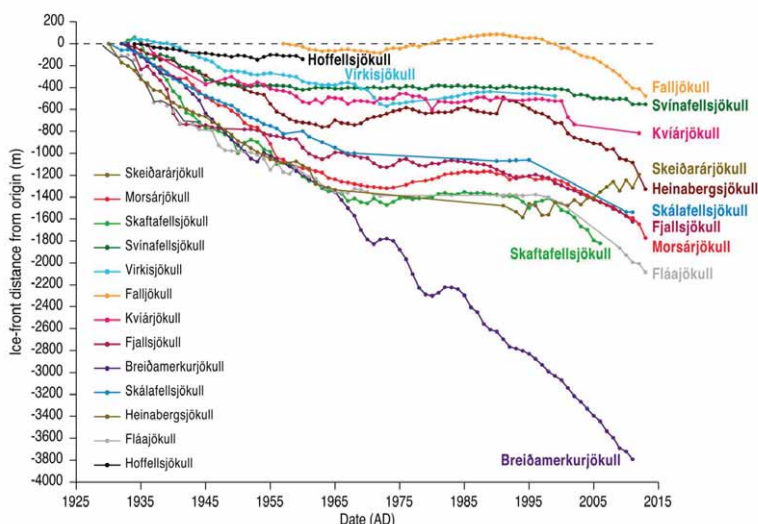


Abbildung 2: Gletscherstände der Auslassgletscher des südlichen Vatnajökull
Quelle: Evans/Ewertowski/Orton 2017



Abbildung 1:
Der Fjallsjökull mit Lagune im Süden Islands

Foto: Hörz 2019

Stauchendmoränen und die Umformung älterer glazialer Ablagerungen zu beobachten.

Die Gletscherzunge des Svínafelljökull wies durch den Surge erhebliche Veränderungen auf (siehe Abbildung 4). Am vorderen Ende der Zunge entstand ein Buckel, da diese durch den Surge und die damit verbundene überdurchschnittlich schnelle Bewegung des Gletschers nach vorne bis in die bereits bestehende ältere Moräne gedrückt wurde. Durch den Vorstoß der Gletscherzunge zerfiel diese anschließend an der Spitze und es brachen zahlreiche Eisschollen in die Lagune ab.

Auf Grundlage der Beobachtungen vor Ort wurde während der Exkursion folgende Erklärung für den Surge am Svínafelljökull gefunden: Wenn ein Talgletscher, der zu beiden Seiten von Berghängen umschlossen ist, verstärkt abschmilzt, verringert sich der Druck auf die Gesteinsflanken zu beiden Seiten. Durch diese Druckentlastungen werden die Hänge zunehmend instabil und es kommt vermehrt zu Felsstürzen. Solch ein Sturz auf die Gletscherzunge erhöht den Druck auf die unteren Eisschichten und es kann dadurch zu einer Geschwindigkeitssteigerung der Eisbewegung und damit zu einem Surge kommen. Im Jahr 2013 ging ein solcher Bergsturz auf die Gletscherzunge des Svínafelljökull nieder (siehe Abbildung 5), der mit dem Rückschmelzen des Gletschers zusammenhängen könnte. Auch erhöhtes Schmelzwasseraufkommen kann die Entstehung von Surges begünstigen, da sich dadurch die Reibung an der Gletscherbasis reduziert.



Abbildung 4:
Mit Moränenmaterial bedeckte Eismassen des Svínafelljökull, die sich durch den Surge in die vorhandenen Moränen geschoben haben

Foto: Hörz 2019



Abbildung 5:
Überreste des Bergsturzes 2013 auf der
Gletscherzunge des Svínafelljökull

Foto: Hörz 2019

Mögliche Folgen eines Surge

Durch seinen raschen Vorstoß im Zuge des Surge dehnt sich der Gletscher trotz des sich erwärmenden Klimas scheinbar weiter aus. Wird der Gletscher nicht genau betrachtet, scheint es, als wachse er wieder. Allerdings trägt diese Wahrnehmung, da der Gletscher nicht an Masse gewinnt. Stattdessen werden lediglich Eismassen vom Nähr- ins Zehrgebiet des Gletschers transportiert und befinden sich schließlich in Regionen, in welchen das Eis schneller abschmelzen kann. Das Rückschmelzen des Gletschers wird dementsprechend durch einen Surge zumeist verstärkt.

Gletscherflüsse

Aufgrund der Gletscherbedeckung eines erheblichen Teils Islands wird der Klimawandel nicht nur einen großen Einfluss auf diese selbst, sondern ebenfalls auf die damit verbundenen gletschergespeisten Flüsse haben. Auf sie wird im Folgenden näher eingegangen.

Gletscherflüsse sind zahlreich auf Island. Ein Beispiel ist die Þjórsá, deren Wasser überwiegend vom Gletscher Hofsjökull im Zentrum Islands stammt. Mit dem Urriðafoss

weist der Fluss bei einem durchschnittlichen Abflusswert von $348,7 \text{ m}^3/\text{s}$ im Jahr der Exkursion den wasserreichsten Wasserfall Islands auf (siehe Abbildung 6).

Energiegewinnung aus Gletscherflüssen

Nahe des Urriðafoss ist die Errichtung eines neuen Wasserkraftwerks geplant, welches pro Jahr 930 GWh Strom erzeugen soll. Allerdings regt sich aufgrund der Erwartung, dass der Wasserfall dadurch verschwinden wird, Widerstand gegen das Bauprojekt.

Generell stellt Gletscherschmelzwasser die Hauptenergiequelle Islands dar, da es mit Hilfe zahlreicher Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung genutzt wird – rund 80 % des inländischen Energiebedarfs werden auf diese Weise gedeckt. Daher besteht auch vor dem Hintergrund der Energiegewinnung ein großes Interesse an zuverlässigen Prognosen über die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf das Abflussverhalten isländischer Gletscherflüsse.

Prognostizierte Entwicklungen der Gletscherabflüsse und ihre Folgen

Die isländische Wissenschaftlerin Jóna

Finndís Jónsdóttir wertete für ihre Studie aus dem Jahr 2008 die Abflussdaten Islands zwischen 1961 und 1990 aus und schätzte die Abflussveränderungen für den Zeitraum von 2071 bis 2100 ab. Ihren Prognosen legte sie hydrologische, meteorologische und klimatologische Modelle zu Grunde. In Bezug auf den Klimawandel rechnete Jónsdóttir mit einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von 2,8 K zwischen den Zeiträumen 1961–1990 und 2071–2100. Daraus leitete sie ab, dass die Fläche der gletscherbedeckten Gebiete in Island im späteren Zeitraum bereits um 2.400 km^2 zurückgegangen sein wird, was einer Reduktion um 20 % entspricht.

In Abbildung 7 wird der Abfluss aus glazialen Gebieten in Island 1961–1990 gemeinsam mit den prognostizierten Werten für den Zeitraum 2071–2100 graphisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Vergleich zu den 1961–1990 gemessenen Werten für den Zeitraum 2071–2100 ein wesentlich höherer Gletscherabfluss erwartet wird. Zurückzuführen ist dies auf die Zunahme der Gletscherschmelze, verursacht durch die erhöhte Temperatur.

Einteilung isländischer Flüsse

Isländische Fließgewässer werden in der Regel drei verschiedenen Kategorien zugeordnet: Flüsse, die überwiegend durch den direkten Abfluss von Oberflächenwässern eisfreier Gebiete gespeist werden, erhalten im Isländischen die Bezeichnung „dragá“. Grundwassergespeiste Flüsse werden dem Flusstyp „lindá“ zugeordnet. Flüsse, welche zu mindestens 75 % aus Gletscherschmelzwässern bestehen, werden als Gletscherflüsse (isländisch „jökulsá“) bezeichnet. In letzterem Fall sind als charakteristische Merkmale unter anderem große Einzugsgebiete, verwilderte Flussarme, steinige Gerinnebetten und niedrige Wassertemperaturen zu nennen. Des Weiteren lassen sich teils erhebliche Schwankungen der Abflussmengen feststellen, wobei sich der Abfluss tagsüber und während der Sommermonate erhöht. Außerdem weisen Gletscherflüsse vergleichsweise hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf, was ihnen durch den Transport von Sedimentfracht eine charakteristische grau-braune Farbe verleiht.

- Gletscher -

Mit dem zukünftig höheren Abfluss der Gletscherflüsse geht gleichfalls eine Steigerung des Potentials einher, Energie aus Gletscherwasser zu gewinnen. Vor diesem Hintergrund geht das Icelandic Meteorological Office davon aus, dass die potenzielle Energie der derzeit genutzten Gletscherflüsse bereits bis zum Jahr 2050 um 20 % zunehmen wird. Allerdings könnte das derzeitige System aufgrund seiner begrenzten Kapazität nur weniger als die Hälfte des Energiezuwachses nutzen. Daher empfiehlt das Icelandic Meteorological Office, diese Prognose bei der Neugestaltung und Modernisierung der Wasserkraftwerke zu berücksichtigen.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass der auf das Abschmelzen der Gletscher zurückzuführende Anstieg nur vorübergehend zu beobachten sein wird. Hochrechnungen deuten darauf hin, dass die isländischen Gletscher innerhalb der nächsten 200 Jahre größtenteils verschwunden und höchstens noch mit geringer Ausdehnung in den Höhenlagen der Insel vorzufinden sein werden. Langfristig kann daher angenommen werden, dass sich die Anzahl der überwiegend von Gletscherwasser gespeisten Flüsse stark verringern wird.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Klimaerwärmung mit erheblichen Veränderungen für die Gletscher und die von ihnen gespeisten Flüsse einhergehen wird. Durch das verbreitete Rückschmelzen der Gletscher Islands, welches sich in den kommenden Jahren vermutlich weiter verstärken wird, ist die Wahrscheinlichkeit recht groß, dass sich gleichfalls die Zahl an Bergstürzen durch die Druckentlastung der Hänge erhöhen könnte. Damit verbundene Surges und deren Folgen steigern das Abschmelzen der betroffenen Auslassgletscher. Die Abflussmenge der Gletscherflüsse wird zunächst

zunehmen, auf lange Sicht allerdings stark zurückgehen. Eine der weitreichenden Folgen davon wird sein, dass die Energieversorgung in Island in ihrer heutigen Form nicht mehr möglich sein wird.

Literatur:

Björnsson, H. (2017). The glaciers of Iceland. A historical, cultural and scientific overview. Amsterdam: Atlantis Press.

Guðmundsson, A. T. (2007). Lebende Erde. Facetten der Geologie Islands. Reykjavik: Mál og Menning.



Abbildung 6:
Der im Fluss Þjórsá gelegene
Urriðafoss

Foto: Heim 2019

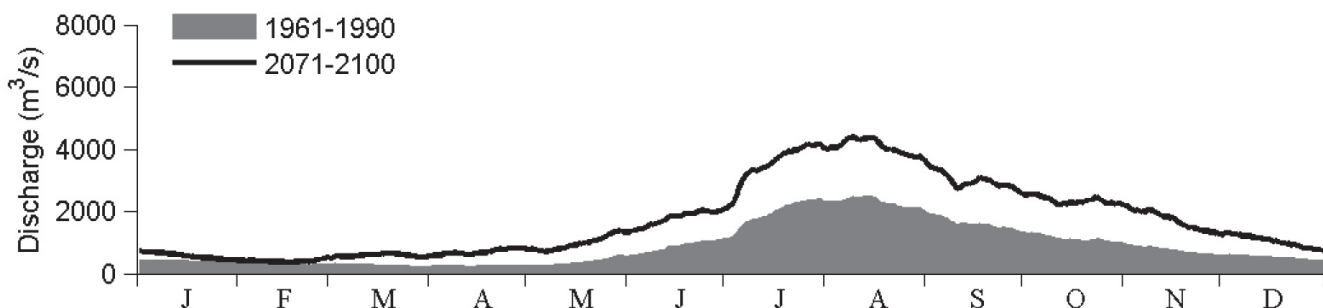


Abbildung 2: Saisonaler Verlauf des mittleren Abflusses in den Zeiträumen 1961–1990 (gemessene Werte) und 2071–2100 (prognostizierte Werte) aus den vergletscherten Gebieten Islands. Die prognostizierte Abflusszunahme zwischen den beiden Zeiträumen beträgt 90 %.

Quelle: Jónsdóttir 2008 (verändert)

Umstände und Missstände isländischer Böden und Vegetation

In Zeiten des zunehmenden Naturschutzes ist auch die isländische Bevölkerung mit vielen Herausforderungen konfrontiert. Miserable Zustände von Boden und Vegetationsdecke in Verbindung mit erschwerten Regenerationsbedingungen beeinflussen den Lebens- und Arbeitsalltag vieler Menschen. Die Ursachen für diese Verhältnisse setzen sich aus vielen sowohl natürlichen als auch anthropogenen Faktoren zusammen, wie sie so nur auf Island zu finden sind.

von Delia Maas, Damaris Mayer, Felix Rosenberger, Felix Schneider,
Madeleine Schnell und Gabriele Vees

Foto: Drohnenaufnahme Holzapfel/ Schmidt 2019

Die Bodenbildung in Island ist stark geprägt von vulkanischen Faktoren. Der regelmäßige Eintrag von Asche und vulkanischem Auswurfmaterial, zusammengefasst als Tephra, führt dazu, dass sich die Böden erheblich von anderen Regionen der Erde unterscheiden, die ähnliche klimatische Rahmenbedingungen aufweisen. Das ausgeworfene Material weist eine hohe Porosität und eine geringe Korngröße auf und hat somit eine hohe spezifische Oberfläche. Dies hat zur Folge, dass für chemische Verwitterungsprozesse eine sehr hohe Angriffsfläche vorhanden ist, sodass diese vergleichsweise schnell voranschreiten (schnell = wenige 100 Jahre). Dadurch

werden die Bestandteile des vulkanischen Materials rasch zersetzt. Die entstehenden Auflösungsprodukte sind dann im Boden frei verfügbar und können von Pflanzen genutzt werden. Der vulkanische Ursprung sorgt für einen hohen Anteil von Alumosilikaten. Im Boden führen deren Abbauprodukte dazu, dass Kohäsion und Verkittung nur schlecht ausgeprägt sind, dafür aber große Mengen von Metall-Humus-Komplexen gebildet werden.

Aus diesen Einflussfaktoren ergeben sich die Eigenschaften der typischen Böden Islands: Sie haben einen hohen Anteil organischer Substanz und eine geringe

Lagerungsdichte, sie werden in relativ kurzer Zeit gebildet und sind aufgrund ihrer schlechten Aggregation sehr anfällig gegenüber der Abtragung durch Wind und Wasser. Die Abtragung durch Wind stellt in Island ein großes Problem dar. Während Messungen im Bereich der Sahara zeigen, dass Partikel mit einer Korngröße von bis zu 0,5 mm durch den Wind springend über den Boden transportiert werden, zeigen Messungen in Island dasselbe Verhalten für Partikel mit einer Korngröße von bis zu 8 mm. Dieser äolische Transport führt zu einer starken Verlagerung von feinem Material über ganz Island. Die ursprüngliche Quelle dieser Sedimente sind unter anderem die Aschefälle

»Globale Rekordwerte für äolisch transportierte Sedimente konnten nach dem Ausbruch des Eyjafjallajökulls gemessen werden.«

der Vulkanausbrüche und die Sanderflächen der großen Gletscher, die durch regelmäßige Schmelzwässer für einen kontinuierlichen Nachschub an feinkörnigem Material sorgen. Dieser Transport wird vor Ort bei häufigen Sandstürmen klar erkennbar, spätestens wenn beim Mittagessen alles knirscht. Zu extremen Windverfrachtungen kam es 2010 in der Folge des Ausbruchs des Eyjafjallajökulls, wo an der Südküste globale Rekordwerte für äolisch transportierte Sedimentmengen gemessen wurden. Nach der Ablagerung kann es durch Wind oder Überschwemmungen zu erneuter Mobilisierung kommen, sodass die isländischen Böden je nach Abtragung und Akkumulation von Feinmaterial unterschieden werden können.

Die zwei dominierenden Bodentypen Islands sind die Andosole und die Vitrisole. Diese

sind in Island so weit verbreitet, dass sie in einer eigenen isländischen Bodenklassifikation noch in weitere Untergruppen unterteilt werden.

Bei den Vitrisolen handelt es sich um flachgründige Böden, die bis zu 40 cm mächtig sind. Diese entwickeln sich auf vulkanischen Ablagerungen oder auf fluvialen oder äolischen Sedimenten, also durch Wasser und Wind transportiertem Feinmaterial. Die aus diesen Substraten gebildeten Vitrisole sind in der Regel noch jung, auf ihnen ist daher auch nur selten eine geschlossene Vegetationsdecke entwickelt. Weiterhin kommt es durch fortwährenden Einfluss von Wind und Wasser zu einem kontinuierlichen Abtransport von Feinmaterial, sodass an der Oberfläche größere Partikel wie Grus oder Kies zurückbleiben. Auf diesen Flächen hat man

Abbildung 1:
Bei dem dunklen Streifen am Horizont handelt es sich um Sandauswehungen, welche vom Sander ins Meer transportiert werden.

Foto: Behme 2019



Abbildung 2:
Bodenprofil Roðabard
(Andosol)

Foto: Schneider 2019



Abbildung 3:
Pflanzenwachstum in geschützter Lage eines Toteislochs

Foto: Schnell 2019

das Gefühl auf einer Wolke zu laufen, denn obwohl die Oberfläche scheinbar nur aus Kies und Steinen zu bestehen scheint, verbirgt sich darunter nach wie vor das locker gelagerte Feinmaterial, in das man einsinkt. Vitrisole werden aufgrund ihrer Verbreitung auch als Böden des Hochlands bezeichnet und gehören zu den häufigsten Böden Islands.

Im Gegensatz zu den Vitrisolen sind die Andosole mitsamt ihren Eigenschaften klar definiert. Allem voran ist die Lagerungsdichte von unter $0,9 \text{ kg/dm}^3$ zu nennen. Andosole stellen fruchtbare Standorte für das Pflanzenwachstum dar, sodass die Vegetationsdecke im natürlichen Zustand geschlossen ist und die Böden auch geeignete Anbauflächen für den Ackerbau darstellen. Bei einer ge-

schlossenen Vegetationsdecke kann mit dem Wind transportiertes Material leicht eingefangen und festgehalten werden, wodurch die Andosole im Laufe ihrer natürlichen Entwicklung stets an Mächtigkeit zunehmen. Zwar sind in der Literatur Mächtigkeiten von mehreren Metern angegeben, doch das reale Ausmaß dieser Andosole wurde uns erst richtig bewusst, als wir erstmals vor einem knapp vier Meter hohen mehrschichtigen Andosol-Profil standen, in dem Aschenlagen der isländischen Vulkanausbrüche seit etwa 1300 n.Chr. deutlich zu erkennen waren. Andosole finden sich in Akkumulationslagen und stellen den Großteil der Böden im Tiefland dar. Vor der isländischen Landnahme sollen Andosole noch stärker verbreitet gewesen sein.

Vegetationsgeschichte und vegetative Besonderheiten

Im Boden werden neben Wasser auch andere lebenswichtige Nährstoffe für das Pflanzenwachstum gespeichert, wodurch eine Abnahme fruchtbarer Böden direkte negative Auswirkungen auf die Vegetation hat. Neben den zunehmend wüstenhaften Bodenbedingungen Islands, hat auch die Besiedlung durch den Menschen direkte Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung der Vegetation. Während etwas mehr als 60 % der Arten sehr wahrscheinlich die letzte Eiszeit überdauerten und circa 20 % der Pflanzenarten zoochor, hydrochor oder anemochor, also durch Fauna, Wasser oder Wind nach Island gelangt sind, wurden die übrigen 20 % anthropogen eingeführt. Diese menschlich verursachte Einwanderung von

»80% der isländischen Fläche werden extensiv für die Weidewirtschaft genutzt.«



Abbildung 4:
Bodendegradation durch Schafzucht

Foto: Hohloch 2019

Arten verstärkte sich im 20. Jahrhundert. Nadelbäume ließen sich erst durch mühsame Aufforstungsprogramme ansiedeln. Während die Waldbedeckung vor der Landnahme auf mindestens 17 % geschätzt wird, reduzierte die Abholzung die Bestände auf weniger als 1 %.

Dass die heutige Artenzusammensetzung der Pflanzen nicht dem klimatischen Potential entspricht, lässt sich neben anthropogenen Ursachen auch auf die isolierte Lage Islands zurückführen. So ist die norwegische Flora viermal und die deutsche sechsmal artenreicher. Auf Island findet man circa 600 höher entwickelte Arten, 500 Moosarten sowie 450 Flechtenarten. Die natürliche Vegetation wird bis zu einer Höhe von 300 m von Wiesen, bis 700 m von Zwergstrauchheiden und

darüber von Moos- und Flechtenheiden sowie artenreichen Schneetälchen bestimmt. Schneetälchen weisen besonders günstige Faktoren für das Pflanzenwachstum auf: gute Isolation durch eine länger andauernde Schneebedeckung sowie höhere Feuchte, Nährstoffverfügbarkeit und Windschutz durch die tiefere Lage im Relief. Im Hochland erschweren die trockenen und windexponierten Bedingungen die Ansiedlung von Pflanzen. An trockene Standorte, wie sie auch auf Schotterfeldern und Lavaströmen zu finden sind, haben sich vor allem Melurgesellschaften angepasst. Sie setzen sich unter anderem aus Polsterpflanzen wie dem Stängellosen Leimkraut (*Silene acaulis*) und Gräsern zusammen und verfügen über ein ausgedehntes Wurzelsystem. Die potentielle natürliche Vegetation Islands hingegen wür-

de durch Moorbirkenwälder, Zwergsträucher, Birkenbüsche und Hochstauden geprägt sein.

Zu den klimatischen Faktoren, die das Pflanzenwachstum auf Island einschränken, gehören der niedrige Sonnenstand, die stark variierende Tageslänge sowie tiefe (wenn auch vergleichsweise milde) Temperaturen, der starke Wind und die vor allem im Hochland oft geringen Niederschläge. Dennoch handelt es sich um ein humides Klima, da die potentielle Verdunstung sehr gering ist. Die Niederschlagsmengen unterscheiden sich jedoch sehr stark: Während im Süden und Nordwesten Jahresniederschläge von bis zu 5000 mm gemessen werden, erreichen die Werte im Norden teilweise nur weniger als 600 mm. Gründe dafür sind Meeresströ-

»Durch die Abholzung reduzierten sich die Waldbestände Islands auf weniger als 1%.«

mungen und lokale Windsysteme sowie Luv/Lee-Effekte. Ein weiterer Faktor, der die Verbreitung einer Vegetationsdecke hemmt, ist die häufige Nährstoffarmut vor allem junger Böden durch eine geringe organische Auflage, langsame Zersetzung und Auswaschung.

Über 50% der isländischen Fläche wirkt auf den ersten Blick vegetationslos, jedoch sind vereinzelt kleine Flechten und andere Pflanzen mit geringem Wasserbedarf oder tiefen Wurzeln zu finden. Auf Lavagestein findet eine typische Sukzession statt: Einer Moosdecke folgen nach bis zu 100 Jahren Flechten und anschließend Gräser und kleine Birken, sofern es nicht zur Überweidung kommt. Gibt es einen Eintrag von allochthonem Lockersediment, können sich nach Moosen und Flechten auch höhere Pflanzen ansiedeln, die einer ständigen Substratbewegung durch Wasser und Wind standhalten können. Außerdem ist zu beachten, dass Tephra-Ablagerungen mit einer Mächtigkeit von 2,5 cm eine deutlich geringere Auswirkung auf die Vegetationsentwicklung haben als solche mit einer größeren Mächtigkeit.

Landnutzungskonflikt: Bedeutung der Weidewirtschaft für Natur und Kultur

Die Schaf- und Pferdewirtschaft ist auf Island sehr stark ausgeprägt und für die isländischen Bauern von großer Bedeutung. Die traditionelle Tierhaltung umfasst in den Sommermonaten die Nutzung des Hochlands als Weideland für Schafe und Pferde. Hierbei werden die Tiere in der Regel im Juni auf die Allmenden im Hochland (gemeinsame Weideflächen verschiedener Höfe) getrieben bzw. dort ausgesetzt. In den Sommermonaten können sich die Schafe und Pferde frei im Hochland bewegen. Es gibt also auch – bis auf wenige Zäune – keine Kontrolle an welchen Stellen die Tiere weiden, was ein großes Problem für die empfindliche Vegetationsdecke darstellt. Insgesamt werden etwa 80% der isländischen Fläche extensiv für die Weidewirtschaft genutzt. Ab Anfang September werden die Tiere wieder zusammengetrieben. Anschließend werden diese beim alljährlichen Réttir mit Hilfe von Ohrmarken identifiziert und zu den jeweiligen Höfen zurückgebracht.

Während der Sommermonate muss der Großteil des Futters für die Wintermonate erwirtschaftet werden. Dies geschieht durch die Produktion von Heu auf meist eingezäunten und besonders leistungsfähigen Grünflächen in tieferen, oft küstennahen Lagen. Da die Wachstumsperiode der Vegetation auf Island relativ kurz ist, haben die Bauern nur sehr wenig Zeit genügend Gras als Heu für den Winter einzulagern.

Allerdings bedeutet die kurze Wachstumsperiode auch, dass die empfindliche Vegetationsdecke der Allmenden im Hochland, durch eine zu intensive Nutzung mit Schafen und Pferden, sehr anfällig für dauerhafte Schäden wird. Regenerationsversuche auf geschützten Flächen ergaben innerhalb von 36 Jahren eine Erhöhung der Vegetationsdichte von 3% auf 40%. Die teilweise wüstenartige Landschaft des Hochlandes ist zwar nicht immer anthropogen bedingt, wird jedoch durch die Weidewirtschaft in ihrer Ausbreitung gefördert. Insgesamt ist jedoch zu beachten, dass sich eine starke Beweidung auf bestimmte Arten, die das Vieh beim Fressen meidet, durchaus günstig auswirken kann. Dennoch sind inzwischen viele Flächen in einem degradierten Zustand und damit anfällig für Erosion. Das konnte auch auf der Exkursion häufig festgestellt werden. Vielerorts war die Vegetationsdecke nur noch stellenweise oder gar nicht mehr vorhanden, nicht selten war der Boden schon komplett erodiert und das Festgestein bildete die Oberfläche.

Literatur:

Arnalds, Ó. (2016): The Soils of Iceland (World Soils Book Series). Springer Verlag.



Foto: Heim 2019

Begegnungen in Island

Ægir Sigurgeirsson

Ægir Sigurgeirsson lebt mit seiner Frau auf einer Farm in Island, wozu ein Ferienhaus für die Sommervermietung gehört. Von seinen drei Kindern möchte allerdings niemand die Farm mit 25 Kühen, 45 Pferden und 200 Zuchtschafen übernehmen.

Für ihn sind die Schafe kein Auslöser für die Bodenerosion im Hochland, vielmehr wirken Kot und Urin der Tiere als Schutz für die Vegetation.

- Böden und Vegetation -

Die Haare der Wolligen Weide schützen die Blattoberfläche vor starker Verdunstung durch Wind.



Die weiche Moosdecke lädt dazu ein, sich auf ihr niederzulassen, doch darunter befindet sich das scharfkantige Gestein eines Lavastroms.



Das Stängellose Leimkraut ist an die extremen Umweltbedingungen Islands gut angepasst und wächst selbst auf dem kargen Untergrund eines Schotterfelds.

Fotos: Mayer 2019



Nicht nur der Wind wirbelt die locker gelagerten Sedimente wieder auf.

Foto: Mayer 2019

Island sagt der Bodendegradation den Kampf an

Um den miserablen Zuständen von Boden und Vegetationsdecke entgegenzuwirken, werden seit vielen Jahren verschiedenste Projekte und Maßnahmen entwickelt und umgesetzt. Hierbei wird versucht bereits eingetretene Missstände zu verringern, aber auch vor anhaltenden negativen Einflüssen zu schützen. Eine zentrale Rolle nimmt dabei der Soil Conservation Service of Iceland (SCSI) ein, welcher eine 1907 gegründete Regierungsbehörde des Landwirtschaftsministeriums ist. Durch diesen werden seither mit verschiedenen Maßnahmen Versuche unternommen, die Bodenerosion vorzubeugen, sowie Gegenmaßnahmen einzuleiten.

von Delia Maas, Damaris Mayer, Felix Rosenberger, Felix Schneider, Madeleine Schnell und Gabriele Vees



Eine geschlossene Vegetationsdecke kann wesentlich zur Reduktion von Bodenerosion beitragen. Tiefreichendes Wurzelwerk stabilisiert das Bodengefüge, wodurch die Abtragung erschwert wird. Darüber hinaus wirkt die Vegetation als Hindernis. Äolisch transportierte Bodenpartikel werden an den Pflanzen zurückgehalten. Auch an Hängen, an denen der Abfluss zu einer Abtragung des fruchtbaren Oberbodens führt, wirkt eine Vegetationsdecke der Erosion entgegen. Von Anfang bis Mitte des 20. Jahrhunderts stieg die Anzahl der Schafe enorm an, doch erst in den 1960er Jahren wurde eine Überweidung und damit ein großer Verlust an Vegetationsflächen der genutzten Flächen wahrgenommen. Seit den 1980er Jahren existiert daher eine Schafzuchtquote, wodurch der Viehbestand um circa ein Drittel zurückging. Zur selben Zeit begann der SCSI die Weidezeiten vorzugeben und verstärkte seine Bemühungen für den Bodenschutz. Aufforstungen und Anpflanzungen sind dabei entscheidend für die Eindämmung der Bodendegradation auf Island.

Bodenschutz durch Aufforstung

Das Aufforstungsprojekt Hekluslógar ist das größte dieser Art in Europa und umfasst 90.000 ha. Hauptziel ist die Wiederherstellung von Birken- und Weidenbuschland, wodurch auch eine Zunahme der Artenvielfalt von Fauna und Flora erreicht werden soll. Niederschläge können dadurch besser im Boden gespeichert und damit der Oberflächenabfluss reduziert werden. Langfristig kann es zu einer Kohlenstofffixierung im Boden und in den Pflanzen kommen. Wälder, Buschland und Flächen mit Strandroggen sind in der Lage auch größerem Aschefall standzuhalten. Sie wirken auf diese Weise gleichzeitig als eine Art Schutzschirm, da Ascheverwehungen auf benachbarte Gebiete verringert werden. Die Düngung von spärlich bewachsenen Gebieten und das Einsäen von Gras und Leguminosen-Arten auf unfruchtbare Flächen ist der erste Schritt der Aufforstung. Anschließend wird versucht, die natürliche Entwicklung des Ökosystems sich selbst zu überlassen, was durch das Pflanzen kleiner Baumgruppen unterstützt wird. In den darauffolgenden Jahren produzieren die Baumgruppen Samen, die sich durch den Wind in nahe gelegene Gebiete verteilen. Ebenfalls werden in einigen Gebieten durch Graseinsaat und Düngungen die Wachstumsbedingungen für die Naturverjüngung der Pflanzen verbes-



Abbildung 1:
Canyon Ásbyrgi
Foto: Schnell 2019



Abbildung 2:

Birkenwald Ásbyrgi; So hohe Bäume wie hier findet man in Island selten.

Foto: Schneider 2019

sert. Dazu werden luftstickstofffixierende Pflanzen in Verbindung mit Mykorrhiza-Arten genutzt, wodurch die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Bäume verbessert und die Verwendung von Dünger reduziert wird.

Der Jökulsárgljúfur-Nationalpark wird durch den hufeisenförmigen Canyon Ásbyrgi im Norden und durch den mächtigsten Wasserfall Europas, den Dettifoss im Süden, begrenzt. Ásbyrgi zählt seit 1978 zum Nationalpark Jökulsárgljúfur. Im Jahr 2008 wurde der Vatnajökull-Nationalpark gegründet und der Jökulsárgljúfur-Nationalpark darin integriert. Das Moorland des Ásbyrgi ist durch einen artenreichen Birkenwald geprägt, der Boden ist mit Moosen und Flechten bedeckt. Zwischen 1950 und 1980 wurden in Ásbyrgi verschiedene Baumarten wie Rotholz, Lärchen und Tannen gepflanzt. Nun gilt es die unterschiedlichen Arten der Birken erneut zu pflanzen. Tendenziell breitet sich der Wald nach Norden aus.

Die Alaska-Lupine – Fluch oder Segen?

Auf Island wird neben den beschriebenen Bäumen eine weitere Pflanze angepflanzt, um dem Problem der Bodenerosion entgegenzuwirken. Diese Pflanze wird im Folgenden in Hinblick auf ihre positiven und negativen Potenziale vorgestellt.

Als die Exkursionsgruppe den Süden Islands erreichte, fiel eines sofort ins Auge: Riesige intensiv grüne Flächen, welche die Landschaft mosaikartig durchzogen und die fast ausschließlich von einer einzigen Pflanzenart bewachsen waren: Der Lupine. Es handelt sich dabei um die Alaska Lupine

(*Lupinus nootkatensis*), welche in den vierziger Jahren als Lösung für die fortschreitende Bodenerosion importiert wurde. Die Wahl fiel damals aus verschiedenen Gründen auf diese Pflanze: Sie wächst schnell und ist angepasst an Kälte. Darüber hinaus besitzt die Lupine eine weitere besondere Eigenschaft, denn wie alle Schmetterlingsgewächse ist sie in der Lage atmosphärischen Stickstoff zu fixieren und den Boden mit diesem wichtigen Nährstoff anzureichern. Die Lupine ist somit ein natürlicher Dünger und wurde gezielt gepflanzt, um die isländischen Böden anzureichern.

Doch genau diese Eigenschaften der Lupine stellen sich heute als zunehmend problematisch heraus. An Standorten, an denen heimische Pflanzen erwartet wurden, dominierte häufig die Lupine. Als Neophyt verdrängt sie zunehmend die heimische Flora. Pflanzenarten, die nur sehr langsam wachsen oder einen kriechenden Wuchs aufweisen, haben gegen die Lupine kaum eine Chance. Darüber hinaus wird das Nährstoffverhältnis im Boden durch die Stickstoffanreicherung der Lupinen verändert. Die Auswirkungen sind bisher wenig erforscht, jedoch lassen erste Studien auch hier negative Folgen für die heimische Flora vermuten. Diese möglichen negativen Aspekte sind den Isländern bewusst. Biologen des isländischen Amtes für Naturschutz („Umhverfis Stofnun“) haben der Lupine den Kampf angesagt und entfernen die Pflanze nun wieder systematisch. Einige Isländer, wie Daði Lange Friðriksson, halten jedoch weiterhin an der Lupine als vorübergehendes Mittel gegen Bodenerosion fest. Dank ihm erhielt die Exkursionsgruppe

einen sehr interessanten Einblick in aktuelle sowie geplante Projekte zur Regeneration einer von Bodenerosion stark betroffenen Fläche Islands. Bei dieser Fläche handelt es sich um den „Hólasandur“.

Hólasandur: Eine Wüste wird grün

Hólasandur bedeutet übersetzt „die Sandgrube“, was das Erscheinungsbild der 130 km² großen Fläche recht gut beschreibt. Blickte man auf der Fahrt zu unserem Treffen mit Daði Lange Friðriksson aus dem Fenster, war kilometerweit zwar kein Sand, jedoch eine trostlose, flache Kieswüste zu sehen. Je mehr wir uns dem vereinbarten Treffpunkt näherten, desto häufiger fielen kleine grüne Flecken in der Landschaft auf. Einige Hänge waren mit etwas Grün bewachsen, hier und da sah man einen kleinen Wald, der aus nicht mehr als 50 Bäumen bestand.

Früher war diese Fläche überwiegend von Wald bedeckt. Durch Abholzung und Überweidung wurde das Ökosystem jedoch so gestört, dass es zu massiver Bodenerosion kam und die Fläche heute einer Halbwüste gleicht. Daði erklärt: „Der SCSI versucht schon seit Jahrzehnten die Fläche wieder zu begrünen und somit den Boden zu regenerieren. Angefangen wurde mit Lupinen, die etwa 25 Jahre alt werden. Zwischen die Lupinen pflanzten wir Birken mit dem Ziel, dass die Bäume nach 25 Jahren groß genug sind, um wieder einen möglichst natürlichen Birkenwald zu bilden. Die Lupinen sollten schließlich durch die Birken verdrängt werden.“

- Böden -

Doch die Landschaft, auf die wir herabsehen, scheint von diesem Ziel weit entfernt zu sein. „Diese Birke ist 20 Jahre alt.“ Daði deutet auf einen maximal ein Meter hohen Baum neben uns. „Wir haben nicht damit gerechnet, dass die Bepflanzung so langsam und problematisch verlaufen würde. Ich pflanze jeden einzelnen Baum von Hand und hoffe, dass er überlebt.“

Die klimatischen Bedingungen erschweren das Pflanzenwachstum enorm: Die Jahresmitteltemperatur beträgt nur 3 °C und die

Schneebedeckung ist sehr variabel. So liegen manche Flächen bis zu sechs Monate unter einer mächtigen Schneedecke, während an windexponierten Stellen nur wenig Schnee liegen bleibt und damit auch kein Frostschutz für Pflanzen vorhanden ist. Zudem erreicht der Jahresniederschlag am Hólasandur kaum mehr als 400 mm. Im Vergleich zu günstigeren Bedingungen im Süden wachsen die Pflanzen hier nur sehr langsam. Daði ist sich der möglichen negativen Auswirkungen der Lupine bewusst, jedoch macht er deutlich, dass die

Notwendigkeit, überhaupt eine Pflanzenart in der Fläche anzusiedeln, eine höhere Priorität für den SCSI hat. Selbst die Lupine hat es hier im Vergleich zum Süden Islands nicht leicht sich auszubreiten. Trotz der mit-schwingenden Resignation in seinen Worten fügt er lächelnd hinzu: „Auch wenn alles länger dauert als geplant, sehen wir auf jeden Fall Erfolge, die uns immer weiter motivieren an neuen Methoden zu arbeiten.“ Zu diesen neuen Methoden gehört das Human Waste Projekt.



Abbildung 3:

Die Lupinenfelder im Süden legen sich wie ein grüner Teppich über die Moränenlandschaft

Foto: Behme 2019

**Abbildung 4:
Wiederaufforstung im Hólasandur,
die vereinzelt Bäume sind
Resultat vieler Jahre Arbeit**

Foto: Mayer 2019



»Ich pflanze
jeden
einzelnen
Baum von
Hand und
hoffe, dass er
überlebt.«



Begegnungen in Island

Daði Lange Friðriksson

Der 40-Jährige gebürtige Isländer gehört zur vierten Generation, die für den SCSi arbeitet und die Regeneration der isländischen Böden vorantreibt. Schon als Kind half er, die kaputten Zäune im Schutzgebiet zu reparieren. Nach seinem Bachelorabschluss in der Landpflege und Landnutzung kehrte er zum SCSi zurück. Auch heute gehört die Instandhaltung der 375 km langen Zäune zu seinen Aufgaben. Darüber hinaus fungiert er aber hauptsächlich als wichtiges Bindeglied zwischen Landwirten, Landbesitzern und Regierung. Er vermittelt den Kontakt der verschiedenen Instanzen und klärt über Maßnahmen auf, welche zur Regeneration der Böden und Vegetation beitragen.

Foto: Hohloch 2019

Abbildung 5:

Gerade einmal 20 Jahre alt ist diese Birke des Soil Conservation Service of Iceland

Foto: Mayer 2019



Das „Human Waste Project“

Das „Human Waste Project“ ist ebenfalls eine Maßnahme des SCSI, um eine Rückgewinnung und Wiederherstellung von degradiertem Land zu erreichen. Die Wiederherstellung einer Vegetationsdecke soll die Bodenbildung fördern und die Erosion stoppen. Bei „Human Waste“ handelt es sich um menschliche Ausscheidungen, wie Kot und Urin, welche als „black water“ (Toilettenabwasser) bezeichnet werden. Das „grey water“ hingegen bezeichnet die sonstigen im Haushalt anfallenden Abwässer. Bezüglich des Umgangs mit Abwässern und deren Aufbereitung kam es in Island zu großen Veränderungen in den letzten Jahren. So stieg der Anteil der Einwohner mit einer Abwasseraufbereitung in den Jahren 2001 bis 2006 von ca. 40 auf 70%. Im Bereich des Naturreservats am Lake Mývatn soll nun über vier Jahre hinweg (2018 bis 2021) ein „Human Waste Project“ umgesetzt werden. Hierbei sollen „black water“ von „grey water“ getrennt werden. Voraussetzung dabei ist das Ersetzen der „normalen“ Toiletten durch Vakuumtoiletten, ähnlich wie man diese aus dem Flugzeug kennt. Zu Beginn soll die Umstellung in öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, Restaurants und Hotels erfolgen. Alle groben Abfälle wie beispielsweise Tücher und andere Begleitartikel werden herausgefiltert und das Toilettenabwasser zwei Monate in einem großen Tank gelagert und mit Urea (Harnstoff) versetzt. Anschließend wird es auf das Land, in diesem Fall auf die Flächen des Hólásandur, versprüht oder bis zu 10 cm tief in der Erde verteilt. So kann auf die Verwendung von Kunstdünger sowie auf die Bepflanzung mit Lupinen, welche als Nährstoffbinder fungieren, verzichtet werden. Der Wasserverbrauch von Toiletten kann dabei gleichzeitig von ca. 4-6 Litern auf 1-1,5 Liter gesenkt werden. Ebenfalls positiv zu bewerten ist, dass die organischen Abbauprodukte weiter genutzt und in einen Nährstoffkreislauf eingebunden werden. Kritisch ist jedoch die unzureichende Filtration von stofflichen Rückständen wie Hormonen, Medikamente und Schwermetallen aus dem Toilettenabwasser.

Better Farms for a Healthy Land

Wie bereits erwähnt, werden etwa 80% der isländischen Fläche zumindest als extensive Weidefläche genutzt. Je nach Intensität der Nutzung und Regenerationsfähigkeit kann es dabei zu Beschädigungen der geschlossenen Vegetationsdecke kommen, die die Tragfähigkeit

der Flächen langfristig beeinträchtigen. Aufgrund der harschen klimatischen Bedingungen im Hochland ist die Gefährdung dort besonders hoch, was wir bei unseren Hochland-Durchquerungen schon mit bloßem Auge gut sehen konnten. Vielerorts war der Boden schon komplett abgetragen und es lag nur noch nacktes Gestein an der Oberfläche. An anderer Stelle war die Vegetationsdecke lediglich noch lückenhaft vorhanden, dazwischen fanden sich schon Anzeichen für Bodenabtragung. Spätestens dann sollte dem Nutzer dieser Flächen bewusst werden, dass er auch aus eigenem wirtschaftlichem Interesse sein Nutzungsverhalten ändern muss. Darauf zielt das vom SCSI eingeleitete Bodenschutzprogramm „Farmers Heal the Land“ ab, indem es Landwirten Unterstützung und Rat anbietet, ihr eigenes von Degradation betroffenes Land wiederherzustellen. Dafür wird zunächst Aufklärung betrieben, sodass die Landwirte den kausalen Zusammenhang zwischen falscher Nutzung und Degradation verstehen. Neben einer Veränderung der Nutzungsart und Nutzungsintensität werden auch Regenerations- und Präventionsmaßnahmen wie Düngung und punktuelles Ausbringen von schnellwachsenden Pflanzen empfohlen. Dünger und Saatgut können die Landwirte vergünstigt über das Programm erwerben.

Mit einer Veränderung der Nutzungsart muss auch eine Veränderung von Struktur und Praktiken erfolgen, welche durch das SCSI-Programm „Better Farms“ unterstützt wird. Dieses existiert seit 2002 und besteht aus Seminaren, die Landwirten dabei helfen, ein Gefühl zur Beurteilung des Zustands ihres eigenen Landes zu bekommen. Dabei stellen die Landwirte auch ihre eigenen Expansions- und Nutzungspläne vor, während Experten dabei Ratschläge geben und auf mögliche Probleme hinweisen.

Als großes Problem sieht Daði aber weiterhin das fehlende Bewusstsein der Landwirte, dass sich die seit Jahrhunderten praktizierte, traditionelle Weidewirtschaft in zu intensiver Form langfristig negativ auf die Landschaft auswirkt. Von den zwischen Juni und September genutzten Hochland-Allmenden gelten 55% als gefährdet, weshalb seit vielen Jahren eine Einschränkung der Weidezeit im Hochland diskutiert wird, was auf Seiten der Landwirte aber auf starke Gegenwehr trifft. Erst seit 2003 wurde dem SCSI ein gesetzlicher Handlungsrahmen zur Inter-

vention bei gefährdender Landnutzung geschaffen, doch die Umsetzbarkeit dieser Intervention wurde von Daði nur lachend abgewunken. Dafür müssen Gemeinden und Landwirte seit mittlerweile 16 Jahren das von ihnen genutzte Land zur Nutzung genehmigen lassen. Dabei findet eine Kontrolle der Nutzungsart in Bezug auf Vegetationsbedeckung und Fortschritt der Degradation statt. Sollten die Kriterien nicht ausreichend erfüllt werden, muss der Nutzer mit dem Programm „Better Farms“ mögliche Veränderungen seiner Nutzungspläne vorlegen. Befindet sich das Land in einem besonders schlechten Zustand, kann vom SCSI eine Nutzungssperre über mehrere Jahre ausgesprochen werden. Während diese Maßnahmen zwar als Reaktion auf falsche Nutzung wirksam sind, sieht Daði die Hauptaufgabe des SCSI weiterhin in der Aufklärung und im Gespräch. Sein typischer Arbeitstag sieht für ihn wie folgt aus: „Ich fahre von Farm zu Farm und versuche den Leuten beim Kaffee zu erklären, wie jeder einzelne seinen Beitrag zum Bodenschutz leisten kann. Eigentlich trinke ich also den ganzen Tag lang nur Kaffee, leider seit vielen Jahren bei bekannten Gesichtern, ohne wirklich etwas zu erreichen.“

Tourismuserschließung und Bodenschutz

Das Pflanzenwachstum sowie die Bodenbildung verlaufen aufgrund der klimatischen Bedingungen auf Island nur sehr langsam. So bedarf es beispielsweise für die Bildung von einem Meter Boden circa 1000 Jahre. Anthropogene Eingriffe in die Natur sind deshalb so gering wie möglich zu halten. Vor allem durch die steigenden Tourismuszahlen der letzten Jahre hat die Natur immer mehr Eingriffe erlitten. Die sozialen Medien haben einen großen Anteil daran, denn sie haben großen Einfluss darauf, wohin die Menschen reisen und welche Orte sie besuchen. Um Schäden und Eingriffe in der Natur zu minimieren und dennoch den Tourismus aufrecht zu erhalten, betreibt das SCSI verschiedene Lenkungsmaßnahmen der Besucherströme. Durch Wegebau sowie Anbringen von Absperrungen und Beschilderungen versucht man die Touristen zu kanalisieren und zu „erziehen“, auf den vorgeschriebenen Wegen zu bleiben, sich an Regeln zu halten und den nötigen Respekt vor der Natur nicht zu verlieren.

Isländischer Tourismus im Wandel

Island unterliegt einem Wandel – und das nicht nur klimatisch, sondern auch bei Betrachtung der Touristenzahlen, die in den vergangenen Jahrzehnten enorm angestiegen sind. Waren es 1990 lediglich circa 142 000 Touristen, so sind es gegenwärtig über 2 Millionen Besucher pro Jahr.

Um einen Einblick zu erhalten, führten wir ein Interview mit Frau Guðbjörnsdóttir. Sie arbeitet bei Exploring Iceland, einem isländischen Reiseveranstalter, der auch unsere Exkursion mitgestaltet hat.

von Alexander Hohloch, Giulia König und Caroline Rapp

Zu den Gründen für diesen steilen Anstieg gehört nach Meinung von Frau Guðbjörnsdóttir der Vulkanausbruch des Eyjafjallajökulls im Jahr 2010, der für weltweite Schlagzeilen sorgte, da er unter anderem den europäischen Flugverkehr zum Erliegen brachte und somit Island und seine Vulkane in den Blickpunkt der Öffentlichkeit rückte. Zudem wurde generell die Präsenz Islands in den sozialen Medien verstärkt. Auch die Bankenkrise 2008 beeinflusste den Tourismus, da der durch die Krise ausgelöste Preissturz die Zunahme der Touristenzahlen förderte. Nach Aussage von Frau Guðbjörnsdóttir lässt sich durchaus der Schluss ziehen, dass der Tourismus Island nach der Bankenkrise gerettet hat, indem er die wirtschaftlichen Folgen abmilderte. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Touristenzahlen Ende des 20. Jahrhunderts.

Rückläufige Zahlen im Jahr 2019

Im Jahr 2019 sind die Touristenzahlen jedoch um 10 – 15% zurückgegangen (Vergleich Abbildung 2). Die Ursache hierfür ist nach ihrer Aussage nicht ganz klar. Eine Rolle könnte möglicherweise die Insolvenz der isländischen Billigfluggesellschaft WOW Air spielen, die im März 2019 ihren Flugbetrieb einstellen musste.

Die meisten Touristen kommen während der Hauptsaison im Sommer nach Island, die etwa zweieinhalb Monate dauert. Insbesondere Besucher aus dem übrigen Europa kommen in dieser Zeit auf die Insel. Der Wintertourismus spielt jedoch ebenfalls eine zunehmende Rolle, wobei es sich hierbei meist um nordamerikanische Touristen handelt, die hauptsächlich wegen der Polarlicht-



Touristen am Skogafoss im Süden Islands. Der beeindruckende Wasserfall liegt direkt an der Ringstraße. Viele der Besucher bleiben lediglich um ein paar Fotos zu schießen.



- Tourismus -

ter anreisen. Auch der klassische Städtetourismus findet vor allem im Winter statt und konzentriert sich im Wesentlichen auf den Großraum Reykjavik. Der Süden und Westen Islands werden insgesamt am stärksten touristisch frequentiert. Neben den Einheimischen sind auch viele ausländische Arbeitnehmer im Tourismussektor beschäftigt. Allgemein lässt sich sagen, dass der Tourismussektor einen immer größer gewordenen Anteil am Bruttoinlandsprodukt ausmacht und Island durch die Einnahmen wirtschaftlich profitiert (Vergleich Abbildung 3). Wie man in der Abbildung sehen kann, betrug der Beitrag der isländischen Tourismusbranche zum Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2017 8,64 %, das waren ca. 6,4 Milliarden Euro (885 Milliarden ISK).

Touristen aus Deutschland sind gerne gesehen, da sie sich häufig länger in Island aufhalten und zudem viel herkommen, so dass nicht nur die touristischen Hauptregionen von ihrem Besuch profitieren. Die deutschen Urlauber sind schon lange profitable Kunden im isländischen Tourismusgeschäft. Viele Touristen aus anderen Ländern hingegen beschränken sich bei ihren Aufenthalten auf den Großraum Reykjavik und den Golden Circle, eine Tatsache, die eher negativ zu sehen ist, da der ländliche Raum somit abgehängt wird und nur wenig vom Tourismus profitiert. Des Weiteren ist eine starke Zunahme des Kreuzfahrttourismus zu verzeichnen. Durchschnittlich 80 Kreuzfahrtschiffe legen pro Jahr im Hafen von Reykjavik an. Vergleicht man die Zahlen aller ankommenden Passagiere in Abbildung 4, so lässt sich feststellen, dass sich die Anzahl beinahe verdoppelt hat.

Folgen des Tourismus

Selbstverständlich weist der Tourismus nicht nur positive Seiten auf. Zu den negativen Auswirkungen gehören die explodierenden Preise und die zunehmende Umweltzerstörung sowie Vermüllung, die der Kreuzfahrttourismus nicht gerade begünstigt. Um den Schäden an der Umwelt entgegenzuwirken, wäre es nach Meinung von Frau Guðbjörnsdóttir eigentlich erforderlich dem Tourismus Beschränkungen aufzuerlegen, um die Natur zu erhalten. Die gestiegenen Preise und die damit verbundenen hohen Lebenshaltungskosten stellen für viele Isländer ein Problem dar, trotz der teils hohen Gehälter. Der boomende Tourismus erschwert den Einheimischen zudem auch die Wohnungssuche, da viele Wohnungen nur als Ferienwohnungen

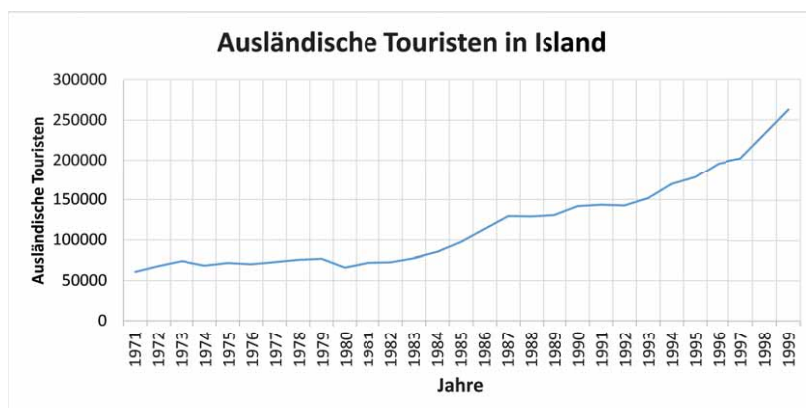


Abbildung 1:

Entwicklung der ausländischen Touristenzahlen 1971-1999

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten von Statistics Iceland

Abbildung 2:

Internationale Besucher Islands am Flughafen Keflavík

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Icelandic Tourist Board

International visitors to Iceland through Keflavík Airport			
Visitors in the period November 2018 - October 2019			
	% of visitors	Number	% change from the past 12 months*
Total number of visitors		2,016,850	-12,60%
Top ten countries**			
USA	24.1%	486,171	-29.6%
UK	13.2%	266,823	-12.0%
Germany	6.5%	131,31	-5.4%
China	4.9%	97,958	14.0%
France	4.7%	94,434	-2.3%
Poland	4.6%	92,834	2.2%
Canada	3.7%	74,458	-24.7%
Spain	3.0%	60,848	-7.7%
Denmark	2.5%	50,297	-1.4%
Italy	2.4%	48,424	7.4%

*Comparison of the periods October-September 2017-18/2018-19

**Top ten countries in total were 69.6%.



Foto:
exploringiceland.is

Begegnungen in Island

Steinunn Guðbjörnsdóttir

Steinunn Guðbjörnsdóttir hat über 30 Jahre Erfahrung als örtliche Reiseveranstalterin. Durch ihre Arbeit für einige renommierte isländische Reiseveranstalter hat sie umfangreiche Erfahrungen in allen Aspekten des isländischen Tourismus gesammelt. Steinunn betreute unsere Reise als Verantwortliche des Reisebüros „Exploring Iceland“, welches unsere Unterkünfte organisierte. Sie liebt es, in Island zu reisen und hat all ihre Ferien in ihrem Lieblingsland Island verbracht, entweder auf einer Familien-Camping-Tour im Hochland oder auf einer Reittour.

»Um den Schäden an der Umwelt entgegenzuwirken, müsste der Tourismus stark begrenzt werden.«

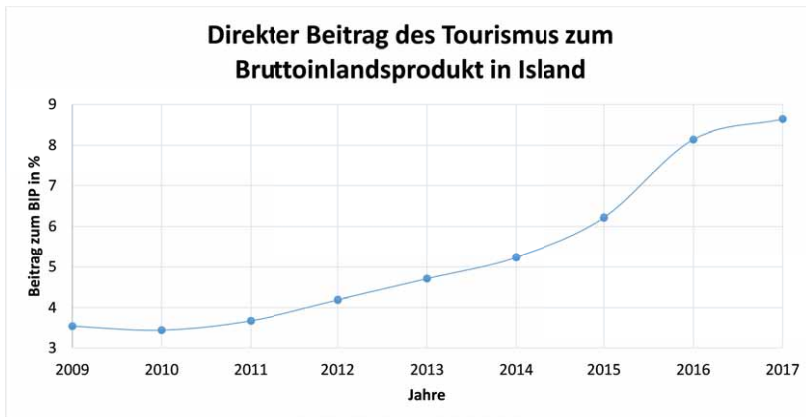


Abbildung 3:
Direkter Beitrag des Tourismus zum Bruttoinlandsprodukt Islands (GDP)
Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten von Statistics Iceland

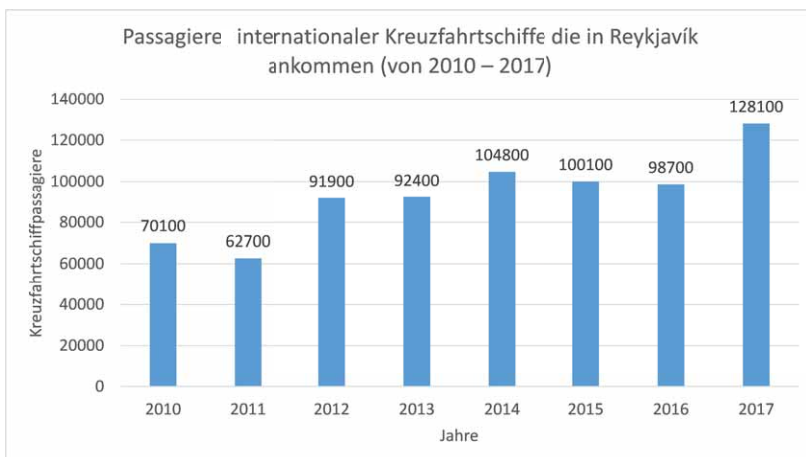


Abbildung 4:
Passagiere internationaler Kreuzfahrtschiffe die in Reykjavík ankommen
Quelle: eigene Darstellung basierend auf Icelandic Tourist Board

vermietet werden. Für Anbieter wie Airbnb gelten daher inzwischen Restriktionen.

Dennoch stehen laut Frau Guðbjörnsdóttir 85 % der Isländer dem Tourismus eher positiv gegenüber, wobei dieser in kleinen Gemeinden am kritischsten gesehen wird. Es existieren aber auch viele Orte, die vom Tourismus nach wie vor unberührt sind.

Auch auf den von den Isländern immer noch praktizierten und insbesondere im Ausland stark kritisierten Walfang hat der deutlich angewachsene Tourismus Auswirkungen. Walbeobachtungen haben enorm zugenommen und erbringen inzwischen deutlich mehr Einnahmen als der Walfang selbst. Im Jahr 2017 betragen die Einnahmen aus dem Walfang 1,7 Milliarden isländische Kronen, was 12,4 Millionen Euro entspricht. Die Walbeobachtungs-Anbieter („Whale Watching“) erwirtschafteten 2017 hingegen 3,2 Milliarden ISK, was wiederum 23,2 Millionen Euro entspricht. Daher wird der Walfang auch von den Isländern zunehmend kritisch gesehen. Da die Isländer jedoch auch bei umstrittenen Entscheidungen großen Wert auf ihre Unabhängigkeit legen, sind sie auch bezüglich der Zukunft des Walfangs nicht bereit sich Druck von außerhalb zu beugen und wollen selbst über dieses strittige Thema entscheiden.

Survey: Tourism in Iceland

Hello ☺

We are geography students from the Eberhard Karls University of Tübingen in Baden Württemberg, Germany. We are on an excursion in Iceland for two weeks. An interesting topic of our studies is the tourism in Iceland. We would be very grateful if you had the time to answer some questions. We will publish the survey results in our own magazine, anonymously of course.

Please mark with a cross X.

1) Where are you from? (one X)

USA GB GER CAN SWE DNK FIN NOR ESP ITA CHE

PL JPN CHN RUS other EU country other country

2) How did you get to Iceland? (one X)

car plane cruise ship bus

3) Why are you visiting Iceland?

.....

4) How long do you plan to stay here? (one X)

< 1 week 1 week 2 weeks > 2 weeks

5) What regions will you visit? (more than one X possible)

Reykjavik city Reykjavik surrounding area West South East Golden Circle Westfjords Highlands

6) How do you travel across the country? (one X)

car bus horse

7) Where are you staying? (one X)

hotel hostel airbnb camping friends/family other types

8) What is your budget for the trip?

.....

Thank you very much for your participation!
We wish you a safe journey.

Abbildung 5:
Fragebogen der Touristenbefragung am Golden Circle von August 2019
Quelle: eigene Darstellung

Touristenbefragung am Golden Circle

Um uns selbst einen Eindruck über die Lage zu machen, führten wir eine Umfrage zum Thema Tourismus am Golden Circle durch, dem Touristenhotspot schlecht hin. 100 Probanden wurden zu Themen wie ihrem Herkunftsland, ihrem Reisegrund, ihrem Budget, ihren Zielen und den benutzten Verkehrsmitteln befragt. Die Auswertung ergab einige interessante und vielfältige Erkenntnisse, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

Es lässt sich feststellen, dass der am häufigsten angegebene Grund für die Reise die „schöne, atemberaubende Natur“ ist. Weitere Gründe für die Reise waren „Spaß haben“, „von Freunden empfohlen“, „woanders zu heiß“ – man sieht also, dass es sehr individuelle Beweggründe geben kann eine Reise in das teure Land Island anzutreten. Das Budget der Reisenden variiert stark, von 300 € bis 45 000 € ist alles dabei. Ganze 17 % gaben ein Budget von 2000 € an. Hieran lässt sich feststellen, dass Island zu den teuersten Reisezielen Europas gehört, oder sogar das teuerste ist.

Es ist eine Korrelation zwischen dem Budget und der Aufenthaltsdauer zu erkennen. Die Menschen, die mehr Geld in die Hand nehmen, bleiben auch länger. 31 der 100 Probanden bleiben eine Woche, 28 zwei

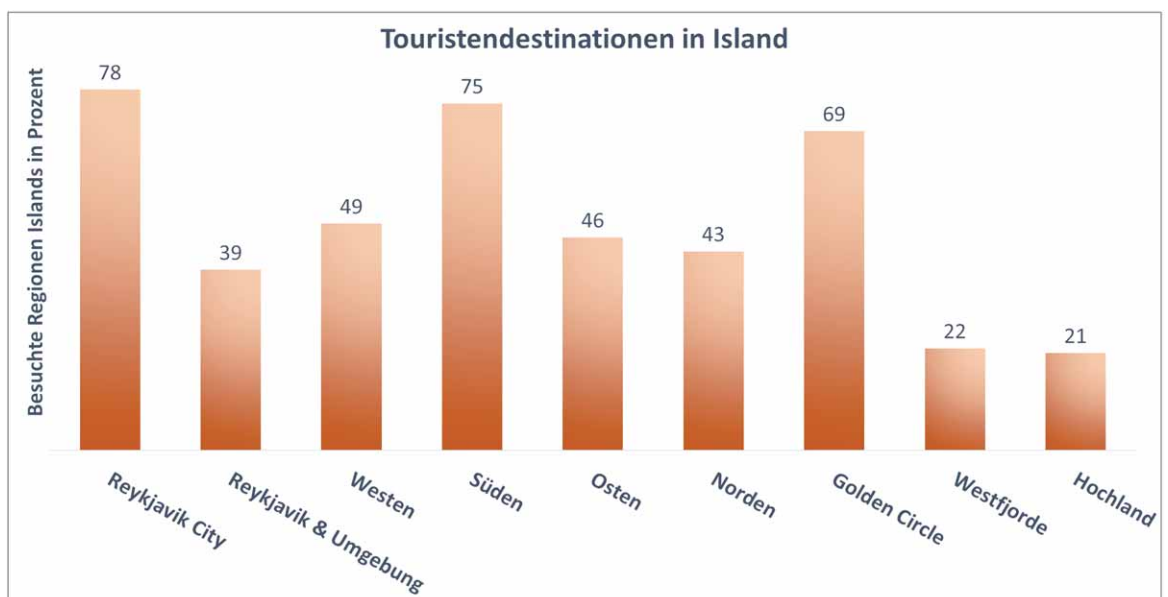


Abbildung 6:
Besuchte Regionen innerhalb Islands
Quelle:
eigene Darstellung,
basierend auf selbst
durchgeführter Befragung

- Tourismus -

Wochen, 18 sogar mehr als 2 Wochen und 14 halten sich 5 Tage in Island auf. Nur 8 verweilen 10 Tage auf der Insel. Die Personen, die ca. 2 Wochen auf der Insel bleiben, besuchen gleichzeitig auch die meisten Regionen Islands. Hierzu eine weitere Grafik die das gut veranschaulicht.

Betrachtet man die Zielgruppe, die nach Island reist, so ergab die Datenauswertung ein sehr überraschendes Ergebnis. Es waren gleichermaßen viele ältere Menschen anzutreffen, als auch Menschen mittleren Alters und sehr junge Menschen. Die Grenzwerte waren hier die Geburtsjahre 1933 und 2006. Island scheint also ein beliebtes Reiseziel für alle Generationen zu sein. Die zufällig ausgewählten Probanden waren etwa gleich viele Männer und Frauen, woran sich erkennen lässt, dass Island bei keinem Geschlecht als Reiseziel dominiert. Doch woher kommen diese Menschen eigentlich? Abbildung 8 gibt Aufschluss darüber.

Wenn man diese Ergebnisse mit den originalen statistischen Erhebungen von 2019 vergleicht, so kommt man zu ähnlichen Erkenntnissen. Die meisten Reisenden kommen aus den USA, Deutschland und Frankreich.

Bei Betrachtung der verwendeten Transportmittel in Abbildung 7 fällt eine gewisse Dominanz auf: das Flugzeug ist und bleibt der

beliebteste und einfachste Weg, um nach Island zu kommen.

Auf Island selber reisen die Menschen unserer Befragung zu 62 % mit dem Auto, häufig ein Mietwagen, und zu 37 % mit einem Reisebus - einer reiste mit einem eigenen Wohnwagen.

Auf die Frage, wo die Befragten schlafen, gab es auch vielfältige Antworten. Von Hotel, Hostel, Airbnb, Campen, bei Freunden schlafen und im eigenen Auto übernachten war alles dabei.

Man sieht also, dass Islandtouristen sehr flexibel sind, hohe Investitionen in die Reise machen und sehr unterschiedlich sind – ob in Bezug auf das Alter, die Herkunft, die Unterbringung oder den Reisegrund.

Quellen:

Statistics Island <https://statice.is>

Icelandic Tourist Board

<https://www.ferdamalastofa.is/en>



Abbildung 7:

Transportmittel der An- und Abreise nach Island

Quelle: eigene Darstellung, basierend auf selbst durchgeführter Befragung

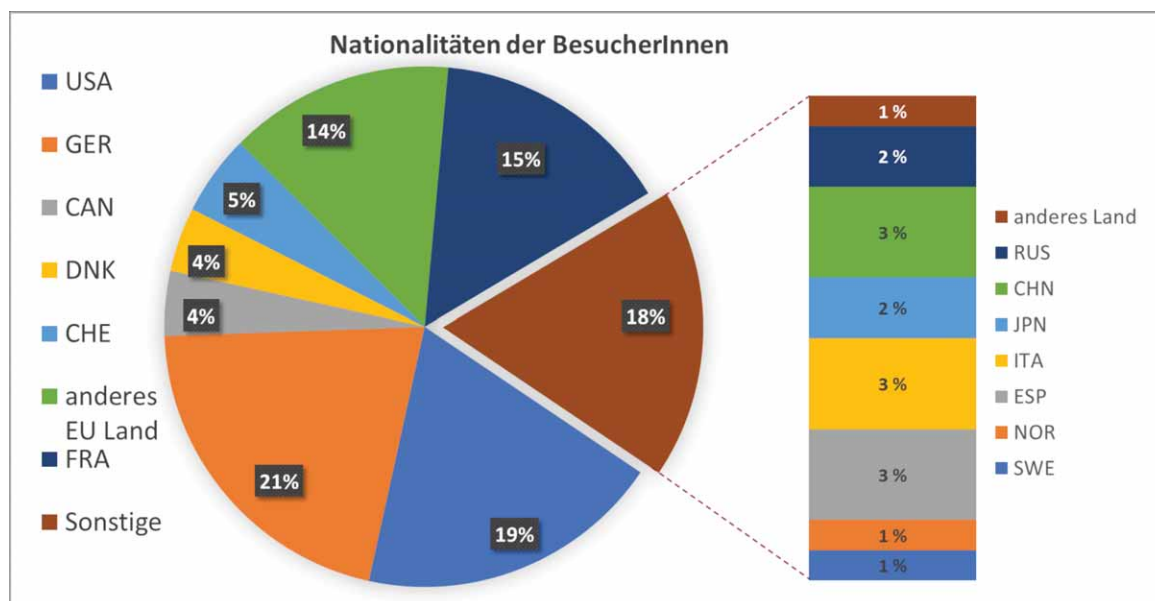


Abbildung 8:

Herkunftsland der Touristen

Quelle: eigene Darstellung, basierend auf selbst durchgeführter Befragung

Die Reaktion der Isländer auf den **Tourismus**

Wie der vorangegangene Artikel zeigt, hat der Tourismus in Island einen hohen Stellenwert für die Wirtschaft. Die Menschenmassen, die sich jedes Jahr nach Island begeben, haben aber nicht nur wirtschaftliche, sondern auch ökologische Folgen. Die Reaktionen der Isländer auf den Tourismus sollen im nachfolgenden Artikel anhand von zwei Standorten, dem Lavafeld Dimmuborgir und dem East Iceland Wilderness Center, beschrieben werden.

von Franziska Hausch und
Kirsten Herscher



Quelle: dieweltenbummler.de



Abbildung 1:
Gruppenbild der Teilnehmer der Islandexkursion in der Trollkirche
Foto: Hohloch 2019

Um die Vegetation nicht noch mehr zu belasten und um ihre Degradation und die darauffolgende Bodenerosion zu vermeiden, werden an den beliebten Tourismusstandorten befestigte Wege und Zäune gebaut. Es gab an einigen Standorten Stege aus Holz, die über den Boden gebaut wurden. Diese haben den Vorteil, dass sie nur an den Pfählen direkten Kontakt mit dem Untergrund haben. Die Vegetation, die mit weniger Licht zurechtkommt, kann darunter weiterwachsen und der Boden wird nicht verdichtet. Durch die leichte Anhebung ist die Hemmschwelle der Touristen, den Weg zu verlassen, außerdem höher. Unser Experte des Soil Conservation Service of Iceland (SCSI), Daði Lange Fríðriðsson, hat uns durch das Lavafeld Dimmuborgir geführt, welches aufgrund verschiedener vulkanischer Formen wie der Trollkirche (auf Abbildung 1 zu sehen) und der dichten Vegetation ein beliebtes Tourismusziel ist.

Die Organisation hat an verschiedenen Orten Zähler aufgestellt, um herauszufinden, welche der Wege besonders intensiv von den Touristen genutzt werden. Die am häufigsten frequentierten Wege sollen geteert werden. Daði erklärte, dass die Menschen gut ausgebaute Wege nur selten verlassen,

womit die angrenzende Vegetation geschützt wird. Zudem haben die geteerten Wege den Vorteil, dass sie für Rollstühle und Kinderwagen leichter befahrbar sind, wodurch der Standort für Touristen an Attraktivität gewinnt. Im Winter sind sie leicht zu räumen und die Gefahr von Verletzungen sinkt damit. Sollte es doch einmal zu einem Notfall kommen, ist der Weg für Rettungsfahrzeuge befahrbar. Es lohnt sich also über solche Maßnahmen nachzudenken, denn auf Kosten weniger Flächen kann man den Rest des Gebietes vor negativen Auswirkungen des Tourismus bewahren und gleichzeitig noch ein angenehmes Ambiente für die Touristen schaffen.

Zusammen mit der üppigen Vegetationsbedeckung ergibt dies, dass die Besucher das Gefühl haben, allein unterwegs zu sein, da sie kaum andere Besucher wahrnehmen. Um den Standort noch attraktiver zu machen und mehr Besucher anzulocken, wurde die Mythenwelt Islands genutzt. Die Isländer haben einen sehr festen Glauben an das Übernatürliche. Ein Großteil glaubt an Trolle und Elfen, wobei man sich über den Gemütszustand der Elfen am meisten Sorgen macht. Es bringe nämlich großes Unglück, sie zu verärgern. Bei unserer Führung

hat Daði Lange Fríðriðsson erzählt, dass die im Lavafeld lebenden Elfen müde von den vielen Touristen werden, sodass bald ein Experte als Kommunikationsmedium engagiert werden soll, der die Elfen wieder beruhigt. Auch bei der Straßen- und Wegeplanung wird auf den Lebensraum der Elfen Rücksicht genommen. Ist ein als Lebensraum der Elfen vermuteter Stein im Weg, wird entweder um ihn herum gebaut oder ebenfalls ein Medium engagiert, welches die Elfen dazu bewegen soll, umzuziehen. Funktioniert das nicht, wird der Verlauf der Straße geändert, da niemand in die Missgunst der Elfen geraten möchte. Die Wege, die im Lavafeld gebaut wurden, haben in diesem Fall den Vorteil, dass es alte Trampelpfade der Schafe waren, die in dem Gebiet geweidet haben und man daher beim Bau angeblich nicht Gefahr laufe, auf Elfen zu stoßen.

Um das Lavafeld vor allem für Einheimische, Kinder und Familien reizvoller zu machen, wurde eine Höhle gesucht und dekoriert, um sie zum Heim der Nikoläuse Islands zu machen. In Island gibt es um Weihnachten den Brauch, dass zu den unartigen Kindern die Trollfrau Grýla kommt, welche als Äquivalent zu unserem Knecht



»Die im Lavafeld lebenden Elfen sind müde von den Touristen.«

**Abbildung 2:
Lavaformationen in Dimmuborgir**

Foto: Behme 2019

»Sind Wege gut ausgebaut, so verlassen Menschen diese nur selten, wodurch die angrenzende Vegetation geschützt wird.«

**Abbildung 3:
Das idyllisch gelegene Badezimmer des East Iceland Wilderness Center. Hinter dem Holz-Zaun befindet sich ein Hotpot, in welchem Gäste die müden Beine nach einem erlebnisreichem Tag entspannen können.**

Foto: Heim 2019



- Tourismus -

Ruprecht gesehen werden kann. Zu den artigen Kindern kommen ihre Söhne und bringen ihnen in den Tagen vor Weihnachten kleine Geschenke. Einmal in der Woche spielt eine Theatergruppe ein Stück in der Höhle und vor Weihnachten singen Chöre verteilt im Lavafeld, sodass der von den Lavaformationen zurückgeworfene Schall, für eine besondere Akustik genutzt wird. Darüber hinaus gibt es als Weihnachtsmänner verkleidete Männer, die Bilder mit den Kindern machen.

Auch für den ländlichen Raum brachte der Tourismus Veränderungen. Die Exkursions Teilnehmer, die bereits vor einigen Jahren einmal in Island waren, konnten beobachten, dass es deutlich mehr geteerte Straßen gab, was auch für die Landwirte eine positive

Entwicklung darstellt. Außerdem haben viele Landwirte durch den Tourismus ein weiteres Standbein bekommen, indem sie Cafés und Restaurants betreiben, in denen sie unter anderem ihre selbst erwirtschafteten Produkte verkaufen oder Übernachtungsmöglichkeiten in Form von Gasthäusern anbieten. Im East Iceland Wilderness Center konnten wir einiges über die Ideen und Konzepte des Inhabers lernen, während wir den Eintopf mit Gemüse und Fleisch von seinem Hof genossen. Er hat ein altes Bauernhaus in ein Museum und eine Unterkunft mit uriger Atmosphäre verwandelt. Zusätzlich nutzt er ein Hochtemperaturfeld auf seinem Grundstück für das Warmwasser der Duschen und zum Betrieb des selbstgebauten Hotpots. Beim alljährlichen Réttir, bei dem die Schafe von den Allmenden, den

Weiden im Hochland, zurück auf die Farm getrieben werden, bietet er verschiedene Wander- und Reittouren an, auf denen man einiges über die Geschichte des Landes und die Region lernen kann. Ein einzigartiges Highlight stellt eine für Island typische Torfhütte dar, die zu einer Sternwarte umgebaut wurde. Ihr Dach kann aufgeschoben werden, welches den Himmelszugang für ein digital bedienbares Teleskop freigibt. Dies erlaubt den Besuchern bei warmen Getränken, die Sterne und die Polarlichter zu betrachten und lockt die Touristen auch im Winter in entlegene Gebiete. An dieser großen Angebotsbreite lässt sich sehr gut aufzeigen, dass die Isländer viel Mühe und Kosten in ihre Ausrichtung auf den Tourismus stecken, um ganzjährig Attraktivität zu garantieren.

Literatur:

Rein, H. & Strasdas, W. (2017). Nachhaltiger Tourismus. Konstanz: UVK.



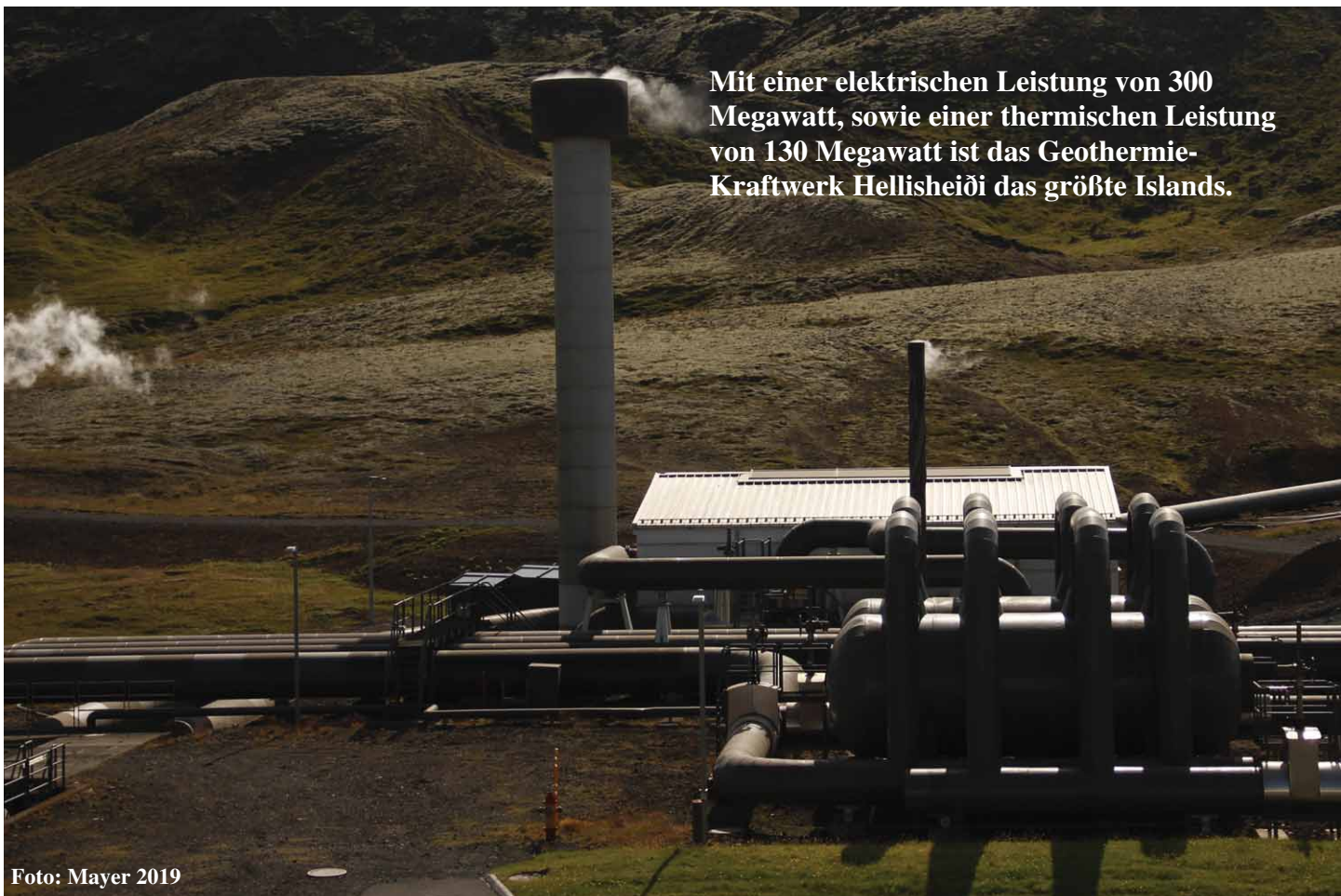
Gas into Stone

Eine Möglichkeit der dauerhaften Fixierung von Kohlenstoff am Beispiel Island

Die Diskussion um den Klimawandel und die Reduktion der Treibhausgase ist derzeit allgegenwärtig. Insbesondere CO₂ gilt als eine der Hauptursachen für die globale Erwärmung. Seit der industriellen Revolution beschleunigt der Mensch den Kohlenstoffkreislauf, weshalb die Reduktion der Emissionen als eine der größten Herausforderungen des nächsten

Jahrzehnts angesehen werden kann. Das Geothermie Kraftwerk Hellisheiði nutzt eine Technologie, welche es ermöglicht CO₂ aus der Atmosphäre zu filtern und in Festgestein umzuwandeln. Neben der Bereitstellung erneuerbarer Energien trägt das Kraftwerk dadurch zu einer direkten Verminderung der Treibhausgase in unserer Atmosphäre bei.

von Annika Cüppers, Amelie Gaiser, Marvin Schmidt



Mit einer elektrischen Leistung von 300 Megawatt, sowie einer thermischen Leistung von 130 Megawatt ist das Geothermie-Kraftwerk Hellisheiði das größte Islands.

Foto: Mayer 2019



Foto: Hörz 2019



Bereits 30 % (900 Gt) des atmosphärischen CO_2 sollen anthropogen emittiert worden sein. Die Szenarien des fünften IPCC Berichts, den Klimawandel auf 2°C zu beschränken, sind alle mit einer großskalierten Beseitigung von CO_2 aus der Atmosphäre verbunden. Neben globaler Aufforstung spielt bei der Reduktion von Kohlenstoffdioxid die direkte Entfernung des Treibhausgases aus der Atmosphäre eine zentrale Rolle. Man spricht dabei auch von Direct Air Capture, kurz DAC. Ein Ansatz der Wissenschaft ist es, das Treibhausgas aus der Luft herauszufiltern und es anschließend in mehrere hundert Meter Tiefe zurückzuführen. Dort soll das CO_2 unter undurchlässigen Gesteinsschichten gespeichert oder idealerweise sogar remineralisiert und somit in den größten Kohlenstoffspeicher der Erde zurückgeführt werden. Im Folgenden sollen daher verschiedene Methoden der CO_2 -Speicherung in Gestein vorgestellt werden. Im Fokus liegen dabei das CarbFix Projekt und dessen Nachfolger (CarbFix2), welche im Südwesten Islands lokalisiert sind.

CO_2 Injektion im Sleipner Feld

Eines der bekanntesten Beispiele für CO_2 -Injektionen ist das Sleipner Feld im norwe-

gischen Teil der Nordsee. Seit 1996 wurde dort jährlich etwa 1 Megatonne (Mt) an superkritischem CO_2 in einen ~200 m mächtigen salinen Aquifer im Utsira-Sand injiziert, welcher sich in mehr als 700 m Tiefe befindet. Das weniger dichte und dadurch leicht flüchtige CO_2 wird innerhalb des Sedimentgesteins aufgrund des Mangels an calcium-, magnesium- und eisenreichen Silikaten kaum zu Carbonaten remineralisiert, weshalb das Gas innerhalb des Aquifers aufsteigt, bis es von einer undurchlässigen Schicht aus Tongestein aufgehalten wird. Dies stellt die häufigste Methode einer unterirdischen CO_2 -Speicherung dar, welche jedoch hinsichtlich der Speicherkapazität und der Dauerhaftigkeit aufgrund mangelnder Reaktivität der Silikate sehr limitiert ist.

CO_2 Injektion in Basalt-Gestein

Eine deutlich vielversprechendere Methode soll eine Injektion in Basaltgestein sein (vgl. Abbildung 1b). Dieses besteht zu 25 Gew.% aus Calcium-, Magnesium- oder Eisenoxiden und ist unter Wassereinfluss deutlich reaktiver als Sedimentgestein. Um die Remineralisierung zu beschleunigen, soll demnach das CO_2 zusammen mit Wasser in das Gestein befördert werden. Betrachtet man die globale Verteilung von Basalt, so

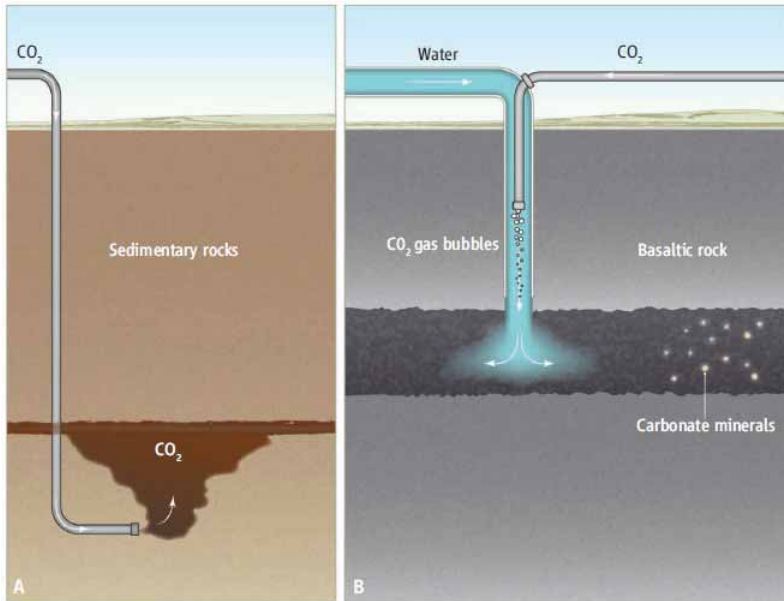


Abbildung 1:
Konventionelle Methode der Speicherung von flüchtigem CO₂ in Sedimentgestein (l.) und die CarbFix Methode in Basalt (r.)
 Quelle: Gislason & Oelkers 2014

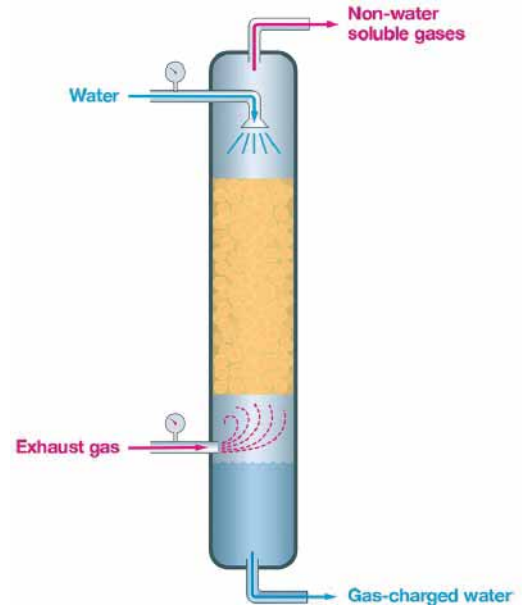


Abbildung 2:
Schematische Darstellung eines Turmwäschers im CarbFix/CarbFix2 Projekt
 Quelle: Gunnarsson et al. 2018

bestehen rund 10 % der Kontinente sowie der Großteil ozeanischer Kruste aus diesem Gestein. Hinzu kommt die geschätzte Speicherkapazität von 70 kg/m³, wodurch das Speicherpotenzial der ozeanischen Rücken eine Größenordnung höher liegt als die zu erwartende CO₂-Emission durch die Verbrennung sämtlicher fossiler Brennstoffressourcen.

Weitere Forschungsergebnisse zeigen eine potenzielle Mineralisationsrate von 0,2-0,5 t CO₂ und 0,03-0,05 t H₂S pro Jahr und m³, abhängig von der Lithologie. Beide Methoden haben jedoch eines gemein – die Kosten. Je nach Methode und Gebiet liegen diese schätzungsweise zwischen 38 und 142 US\$/tCO₂. Demgegenüber steht ein Preis von nur 7 US\$/tCO₂ für die CO₂-Emission.

CarbFix-Projekt auf Island

Island bildet den größten Abschnitt des mittelatlantischen Rückens oberhalb des Wasserspiegels und besteht dementsprechend fast ausschließlich aus basaltischen Gesteinen. Entsprechend dieser Gegebenheiten konzentriert sich das 2006 initiierte CarbFix-Projekt auf letztere Methode mit dem Ziel, ein Vorzeigeprojekt der CO₂-Beseiti-

gung aus der Atmosphäre und dessen Speicherung in Basalt zu werden.

Das Projekt befindet sich in der Húsmúli-Region im Südwesten Islands in unmittelbarer Nähe zum Geothermiekraftwerk Hellisheiði. Auch wenn es sich dabei um eine regenerative Energie handelt, emittiert dieses Kraftwerk Abgase mit einer Zusammensetzung von 60 Vol.% CO₂, 20 Vol.% H₂S, 18 Vol.% H₂, 2 Vol.% N₂ sowie Spuren von Methan und Argon. Der Plan war es deshalb, den CO₂- und H₂S-Anteil herauszufiltern und mithilfe von Wasser in den Basalt in 500-800 m Tiefe zu pumpen.

Die Lösung der Gase in Wasser hat dabei in erster Linie zwei Vorteile: Zum einen ist das mit Gas versetzte Wasser dichter als Frischwasser, was das Risiko eines Aufstiegs der Gase an die Oberfläche minimieren soll. Zum anderen ist das Gemisch leicht sauer, was die Lösung von Basalt fördert und damit die Verfügbarkeit der Kationen (Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺) erhöht, welche für die Carbonatausfällung benötigt werden. Da mit höherem Druck weniger Wasser für die Lösung gleicher CO₂-Mengen erforderlich ist, wurde das Gas über ein zusätzliches Rohr in 350 m

Tiefe geleitet und erst dort mit dem abfließenden Grundwasser gemischt. Dennoch werden enorme Wassermengen benötigt, da der Gasanteil bei lediglich 5 % liegt. Über dieses Verfahren werden derzeit 34 % der CO₂ und 68 % der H₂S Emissionen von Hellisheiði herausgefiltert, wodurch allein in einer Testphase von Januar bis März 2012 rund 175 t CO₂ injiziert werden konnten. Die Kosten einer solchen Injektion sind mit 17 US\$/tCO₂ etwa doppelt so hoch als bei der gängigeren Methode ohne Wasser in Sedimentgestein, wobei zusätzlich 55-112 US\$/t CO₂ für die Filterung der Gase hinzukommen.

Weiterhin wurden Untersuchungen mit ¹⁴CO₂ durchgeführt, welches sich chemisch und physikalisch gleich wie ¹²CO₂ verhält und einer Injektion als Tracer hinzugefügt wurde. Auf diese Weise sollte eine Mineralisation in Form von Carbonaten nachgewiesen werden. Das vielversprechende Ergebnis zeigt, dass rund 95 % des injizierten CO₂ nach weniger als 2 Jahren zu Carbonaten mineralisiert ist.

Bei Húsmúli handelt es sich um ein seismisch eher unauffälliges Gebiet. Daher war

es umso überraschender, dass es bei Testphasen im Jahr 2011 zu rund 40 Erdbeben der Stärke 2.5 und acht Erdbeben der Stärke 3-4 kam, obwohl der Injektionsdruck weit unter dem kritischen Stresslevel des Gesteins lag.

Weiterhin gab es Bedenken bezüglich der Trinkwasserqualität, da die Reaktion von CO_2 mit Basalt unter anderem auch toxische (Schwer-)Metalle in das Wasser freisetzt. Bei einer Untersuchung am Eyjafjallajökull konnte jedoch eine Korrelation zwischen gelösten toxischen Metallen und gelöstem Calcium festgestellt werden, was nahelegt, dass bei der Ausfällung von Carbonaten auch andere Elemente gebunden werden. Hierzu zählen unter anderem Cadmium, Kobalt und Kupfer, aber auch Spurenelemente

wie Cer, Neodym oder Titan. Dies hatte jedoch keine weitreichenden Folgen für das Projekt, welches Ende 2017 in das CarbFix2 Projekt übergang.

Das Reservoir zur Speicherung von CO_2 des CarbFix2 Projektes liegt mit 2.000 m deutlich tiefer und erreicht mit 220-260 °C auch weit höhere Temperaturen als jenes von CarbFix, was die Lösungsrate von Basalt steigert. Auch in diesem Projekt wurden die Abgase von Hellisheiði verwendet. Dabei wurde das Gas mithilfe eines Turmwäschers (vgl. Abbildung 2) separiert, indem das eingeleitete Gas mit Wasser beregnet wird. Wassergelöstes Gas wird anschließend über ein 1,5 km langes Rohr abgeleitet und injiziert, während nicht-wasserlösliches Gas in die Atmosphäre abgegeben wird. Auf diese

Weise werden jährlich bis zu 1 Mt Gase mit 20-25 Mt Wasser in das Reservoir injiziert, was in etwa den 20-fachen jährlichen Emissionen des Kraftwerks entspricht.

Weiterhin gibt es im Rahmen von CarbFix2 eine Partnerschaft zwischen Reykjavik Energy und Climeworks, um DAC-Technologien mit der isländischen Injektionsmethode zu verbinden. Die vom Schweizer Unternehmen Climeworks entwickelte Anlage ermöglicht eine Isolierung von CO_2 (aktuell 50 t/Jahr) aus der Luft mithilfe eines Filters, jedoch ist allein hierdurch keine permanente Speicherung möglich, weshalb eine Kombination mit CarbFix angedacht ist (vgl. Abbildung 3). Mithilfe dieser Kooperation können zudem die hohen Kosten auf insgesamt 24.8 US\$ /t CO_2 reduziert werden.

»Geothermie-Kraftwerke nutzen zwar die Energie der Erde, sind aber dennoch nicht klimaneutral sondern produzieren Treibhausgase, welche es zu reduzieren gilt.«

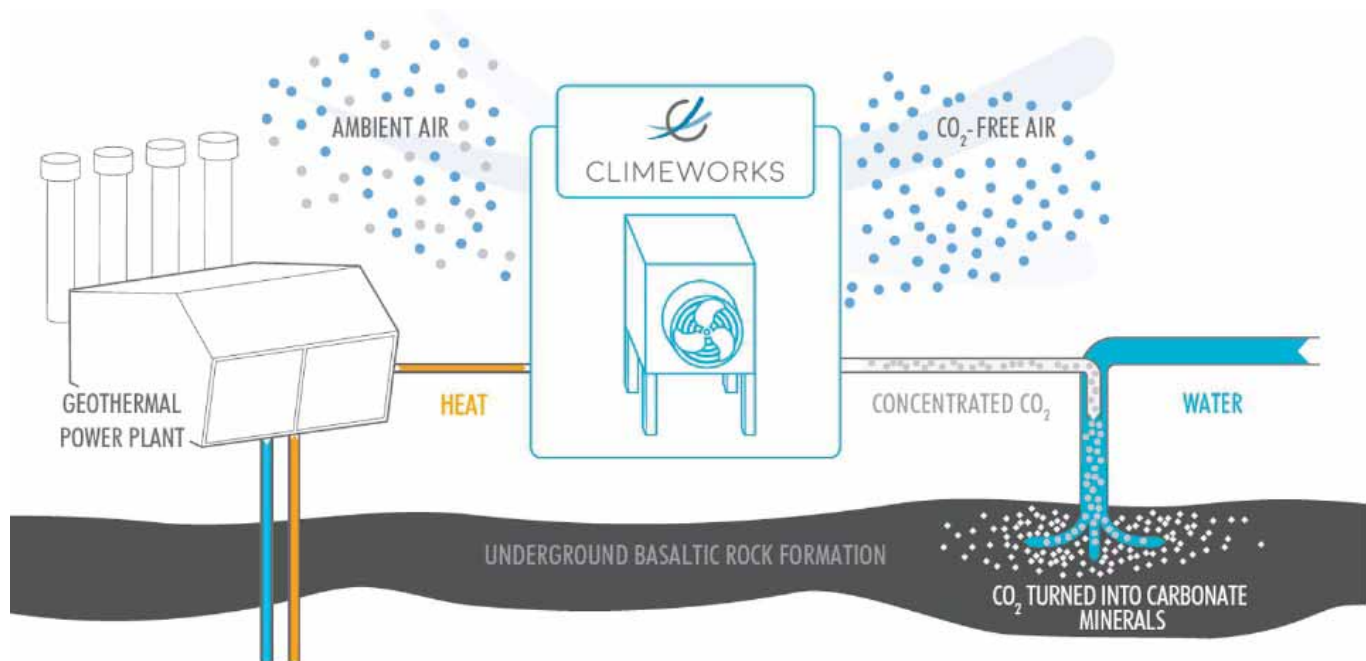


Abbildung 3:
Schematische Darstellung einer Kombination der beiden Technologien.
Quelle: Gutknecht et al. 2018

Offshore-Speicherung

Eine weitere Möglichkeit stellt die Offshore-Speicherung von CO₂ im Untergrund dar, welche durch ausreichend porösen Basalt in nächster Nähe ein nahezu unerschöpfliches Wasserreservoir darstellt. Schätzungen zufolge soll es auf diese Weise möglich sein, allein in den mittelozeanischen Rücken weltweit bis zu 100.000 Gigatonnen (Gt) CO₂ zu speichern und somit langfristig aus der Atmosphäre zu entfernen.

Andere Ergebnisse beziehen sich wiederum direkt auf die isländische ‚Exclusive Economic Zone‘, eine Zone, welche sich 200 Seemeilen um die isländische Küste erstreckt und rund 740.000 km² einnimmt. In dieser Zone sollen geschätzt 7.000 Gt CO₂ gespeichert werden können. Bei einer solchen Offshore-Lösung soll das CO₂ bei 25 bar Druck, 4°C und durchschnittlicher Salinität des Ozeanwassers gelöst werden. Rechnet man dies auf die jährlichen anthropogenen Emissionen (~36 Gt) hoch, so sind hierfür rund 720 Gt H₂O notwendig. Was zunächst nach einer enormen Menge Wasser klingt, stellt tatsächlich lediglich ein Drittel der Wassermenge dar, die jährlich im Bereich der mittelozeanischen Rücken versickert. Dementsprechend stellt die Offshore-Methode einen vielversprechenden Lösungsansatz für die Zukunft dar, welcher jedoch noch einiger Forschung bedarf.

Literatur

Gíslason, S.R. & Oelkers, E.H. (2014). Carbon Storage in Basalt. *Science* (S. 373-374).

Gunnarsson, I. et al. (2018): The rapid and cost-effective capture and subsurface mineral storage of carbon and sulfur at the CarbFix2 site. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, S. 117-126.

Gíslason, S.R. et al. E.H. (2018): A brief history of CarbFix: Challenges and victories of the project's pilot phase. *Energy Procedia*, S. 103-114.

In den letzten Jahrzehnten hat die Kohlenstoff-mineralisation und -speicherung im Gestein zunehmend Aufmerksamkeit erlangt. Dabei bieten die unterschiedlichsten Methoden ein sehr großes Potenzial, tausende Gigatonnen CO₂ über geologische Zeiträume zu speichern. Jedoch sind diese Potenziale auch mit einigen Problemen verbunden.

Allem voran liegen dabei die Kosten, die zwar im Beispiel CarbFix2 sehr stark reduziert werden konnten, noch immer weit über den Kosten für den CO₂ Ausstoß liegen. Dem könnte relativ leicht, beispielsweise mit höheren CO₂ Steuern entgegengewirkt werden. Weiterhin muss die Speichersituation sorgfältig vorerkundet werden, um das Auslösen von Erdbeben, wie in CarbFix, zu verhindern.

Auch die Methoden der Filterung von Treibhausgasen aus der Luft müssen noch weiterentwickelt werden, jedoch bietet die Lösung von Climeworks einen sehr guten Ansatz. Um den internationalen Klimazielen bis 2100 gerecht zu werden, ist es notwendig, bis spätestens 2030 mit einer Beseitigung von CO₂ im Gigatonnen-Maßstab zu beginnen. Wie dieses große Potenzial von Gas into Stone in Zukunft genutzt wird, hängt allerdings mehr mit politischem Willen und der Realisierbarkeit in der Wirtschaft zusammen als mit wissenschaftlichem Fortschritt.



Von den sechs Geothermie Kraftwerken Islands ist Hellisheiði bislang das einzige, bei welchem die Emission von Kohlenstoffdioxid mittels Direct Air Capture-Technologien der Erde zurückgeführt werden.
In diesem Foto ist ein Teil des Krafla-Kraftwerkes zu sehen, welches im Mývatngebiet, im Norden Islands zu finden ist.



Foto: Schmidt 2019

Das zentralisländische Hochland ist von extremen Klimabedingungen geprägt. Die Umgebung wirkt karg und wüstenartig, weit und breit ist keine Menschenseele zu sehen.

Foto: Heim 2019

Der Untergrund taut auf...

Die Temperatur der Erde steigt schon seit Jahrzehnten an, die Auswirkungen werden jedoch erst im Laufe der Zeit erkennbar. Nicht nur die Gletscher schmelzen zurück, sondern auch der Permafrost im Untergrund taut langsam auf. Im Gegensatz zu den mächtigen und weit verbreiteten Permafrostvorkommen im Norden Kanadas und Sibiriens ist dieses auf Island deutlich weniger ausgeprägt. Doch auch auf Island degradieren die Permafrostböden. Liegen hierfür die Gründe nur beim Klimawandel oder spielen auch andere Ursachen eine Rolle?

von Annika Behme und Katrin Wernicke

- Permafrost -

Permafrost beschreibt den gefrorenen Untergrund, in dem seit mind. 2 Jahren kontinuierlich Temperaturen unter 0 °C oder tiefer vorliegen (siehe Kasten 1). Da der Permafrost nicht direkt an der Oberfläche ansteht, gibt es bisher keine verlässliche Methode zur Kartierung von Permafrost mittels Fernerkundungsdaten. Trotzdem haben Obu et al. versucht, mithilfe von Oberflächentemperaturen die Verbreitung von Permafrost in der nördlichen Hemisphäre zu modellieren. Eine Ergebniskarte der Studie ist in Abbildung 1 zu sehen.

Gliederung des Permafrostes

Vertikal lässt er sich von der Oberfläche ins Erdinnere in active layer (jahreszeitlicher Auftaubereich), den Permafrostkörper mit einer Übergangszone (jahreszeitliche Temperaturschwankungen) und der Zone des isothermen Permafrostes sowie den ungefrorenen Bereich unterteilen. Horizontal wird der kontinuierliche Permafrost (lückenlos vom Permafrost durchsetzter Untergrund) vom diskontinuierlichen (mehr als 50 % gefrorene Fläche im Untergrund), sporadischen (10-50 % dauerhaft gefrorene Fläche) und isolierten Permafrost (unter 10 % vom Permafrost durchsetzter Untergrund) unterschieden. Gerade Bereiche mit isoliertem, sporadischem und diskontinuierlichem Permafrost reagieren sehr empfindlich auf thermische Veränderungen.

Abbildung 1:
Modelliertes Permafrostvorkommen auf Island

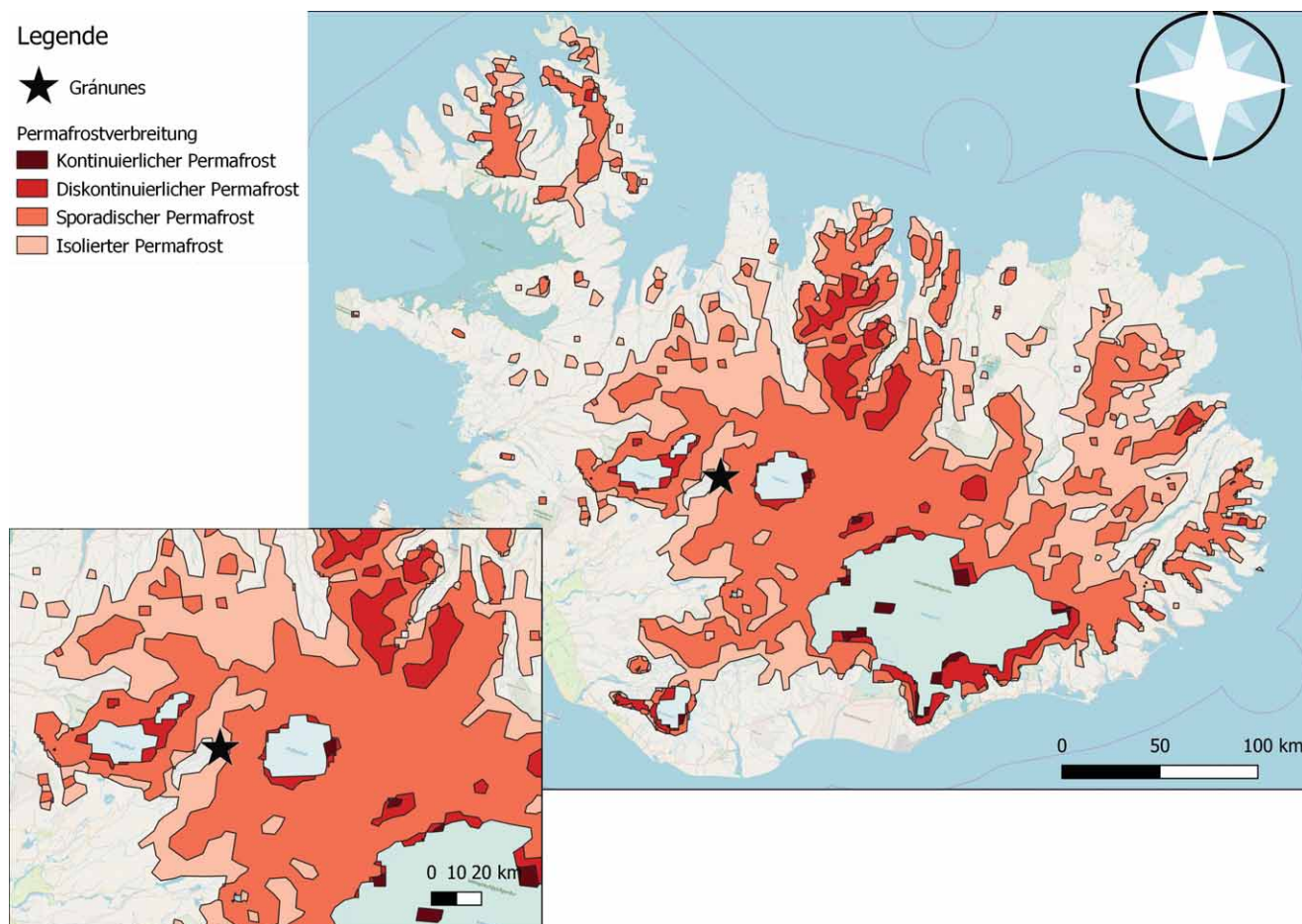
Quelle: Auf Datengrundlage von Obu et. al, Karte erstellt von Wernicke 2019

Legende

★ Gránunes

Permafrostverbreitung

- Kontinuierlicher Permafrost
- Diskontinuierlicher Permafrost
- Sporadischer Permafrost
- Isolierter Permafrost



»Wenn der Permafrost auftaut erfährt die gesamte Landschaft eine Umformung.«

- Permafrost -

Die Modellierung zeigt, dass auf Island zurzeit kein kontinuierlicher Permafrost vorhanden ist. Stattdessen überwiegen Gebiete mit diskontinuierlich gefrorenem Untergrund. Der Permafrost kommt vor allem in den gletscherfreien Periglazialgebieten im zentralen Hochland der Insel vor, weniger in den Küstengebieten. Eine Ausnahme bilden hier jedoch die Fjordküsten etwa der Westfjorde, in denen aufgrund ihres Reliefs großflächig sporadischer und isolierter Permafrost anzutreffen ist. Das isländische Hochland ist plateauartig ausgebildet und liegt durchschnittlich auf 500 bis 700 m ü. NHN. Es wird jedoch von einzelnen Bergen um mehr als 1000 Meter überragt. Auf Höhe des Plateaus herrschen tundrenartige Klimabedingungen mit mittleren Jahrestemperaturen von 0 bis 10 °C. Im nördlichen Hochland treten mit unter 600 mm die geringsten Niederschlagsmengen Islands auf. Aufgrund dieser klimatischen Bedingungen und extremer Windstärken können sich hier nur wenige Pflanzen ansiedeln. Vegetation ist daher vor allem in Senken mit hoher Bodenfeuchte und Windschutz zu finden. Ansonsten sind in weiten Teilen des Hochlandes, wie auch auf dem Titelbild dieses Artikels zu sehen, eher wüstenhafte Verhältnisse anzutreffen.

Wie Farbrot et al. feststellten, kann auf Island in schneereichen Regionen, aufgrund der isolierend wirkenden Schneedecke, kein Permafrost vorkommen. Somit können keine tieferen Temperaturen in den Untergrund eindringen. In Bereichen mit geringmächtiger oder fehlender winterlicher Schneedecke ist dagegen ein tiefes Eindringen des Frostes in den Untergrund durchaus gegeben. Unter den heutigen klimatischen Bedingungen kann sich Permafrost auf Island nur noch in schneearmen Gebieten über 1000 m ü. NHN bilden. Der deutsche Geograf Schunke vermutete daher schon 1973, dass der Permafrostboden auf Island fossiler Art sein müsse, möglicherweise stamme er aus der Zeit der Kleinen Eiszeit zwischen 1500 bis 1900.

Palsen als Formen des Permafrosts

Das Vorkommen von Permafrost ist anhand charakteristischer Formen, welche sich nur in Zusammenhang mit diesem im Untergrund bilden können, an der Oberfläche zu erkennen. In feuchteren Gebieten können das Palsen oder Solifluktsdecken, wie in Abbildung 2, sein. Diese sind z. B. im Norden Islands auf der Tröllskagi-Halbinsel auf

Gebirgspermafrost zu finden. An trockenen Standorten können Eiskeilnetze auf (ehemaligen) Permafrost im Untergrund hindeuten.

Palsen, deren Vorkommen an diskontinuierlichen oder sporadischen Permafrost gebunden ist, sind Torfhügel mit blankem Eiskern. Bei der Entstehung von Palsen kommt es zur punktuellen Eisakkumulation und damit zur Bildung eines Eiskerns. Dieser besteht aus vielen dünnen Lagen Segregationseis oder dicken Eislinsen und ist dauerhaft gefroren. Die Volumenausdehnung, die durch das Eiskernwachstum verursacht wird, hebt die aufliegende, 1-5 m mächtige Torfschicht nach und nach empor. Dabei wirkt die Torfhülle, die im Sommer meist frostfrei ist, als thermische Isolation für den gefrorenen Kern. Es können unterschiedliche Formen, wie wall-, plateau- oder schildförmige Palsen, die 10 bis 50 m breit und 15 bis 150 m lang werden können, entstehen. Wenn die schützende Torfdecke aufreißt, degradiert die Palse – der Eiskern taut, ein Thermokarstsee kann sich bilden.

Abbildung 2:
Solifluktsloben auf der Tröllskagi-Halbinsel

Foto: Behme 2019



Solifluktion

Solifluktion beschreibt die langsame Abwärtsverlagerung der oberen Bodendecke auf gefrorenem Boden. Durch das Auftauen des active layers an einem Hang ab 2 ° Neigung werden die Bodenteilchen hangabwärts bewegt. Dabei können charakteristische Formen wie Solifluktsloben (Abbildung 2), -terrassen und -schuttdecken entstehen.

**Abbildung 3 (links):
Degradierende Palse mit
Thermokarstsee**

Quelle: Saemundsson 2012

**Abbildung 4 (rechts):
Degradierete Palse an der
Kjölur**

Foto: Eberle 2019



Schunke hat auf seinen Forschungsreisen (1970-1972) die Verbreitung von Palsen in Zentral-Island kartiert. Die Kartierung zeigt ein reiches Vorkommen der Formen im Hochland, insbesondere zwischen den Gletschern Langjökull und Hofsjökull, welche an dieser Stelle die Landschaft prägen. Die Grundmoräne ist dabei meist nur lückenhaft von Vegetation bedeckt. In den zahlreichen Senken und Talungen des flachwelligen Reliefs bildeten sich Moor- und Sumpfareale aus – optimale Bedingungen für die Entstehung von Palsen.

**Permafrostdegradierung und
Thermokarst**

Wenn der Permafrost auftaut – wie es derzeit weltweit passiert – erfährt die gesamte Landschaft eine Umformung. Da es beim Abtauen von Eis zu einer Volumenreduktion kommt, entstehen bei flachem und somit abflusslosem Relief kleine Senken und darin Seen. Diese Formen erinnern vereinzelt an Kalklandschaften, bei denen durch den Pro-

zess der Verkarstung abflusslose Mulden, sogenannte Dolinen, und Höhlen entstehen können. Deshalb werden die Prozesse des degradierenden Permafrosts unter dem Begriff Thermokarst zusammengefasst. Formen von degradiertem Permafrost konnten auf der Exkursion 2019 bei Gránunes an der Hochlandstraße Kjölur gefunden werden. Abbildung 4 zeigt einen eingestürzten Palse, welcher sich klar durch die fehlende Vegetationsdecke hervorhebt.

In der Fundregion der eingestürzten Palse von 2019 kartierte Schunke in den 1970er Jahren Vorkommen von degradierten, sowie noch bestehenden Palsen. Schon damals waren die Palsen also teilweise inaktiv. Degradierete Palsen bilden Kryokarstkaven aus, flache Mulden, die zeitweise mit Wasser gefüllt sind. Dabei lässt ihr Umriss auf die vorherige Form der Palse schließen. Die degradierten Palsen bei Gránunes waren wohl schildförmig entwickelt. Ihre Reste bilden vegetationsarme Kryokarstkaven in enger

Vergesellschaftung, die gemeinsam ein unregelmäßiges Hügelrelief bilden.

Es gibt unterschiedliche Gründe für die Degradation von Palsen auf Island. An der im zentralen Hochland gelegenen Klimastation Hveravellir wurde im Zeitraum von 1966-1975, während Schunkes Untersuchungen, eine durchschnittliche Jahrestemperatur von $-1,2\text{ °C}$ gemessen, im Zeitraum von 2008-2017 betrug diese $+0,3\text{ °C}$. Das entspricht in ca. 40 Jahren einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur von $1,5\text{ °C}$. Weiterhin kommt es zu einer Zerstörung der Vegetation durch die Bildung von Nadeleis oder das Grasens der Schafe im isländischen Hochland. Aufgrund der dadurch entstehenden Substratauflockerung und der Trockenheit des Bodens ist eine Substratauswehung durch äolische Erosion möglich. Dieser Prozess kann mit den gemessenen Winddaten auf der Exkursion bestätigt werden. So wurden während des kurzen Aufenthalts an den degradierten Palsen eine durchschnittliche



Windgeschwindigkeit von 34,7 km/h und eine maximale von 60,3 km/h gemessen. Aufgrund des durch den Wind abgetragenen Materials ist die Isolierfunktion der Vegetationsdecke nicht mehr vorhanden. Ist bereits eine wassergefüllte Kryokarstkave vorhanden, so wird die Degradation der Palse aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers rascher voranschreiten. Es ist wohl eine Kombination aller Faktoren, die auf Island in den letzten Jahrzehnten zum Verschwinden dieser Permafrostformen geführt hat und weiterhin führen wird.

Folgen der Degradation

Als Folgen der Permafrostdegradation sind in den betroffenen Gebieten großflächige Landschaftsveränderungen zu beobachten. Neben den bereits erwähnten Kryokarstkaven kann die infolge des Abtauprozesses des Permafrostes entstandene Instabilität zu Rutschungen an den Hängen führen. Zudem werden in den polaren Küstenregionen im Durchschnitt 1 bis 2 m Permafrost im Jahr

erodiert, lokal auch 10 bis 30 m. Die Thermoabrasion, wie die Erosion von Permafrost an Küsten auch genannt wird, kann infolge der entstehenden Hanginstabilität zu Küstenabbrüchen führen. Zusätzlich zur Veränderung der Landschaft kommt es beim Auftauen von Permafrost zur Freisetzung von Treibhausgasen. Durch die Akkumulation von organischer Substanz im Permafrostkörper und dem active layer fungieren Permafrostgebiete als Kohlenstoffsänke. Dabei sind schätzungsweise 1024 Gigatonnen (Gt) organischer Kohlenstoff in den oberen 3 Metern der arktischen Boden- und Permafrostprofile gespeichert. Im Vergleich dazu macht die globale Vegetationsmasse ungefähr 650 Gt organischen Kohlenstoff aus, die Kohlenstoffmenge in der Atmosphäre wird auf insgesamt 750 Gt geschätzt. Beim Auftauen des Permafrostes wird die organische Substanz abgebaut und dabei Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffmonoxid, also Lachgas, freigesetzt.

Da auf Island größtenteils isolierter, sporadischer oder diskontinuierlicher Permafrost verbreitet ist, degradieren die Permafrostvorkommen als Folge der Erderwärmung stark. Aufgrund der eher kleinräumigen oder isolierten Vorkommen wird aber das Verschwinden des Permafrostes auf Island keinen starken Einfluss auf den weltweiten Klimawandel nehmen. Deshalb liegen auch nur wenige aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen zu dieser Thematik vor.

Literatur:

Blümel, W. D. (2015). *Physische Geographie der Polargebiete*. Stuttgart: Borntraeger.

Saemundsson T. et al. (2012). The Orravatnstrustir palsa site in Central Iceland-Palsas in an aeolian sedimentation environment. *Geomorphology*.

Schunke, E. (1973). Palsen und Kryokarst in Zentral-Island. In: *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Impressum

Island im Wandel

Eine Zeitschrift der Geografie-Exkursion 2019

Eberhard Karls Universität Tübingen
Geografisches Institut
Rümelinstraße 19-23
72070 Tübingen

Redaktion und Gestaltung

Annika Cüppers

Autorinnen und Autoren

Annika Behme, Annika Cüppers, Amelie Gaiser,
Franziska Hausch, Lisa Heim, Kirsten Hersacher,
Alexander Hohloch, Michael Hörz, Giulia König,
Delia Maas, Damaris Mayer, Helena Obermeier,
Caroline Rapp, Felix Rosenberger, Marvin
Schmidt, Felix Schneider, Madeleine Schnell,
Gabriele Veas und Katrin Wernicke

Auflage und Jahr

300 Exemplare / Februar 2020

Druck

medialogik GmbH
Im Husarenlager 8
76187 Karlsruhe

Copyright

Urheberrecht für alle Texte und Bilder liegen bei
den genannten Verfassern.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur nach
Rücksprache mit der Redaktion

Titelbild: Schmidt 2019

Vielen Dank an

Die Gesellschaft für Erd- und
Völkerkunde zu Stuttgart e.V. für
die Finanzierung dieser Zeitschrift

Dr. Joachim Eberle und Dr. Hans-
Joachim Rosner, welche diese
Exkursion leiteten und uns
Studenten somit diese Erfahrung
ermöglichten

Die Stadt Reykjavík ist die nördlichste Hauptstadt der Welt. Sie bildete den Ausgangs- und Endpunkt der Exkursion. Seit ein paar Jahren prägt unter anderem die Harpa das Stadtbild. Das Konzerthaus am Hafen, im Foto mittig zu sehen, erinnert an einen angespülten Eisklotz.



Foto: Heim 2019

