



Geodynamik

Schieben, krachen, explodieren – Island, wo die Erde sich bewegt

Geodätische Forschungsarbeiten der Akademie auf Island, u. a. zu den vulkanischen Aktivitäten des Eyjafjallajökulls, der im April 2010 den Flugverkehr in Europa lahmlegte.

VON CHRISTOF VÖLKSEN

IM ROMAN „DIE REISE zum Mittelpunkt der Erde“ lässt Jules Verne seine Figuren durch den Vulkan Snæfellsjökull in das Innere der Erde steigen. Die Vulkaninsel Island im Nordatlantik wählte er nicht von ungefähr als Schauplatz seines Buches: Zahlreiche Vulkane bedecken Island, und regelmäßig rückt der eine oder andere in das Interesse der Welt. Vielfach ist vergessen, dass der Ausbruch der Laki-Krater im Sommer 1783 mit ihrem Ausstoß giftigen Schwefeldioxid

weite Teile Europas gravierend beeinflusste. Monatlang überdeckte eine Gaswolke Europa, das Klima kühlte sich merklich ab. Missernten und Hungersnöte plagten weite Teile des Kontinents. Aber auch unmittelbar auf Island starben viele Menschen an Hunger, da Wiesen durch den Niederschlag des Vulkans vergiftet wurden und das Vieh verendete. Diskutiert wurde damals eine großangelegte Evakuierung der Bevölkerung von Island nach Dänemark, die aber dann doch nicht umgesetzt wurde. In frischer Erinnerung geblieben ist der Ausbruch des Eyjafjallajökulls seit März 2010, denn zum einen wurde für einige Tage der Flugverkehr zwi-



Island die einzigartige Möglichkeit, Teile des Mittelatlantischen Rückens an der Oberfläche zu untersuchen. Diese Struktur durchzieht Island als so genannte „Neovulkanische Zone“ vom Nordosten der Insel bis in den Südwesten. Die Erdkruste ist an dieser Stelle sehr dünn, Magma befindet sich oftmals in nur geringer Tiefe. Daher liegen innerhalb dieser divergierenden Plattengrenze fast alle aktiven Vulkane, die durch oberflächennahes Magma gespeist werden.

Daneben wird Island immer wieder von Erdbeben erschüttert, die hauptsächlich in den sog. Transformstörungen auftreten, also Zonen, an denen sich die tektonischen Platten seitlich aneinander vorbeischieben. Mit etwa 2 cm pro Jahr driften die beiden Kontinentalplatten auseinander, und ständig entsteht an der Nahtstelle zwischen den Kontinenten neues Land, manchmal begleitet von vulkanischen Eruptionen. Noch immer sind 11 % der Landfläche von Gletschern bedeckt, und mit dem Vatnajökull ist hier auch der größte Gletscher Europas vertreten. Die vielen Gletscher haben die Insel geformt und gaben dem „Eisland“ seinen Namen (isl.: Ísland).

Abb. 1: Erneuter Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull am 13. Mai 2010.

Lange Tradition geodätischer Arbeiten

schen Nordamerika und Europa unterbrochen, und zum anderen ist es eine Herausforderung, den Namen des Vulkans richtig auszusprechen. Island ist ein „Hot Spot“ der Geoforschung, und das auch im wahrsten Sinne des Wortes. Seit 2001 engagiert sich die Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften an Forschungsarbeiten zur Geodynamik in Island.

Tektonik der Insel

Der Mittelatlantische Rücken als Trennungslinie zwischen Nordamerikanischer und Eurasischer Platte wird durch einen Hot Spot, der direkt unter Island liegt, an die Oberfläche gedrückt. Hot Spots sind thermische Anomalien, die vom Mantel der Erde bis in die Lithosphäre reichen. Dieser Vorgang führte zur Bildung der Insel, und damit bietet

Dass sich deutsche Geodäten an den Forschungsarbeiten in Island beteiligen, hat eine lange Tradition: Bereits 1937 führte eine Expedition deutsche Geodäten und Geophysiker nach Island. Damals wurden erstmals Untersuchungen zu Oberflächendeformationen in den Riftzonen (s. auch Abb. 2) der Insel und erste Schweremessungen durchgeführt. Island ist für die Geodäsie ein spektakuläres Forschungsobjekt, da man mit jeder Vermessung immer nur eine Momentaufnahme der augenblicklichen Situation erhält. Wiederholt man die Messung wenige Jahre später, so kann man sicher sein, dass sich wieder Veränderungen nachweisen lassen. Bereits 1962 hat die TU Braunschweig, zwei Jahre später auch die TU Hannover, geodätische Arbeiten aufgenommen – immer mit

dem Ziel, Oberflächendeformationen und auch Schwereänderungen mit höchstmöglicher Präzision zu bestimmen. Damals wurden zur Vermessung Winkel beobachtet und Distanzen zwischen Punkten mit den ersten modernen Entfernungsmessern bestimmt. Die erzielten Genauigkeiten lagen bereits bei einigen Zentimetern, allerdings war ein hoher messtechnischer Aufwand nötig, und man musste häufig mehrere Tage an einem Punkt verweilen.

Eine Wendung nahmen die geodätischen Forschungsarbeiten mit der Einführung des Global Positioning Systems (GPS). Mit Hilfe der relativen Positionierung, einem speziellen Auswerteverfahren, können Raumvektoren zwischen zwei gleichzeitig vermessenen Punkten mit einer Genauigkeit von einem Zentimeter oder sogar noch besser bestimmt werden. Und dies gelingt nicht nur über wenige Kilometer, sondern oft bis zu 100 Kilometern und mehr. Mit GPS kann man bei jedem Wind und Wetter genaueste Messungen durchführen, und es ist nahezu überall einsetzbar (Abb. 3). Deutsche und englische Wissenschaftler führten seit dem Ende der 1980er Jahre erste GPS-Messkampagnen im Nordosten der Insel durch. Es gelang, horizontale und vertikale Punktverschiebungen von wenigen Zentimetern als Folge einer Spalteneruption des Vulkansystems Krafla nachzuweisen. 1993 wurde in Island mit GPS ein neues Landesnetz eingerichtet, und in den folgenden Jahren konnte durch wiederholte Messungen die Geodynamik über das ganze Land erfasst werden.



Abb. 2: Spalte, die als Folge der Plattentektonik auf Island entstanden ist.

DER AUTOR

Dr.-Ing. Christof Völksen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Einer seiner Forschungsschwerpunkte liegt auf der Erfassung geodynamischer Prozesse in Island mit Methoden der Satellitengeodäsie.

GPS-Permanentstationen

Heute bilden permanent eingerichtete und kontinuierlich mit GPS beobachtende Stationen das Rückgrat bei der Bestimmung geodätischer Referenzsysteme. Mit ihrer Hilfe können erst genaue Satellitenbahnen der GPS-Satelliten bestimmt werden, die wiederum die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung wesentlich erhöhen. Daher wurden im Rahmen des International GNSS Service (IGS) auch in Island – 1996 zunächst in Reykjavik und 1997 dann in Höfn – zwei GPS-Permanentstationen aufgebaut, um ein globales geodätisches Referenzsystem zu realisie-

ren. Für die Bestimmung der Geodynamik bieten permanente Stationen einen wesentlichen Vorteil: Mit ihrer Hilfe gelingt es, fortlaufende (z. B. Plattentektonik) oder auch episodische Prozesse (z. B. Erdbeben) kontinuierlich zu erfassen. Auf Initiative des isländischen Wetterdienstes (Veðurstofnun Íslands), der auch die geophysikalischen Untersuchungen in Island zentral koordiniert, wurde 1999 das aus GPS-Permanentstationen bestehende ISGPS-Netz eingerichtet. Es wird aus derzeit mehr als 25 Stationen gebildet, die vor allem auf die geodynamischen Brennpunkte Islands verteilt sind. Die Kommission für Erdmessung und Glaziologie (KEG) der Akademie beteiligt sich seit 2001 an der Auswertung der Daten und kann somit die Bewegungsänderungen der Stationen kontinuierlich erfassen. Im Sommer 2006 wurde das Netz durch eine weitere Station ergänzt (Abb. 4). Mitarbeiter der KEG bauten am See Mývatn, im Nordosten Islands, in unmittelbarer Nähe zum Vulkan Krafla eine GPS-Permanent-

station für geodynamische Studien auf. Nach einer Modernisierung der Station kann der neue Empfänger seit 2011 zusätzlich auch die Signale des russischen GLONASS und des europäischen Satellitennavigationssystem Galileo verarbeiten.

Ergebnisse zur Geodynamik auf Island

Aus den Daten einer GPS-Permanentstation wird für jeden Tag eine Position mit Hilfe der relativen Positionierung bestimmt. Aufgrund der Plattentektonik verändern sich die Positionen täglich nur um einen minimalen Betrag, aber horizontale Bewegungen von ein paar Millimetern pro Jahr können schon nach wenigen Jahren zuverlässig abgeleitet werden. In Abbildung 5 sind sowohl die horizontalen als auch die vertikalen Bewegungen der isländischen Stationen dargestellt, die über einen Zeitraum von nahezu zehn Jahren bestimmt wurden. Die schwarzen Pfeile zeigen die tatsächlich ermittelten horizontalen Bewegungen relativ zur fixierten Eurasischen Platte, die östlich der Plattengrenze liegt. Die grauen Pfeile zeigen hingegen die Bewegungen des plattentektonischen Modells NUVEL-1A relativ zur Eurasischen Platte, daher sollte östlich der Plattengrenze keine Bewegung sichtbar sein.

Abweichungen vom Modell deuten auf weitere mögliche geodynamische Prozesse hin. Die beobachteten horizontalen Deformationen stimmen weitgehend mit dem Modell überein. Größere Abweichungen gibt es in unmittelbarer Nähe der Plattengrenze im Bereich der Riftzone. Daneben treten vor allem am südlichsten Gletscher, Mýrdalsjökull, horizontale Deformationen auf, die vom Zentrum des Gletschers wegweisen. Tatsächlich überdeckt der Gletscher die Caldera des Vulkans Katla, der für subglaziale Eruptionen bekannt ist. Vulkane sind häufig mit unterirdischen Magmakammern verknüpft, die sich vor einem Ausbruch wie eine Blase mit Magma füllen, die Oberfläche aufwölben und erst bei einem Überdruck Magma aus der Kammer entweichen lassen. Ein solches Modell könnte die beobachteten Deformationen gut erklären. Abbildung 5 zeigt aber ebenso deutliche vertikale Höhenänderungen von etwa 10 Millimetern pro Jahr am Mýrdalsjökull und am südlichen Rand des Vatnajökulls. Im zentralen Teil Islands sind sogar Raten von bis zu 25 Millimetern pro Jahr sichtbar.

Abb. 4: Die GPS-Permanentstation MYVA im Nordosten Islands. Die 2006 eingerichtete Station beobachtet die Signale der Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo.

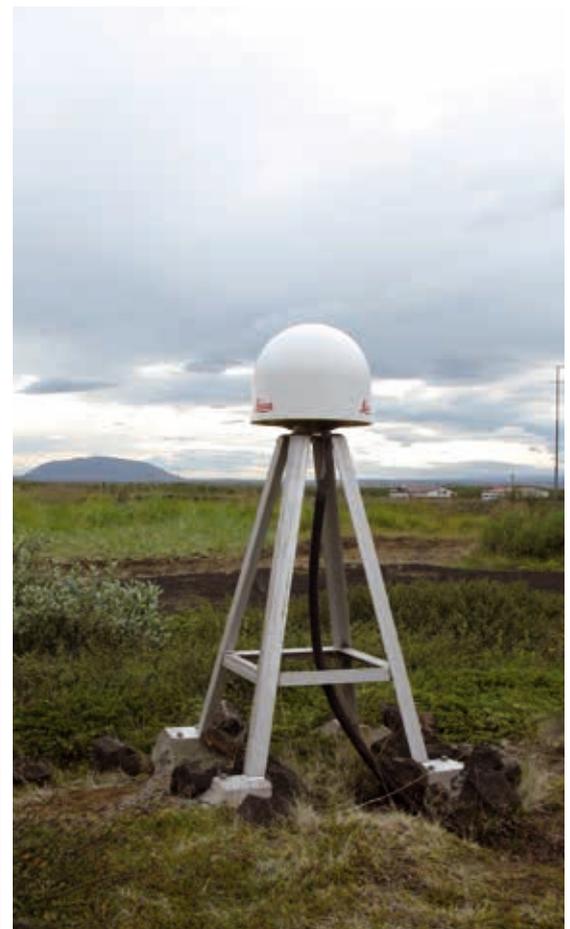
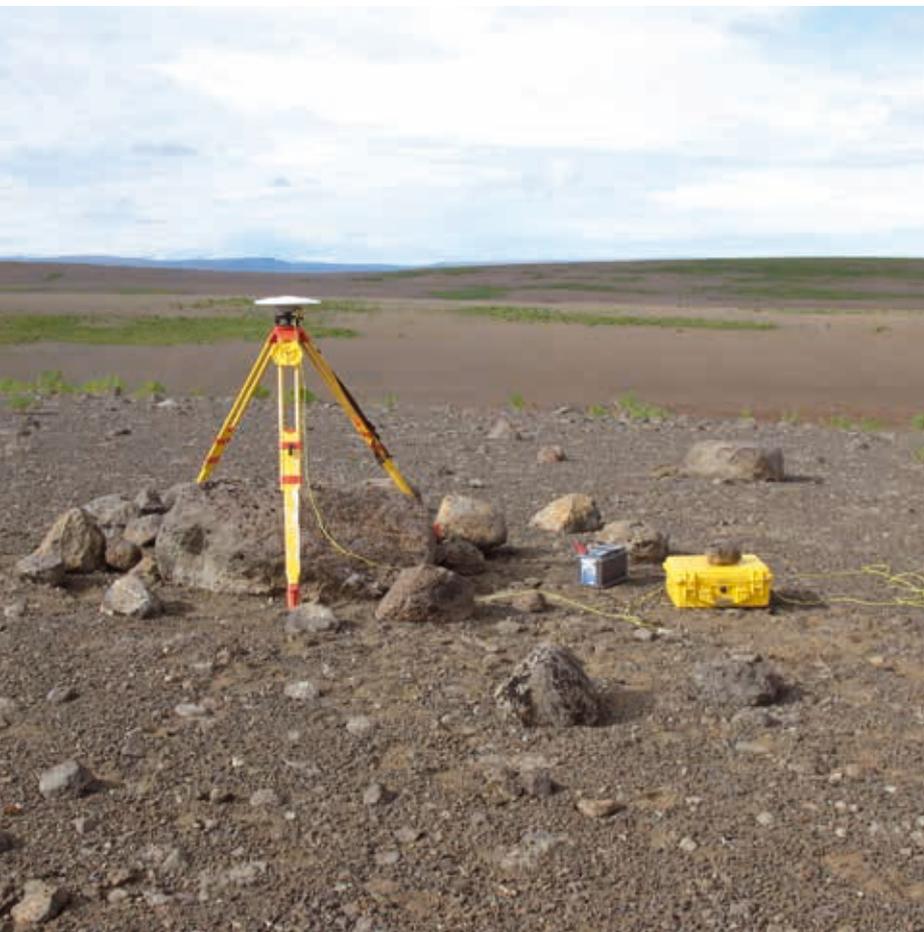


Abb. 3: Vermessungsarbeiten mit einem geodätischen GPS-Empfänger in Island. Die Punkte sind oftmals schwer zu erreichen und müssen mit Geländewagen angefahren werden.

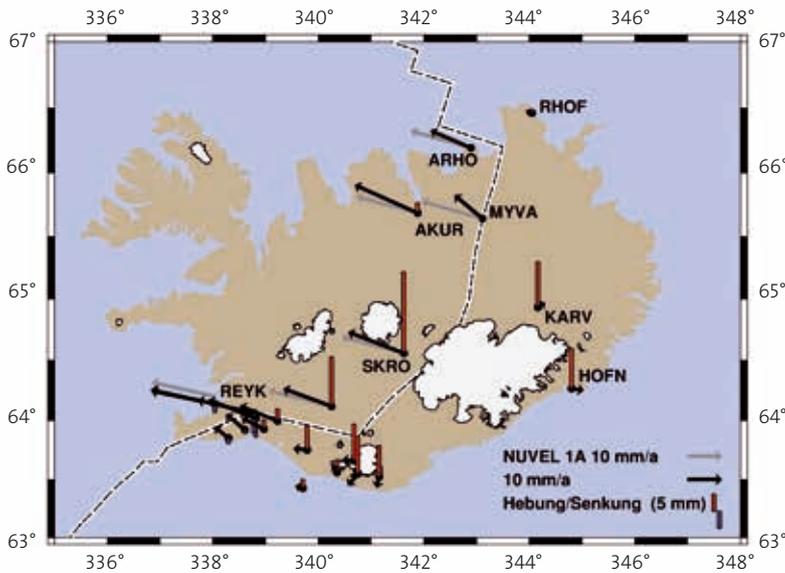


Abb. 5: Horizontale und vertikale jährliche Bewegungsraten in Island. Zumeist folgen die horizontalen Deformationen dem Modell der Plattentektonik. Signifikante Hebungen von bis zu 25 Millimetern pro Jahr (z. B. an der Station SKRO) sind gerade im Bereich der Gletscher sichtbar.

Am Mýrdalsjökull ist die Höhenänderung durch vulkanische Aktivität erklärbar. Im zentralen Teil Islands und am Vatnajökull nimmt man, unterstützt durch geophysikalische Modellrechnungen, derzeit an, dass durch das Abschmelzen der Gletscher eine Entlastung der Erdkruste stattfindet: Das Abschmelzen des Eises leitet eine isostatische Ausgleichbewegung ein, die weite Teile zwischen den Gletschern in Island erfasst und zu Hebungen führt.

Durch GPS-Permanentstationen werden in aller Regel langsam ablaufende, kontinuierliche Prozesse abgeleitet. Man erhält für die jeweilige analysierte Station eine Zeitreihe mit den täglichen Koordinatenänderungen und leitet daraus eine lineare Geschwindigkeit für die horizontalen und vertikalen Bewegungen ab. Dabei können die horizontalen Komponenten für jeden Tag mit einer Genauigkeit von etwa 2 bis 4 Millimetern und die Höhe mit etwa 5 bis 8 Millimetern bestimmt werden. In Abbildung 6 ist die Zeitreihe der Station Thorvaldseyri (THEY) zwischen 2004 und 2011 dargestellt, die auf der Südseite und in einer Entfernung von etwa zehn Kilometern vom Gipfel des Vulkans Eyjafjallajökull eingerichtet wurde. Zunächst zeigt die Zeitreihe einen linearen Verlauf bis Anfang 2009. Danach treten deutliche Deformationen von

Abb. 6: Aus GPS-Beobachtungen abgeleitete Positionsänderungen der Station Thorvaldseyri (THEY). Mitte 2009 treten erste Positionsänderung als Folge der unterirdischen Aktivität des Vulkans Eyjafjallajökull auf. Bis zum Ausbruch im Frühjahr 2010 nehmen die Änderungen stark zu und klingen erst im Sommer ab.

bis zu 6 Zentimetern in den horizontalen und vertikalen Komponenten auf, die als Vorläufer der anstehenden Eruption gewertet werden können. Die Richtung der Bewegungen kehrt sich erst nach dem Ausbruch des Vulkans im April 2010 um. Nach dem Ende der Eruption nehmen die täglichen Bewegungen ihren üblichen linearen Verlauf an. Obwohl die aufgezeichneten Deformationen nur wenige Zentimeter betragen, konnten sie doch eindeutig der vulkanischen Aktivität des Vulkans zugeordnet werden. Dies ist ein typisches Beispiel für einen episodischen Prozess, der auch als Indikator für ein Frühwarnsystem genutzt werden kann. Im Zusammenspiel mit anderen Sensoren, z. B. Seismometern, können damit vulkanische Prozesse zuverlässiger erfasst und dokumentiert werden.

Ausblick

Geodätische Verfahren der Satellitengeodäsie zur Positionsbestimmung sind aufgrund ihrer hohen Präzision heute ein geeignetes Werkzeug, um geodynamische Prozesse zu erfassen. Während die Geodäsie in den vergangenen Jahrzehnten maßgeblich an der Verfeinerung der Messtechnik gearbeitet hat, steht heute immer mehr auch die Interpretation der Prozesse im System Erde im Vordergrund. Im Zusammenspiel mit der geophysikalischen Modellierung können Einflussfaktoren dieser Prozesse besser abgeschätzt und eingegrenzt werden. Dafür ist Island ein idealer Ort, da hier eine Vielzahl geodynamischer Prozesse gleichzeitig abläuft und sich viele Fragestellungen ergeben, die in der Geoforschung noch zu beantworten sind. Auch in glaziologischer Hinsicht ist Island äußerst interessant, daher beteiligt sich die Kommission in den kommenden Jahren auch an glaziologischen Arbeiten an den Gletschern Mýrdalsjökull und Vatnajökull.

