

Abstract

Merapi volcano, located in Central Java, is one of the most active volcanoes in Indonesia. 2 million people are living in its immediate neighborhood. Therefore Merapi was selected within the International Decade of Natural Disaster Reduction (IDNDR) of UNESCO as one of 15 so called high risk volcanoes in the world. National and International research groups from Indonesia, France, Netherlands, Japan, USA and Germany are working on Merapi. Different methods are applied on Merapi to study the volcanic processes and to improve the possibilities to predict future eruptions.

In this thesis the importance of gravity changes in space and time for the analysis of volcanic processes is analyzed and further developed. First the basic theory of Earth's gravity field and gravity anomalies is described. For the interpretation of gravity anomalies several programs have been developed using the MATLAB software package.

The programs are used for the interpretation of gravity changes in time which have been observed five times between summer 1997 and summer 2000 in a repetition network around Merapi volcano. This network consists of 23 stations. During all campaigns four LaCoste&Romberg gravimeters model G and D have been used. Height changes at the observation sites are controlled by GPS-observations which have been carried out in parallel with the gravity measurements.

The observed gravity and height changes are small. They reveal that Merapi volcano is just now an open system where no large stresses can build up. Nevertheless possible models are developed to explain the observed changes.

Based on four geometric models of magma chamber and conduit within the volcano's edifice as found in the literature the migration of magma in the conduit is investigated. The conduit system thereby is modeled by a cylinder, the magma chamber by a sphere. It is shown, that gravity changes map the migration of the magma, if gravity changes at stations at the crater rim are considered.

Gravity changes at stations far away from the volcano conduit (2 – 25 km) can be explained by changes within the geohydrothermal system. For this purpose particular ground water layers as determined by other geophysical methods (resistivity observations, magnetotelluric measurements and LOTEM) are modeled as concentric cylinders around the conduit of Merapi volcano. The resulting density changes in the cylinders explain with sufficient accuracy the observed gravity changes.

Precise repeated gravity observations in combination with other geophysical methods allow therefore the detailed analysis of subsurface mass migration within a volcano.

Zusammenfassung

Der Vulkan Merapi in Zentraljava gehört zu den aktivsten Vulkanen der Welt. In seinem unmittelbaren Umfeld leben mehr als 2 Millionen Menschen. Er wurde deswegen im Rahmen der Internationalen Dekade zur Reduktion der Wirkungen von Naturkatastrophen (IDNDR) als einer von 15 so genannten Hochrisikovulkanen ausgewählt.

Nationale und internationale Forschergruppen aus Frankreich, Amerika, den Niederlanden, Japan und Deutschland arbeiten am Merapi, um die ablaufenden Prozesse zu verstehen und die Möglichkeiten für Frühwarnsysteme zu verbessern. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden von 1997 bis 2000 wiederholt hochgenaue Schweremessungen in einem geodätischen Netz, das aus 23 Stationen besteht, durchgeführt. Für die Schweremessungen wurden in jeder Kampagne vier LaCoste&Romberg Gravimeter benutzt. Zeitgleich mit den Schweremessungen wurden die Höhenänderungen auf den Beobachtungspunkten gemessen, um aus den Schwereänderungen auf Massenänderungen im Untergrund des Vulkans zu schließen. Das Thema der vorliegenden Arbeit ist neben der Beschreibung dieser Messungen die Entwicklung von Werkzeugen zur Interpretation der beobachteten Schwereänderungen und deren Anwendung.

Dazu wurden in einem wesentlichen Teil der Arbeit Computerprogramme mit Hilfe von MATLAB entwickelt, welche die Berechnung des vertikalen gravitativen Effekts einfacher geometrischer Körper wie Kugel, Gänge oder dicke vertikale Zylinder ermöglichen.

Zur Interpretation der Messergebnisse werden mit diesen Körpern vier Vulkanmodelle simuliert, die aus der Literatur entnommen wurden.

Die einfachsten Modelle bestehen aus einer Kugel in 8600 m Tiefe mit Radius $r = 137$ m und einem Fördergang, der unter verschiedenen Winkeln einfällt. Dieses Modell wurde aus Deformationsbeobachtungen abgeleitet. Da dieses Modell im Grunde nur eine 2-dimensionale Modellierung der Schwereänderungen erlaubt, wird der Fördergang in einem weiteren Schritt durch einen vertikalen Zylinder ersetzt.

Diese Modelle können jedoch nur die Schwereänderungen auf den Beobachtungsstationen am Kraterrand erklären. Es wird dabei gezeigt, dass mit ihnen aber sehr gut die zeitliche Änderung des Magmastandes im Förderschlot abgeschätzt werden kann. Es wird dazu eine graphische Methode entwickelt.

Schwereänderungen auf Stationen, die mehr als 2 km vom Kraterrand entfernt sind, können jedoch nicht damit erklärt werden. Zur Interpretation dieser Schwereänderungen wurde deswegen in einem weiteren Abschnitt der Arbeit ein Vulkanmodell entwickelt, das auf den Ergebnissen elektromagnetischer Sondierungsverfahren (LOTEM, Magnetotellurik) beruht. Schichten hoher und niedriger Leitfähigkeit werden dabei durch konzentrische, vertikale Zylinder dargestellt, deren Achsen im Kratermittelpunkt liegen. Die Dichteänderungen in diesen Zylindern werden durch eine lineare Optimierungsmethode ermittelt, wobei zusätzliche Randbedingungen eingeführt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Dichteänderungen vornehmlich in einer Entfernung von 2-4 km vom Vulkan auftreten, in dem Bereich, in dem auch die größten Änderungen des hydrothermalen Systems des Vulkans zu beobachten sind. Es wird daher daraus geschlossen, dass die

Dichteänderungen mit Änderungen des hydrothermalen Systems im Zusammenhang stehen.

Insgesamt wird mit dieser Arbeit gezeigt, dass die genaue Erfassung von zeitlichen Schwereänderungen in Verbindung mit anderen geophysikalischen Sondierungsmethoden einen signifikanten Beitrag zur Analyse vulkanischer Prozesse liefert.