

## Abstract

The structural, temporal, compositional and volcanic evolution of oceanic intraplate islands is one of the major research areas in our department. A regional focus is on the island groups and seamounts along the passive margin off Northwest Africa. The Canary Islands which are characterized by an unusually large compositional spectrum of igneous rocks and long magmatic histories, exceeding 20 Ma in some islands, are the main target area for our ongoing combined on- and offshore studies. We here report on specific events and stages in the structural and chemical evolution of the island of Gran Canaria and its sedimentary apron using a variety of methods. Detailed studies of constructive and destructive processes during island evolution have allowed to predict – and verify by deep sea drilling – the submarine and subaerial evolution of Gran Canaria and its surrounding sedimentary basins. Our aim is to develop a globally representative model explaining the evolution of volcanic islands including aspects of volcanic hazards related to explosive eruptions and tsunamis triggered by island flank collapses.

## 1 Einleitung

Was ist ein ozeanischer Vulkan? Welche Prozesse steuern das Wachstum von Inselvulkanen und ihren inselperipheren Schuttfächern von der Tiefsee bis über den Meeresspiegel? Was sagt uns das Studium von Inselvulkanen über die Entstehung und Entwicklung von Magmen im Erdinneren und damit über die Evolution ozeanischer Kruste? Welche Gefahren für die Küstengebiete benachbarter Inseln entstehen durch plötzliche Massenverlagerungen wie zum Beispiel Inselflankenkollaps oder Eintritt von Glutlawinen oder Schuttlawinen ins Meer und dadurch verursachte Tsunamis? Wie intensiv ist der Stoffaustausch zwischen Meerwasser und den glasreichen submarinen Tuffen, und welche Bedeutung haben die bei explosiven Eruptionen produ-

zierten Aschen- und Gasemissionen für die Atmosphäre und die Entstehung von isochronen Leithorizonten im Meer und auf den Kontinenten?

Dies sind nur einige der vielen Fragen, die wir versuchen zu beantworten indem wir ein beispielhaftes Vulkansystem im Atlantik untersuchen, Gran Canaria im Kanarischen Archipel (Abbildung 1), dessen chemisch-mineralogisches Spektrum von keiner anderen Ozeaninsel übertroffen wird und dessen einzigartige Aufschlüsse eine so präzise Analyse der konstruktiven und destruktiven Prozesse während der Inselentwicklung erlauben, daß die submarine anhand der subaerischen Entwicklung vorhergesagt und verifiziert werden konnte.

Eine vulkanische Ozeaninsel besteht aus hunderten von Vulkanen, Schlackenkegeln von 100 bis 200 m Höhe, basaltischen Schildvulkanen mit kilometerlangen Gangschwärmen, und große Calderen, aus denen bei Aschenstrom- (Ignimbr-) Eruptionen bis zu 100 km<sup>3</sup> Magma in wenigen Tagen bis Wochen gefördert werden. Ein so komplexes Geosystem kann vernünftigerweise nur mit einer Vielfalt von Untersuchungsmethoden in einzelnen Schritten analysiert werden, um dann ein Gesamtverständnis und damit ein global repräsentatives Modell zu entwickeln. Ein Forschungszentrum wie GEOMAR ist der ideale Rahmen, um ein derartiges Forschungsprojekt durchzuführen. Wir möchten im Folgenden kurz berichten über im Herbst 1994 mit dem internationalen Bohrschiff *Joides Resolution* durchgeführte Kernbohrungen in die submarinen Flanken von Gran Canaria, die seismischen und bathymetrischen Vorerkundungen und die langjährigen Landuntersuchungen, aus denen die jetzt durch die meeresgeologischen Forschungen bestätigten Modelle abgeleitet und erweitert wurden.

## 2 Ozeanische Inselvulkane

Ein ozeanischer Inselvulkan ist kein Vulkan im herkömmlichen Sinne, der höchstens ein Volumen von circa 800 km<sup>3</sup> erreicht, wie der Fuji San in Japan. Die höchsten Berge der Erde sind Vulkaninseln, wie der Mauna Loa und Mauna Kea auf Hawaii, die über 9000 m hoch über den Meeresboden ragen. Das Gesamtvolumen von genau untersuchten Inseln und ihren Tiefenwurzeln liegt bei über 50 000 km<sup>3</sup> (Abbildung 2), genug um ganz Deutschland mit einer 140 m dicken Schicht zu bedecken. Während große Stratovulkane sich über einen Zeitraum von vielleicht einer Million Jahren aufbauen, haben sich Vulkaninseln wie Gran Canaria über Zehner-Millionen Jahre entwickelt.

## 3 Entstehung einer Vulkaninsel

Die ozeanischen, aus Erdkruste und oberstem Mantel bestehenden Platten werden begrenzt von den Mittelozeanischen Rücken, wo sie entstehen, von passiven Kontinenträndern, wie vor Westafrika, oder von Subduktionszonen, wie rings um den Pazifik, wo sie verschluckt werden. Unter diesen Platten steigt an vielen Stellen Mantelgestein in sogenannten Diapiren auf. Bei seinem Aufstieg wird das Mantelgestein partiell aufgeschmolzen. Dabei entstehen basaltische Magmen, die wegen ihrer geringen Dichte bis zum Meeresboden aufsteigen können. Wir wissen allerdings fast nichts über den inneren Aufbau des submarinen Anteils von Ozeaninseln. Inseln sind wie Eisberge: weit weniger als 10 % vom Gesamtvolumen ragen über den Meeresspiegel (Abbildung 2). Die Hauptmasse ist nur indirekt durch geophysikalische Messungen, geochemische Interpretation der Vulkanite und submarinen Aschen, petrologische Analyse von Krustenfragmenten, die bei Eruptionen

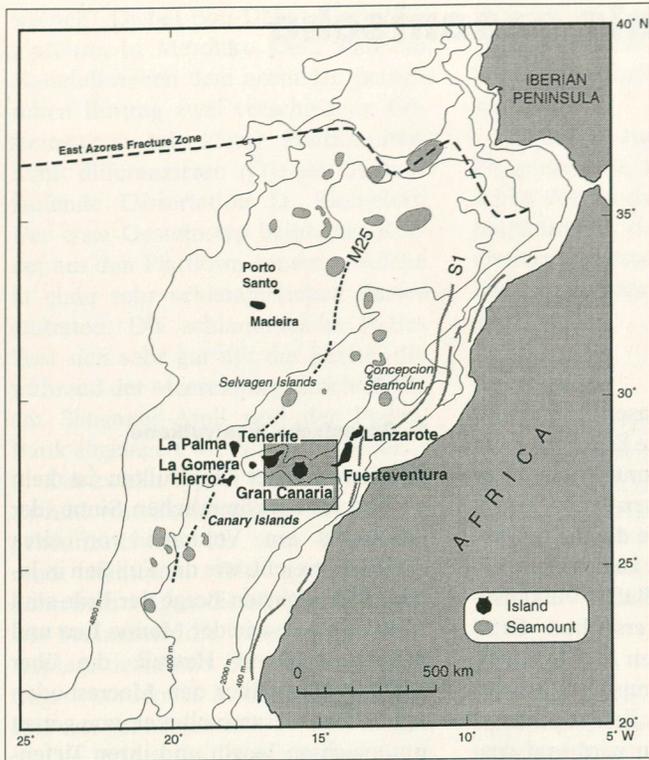


Abb. 1. Übersichtskarte der vulkanischen Inseln und Seamounts im Atlantik vor NW Afrika. Das graue Quadrat zeigt den Ausschnitt von Abb. 3 um Gran Canaria.

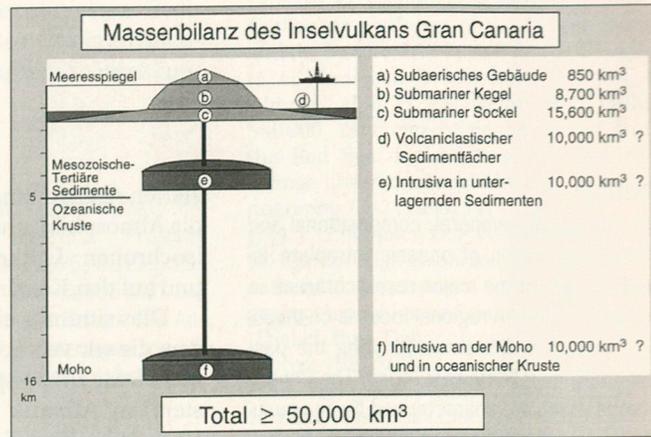


Abb. 2. Massenbilanz und schematische Lage der verschiedenen Magmen- und Gesteinsreservoirs einer Vulkaninsel für Gran Canaria; aus [10].

mit ausgeworfen wurden, in begrenzten Fenstern in Form gehobener Krustenkomplexe – und durch Tiefbohrungen zugänglich.

Wir haben daher zunächst die um etwa 2000 m gehobene submarine Inselnflanke von La Palma genauer untersucht [1]. Hier lässt sich an exzellenten Aufschlüssen kontinuierlich die abnehmende Wassertiefe des nach oben wachsenden untermeerischen Vulkans nachvollziehen: die überwiegend schichtparallelen Intrusionen (Sills) in den submarinen Schlauch (pillow) lavas und Tuffen nehmen nach oben allmählich ab. Die Blasen in den submarinen Laven nehmen zu, ebenso wie die groben Breccienströme und die Turbidite, die zum Flachwasserbereich hin aus zunehmend blasigeren Glasscherben bestehen. Diese punktuellen Untersuchungen ergaben jedoch noch kein umfassendes Bild über den dreidimensionalen Aufbau eines klastischen Inselnflächers.

#### 4 Die Vorerkundung

Jede Tiefseebohrung muss durch umfangreiche, vor allem seismische und bathymetrische Untersuchungen des Meeresbodens vorbereitet werden, um die teuren Bohrungen optimal anzusetzen. Diese sogenannten pre-site surveys liefern quasi eine detaillierte Röntgenaufnahme des Meeresbodens, so dass die Bohrergebnisse zu einem über-

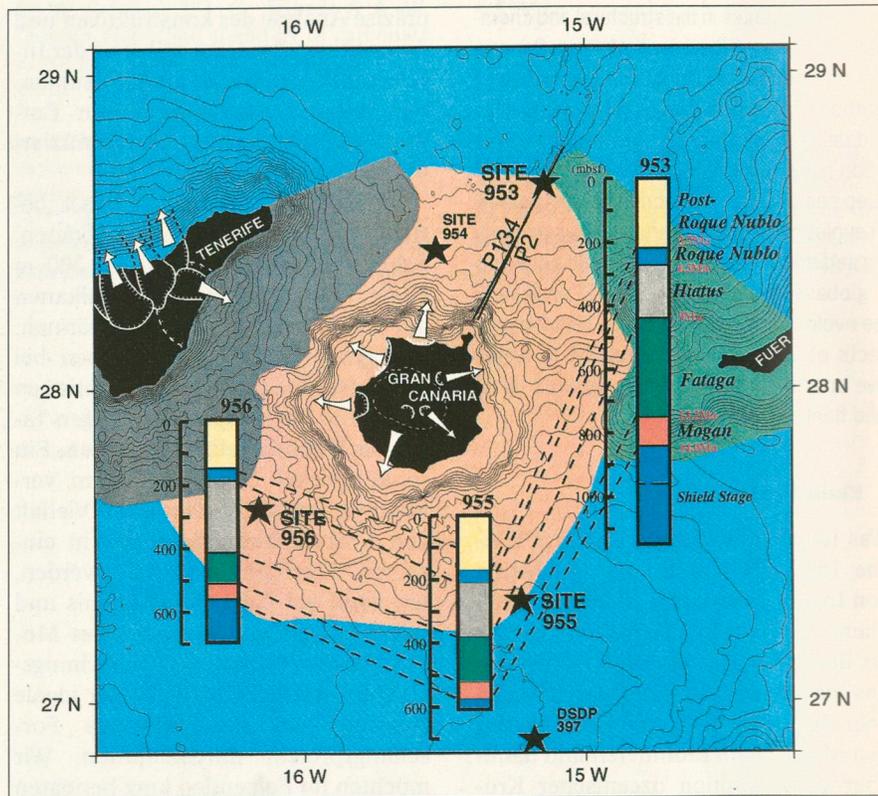


Abb. 3. Bathymetrische Karte des Meeresbodens um Gran Canaria. Das in Abb. 4 gezeigte seismische Profil 134 ist eingezeichnet. Weiße Pfeile zeigen die Transportwege großer Hangrutschungen von Gran Canaria und Tenerife. Die Kernprofile der Bohrungen 953, 954 und 956 spiegeln die ca. 15 Mio.-jährige Entwicklungsgeschichte Gran Canarias wider. Im Osten überlagert die Flanke Gran Canarias den submarinen Sockel der älteren Nachbarinsel Fuerteventura. Hier entstand eine nur 1550 m flache Schwelle mit zahlreichen Erosionsrinnen. Im Westen wird der submarine Sockel Gran Canarias von der jüngeren Flanke Tenerifes überlagert. Die bathymetrischen Daten zeigen, dass sich das radiale Canyonsystem Gran Canarias unter Wasser fortsetzt. Einzelne Canyons können 50 km seewärts weiterverfolgt werden, und die Canyons im Süden der Insel gehen in ein verzweigtes Netz von submarinen Erosionsrinnen über. Die Canyons stellen den wichtigsten Transportweg für die Erosionsprodukte der Insel in den Schuttfächer dar; aus [10].

zeugenderen dreidimensionalen Bild zusammengefügt werden können.

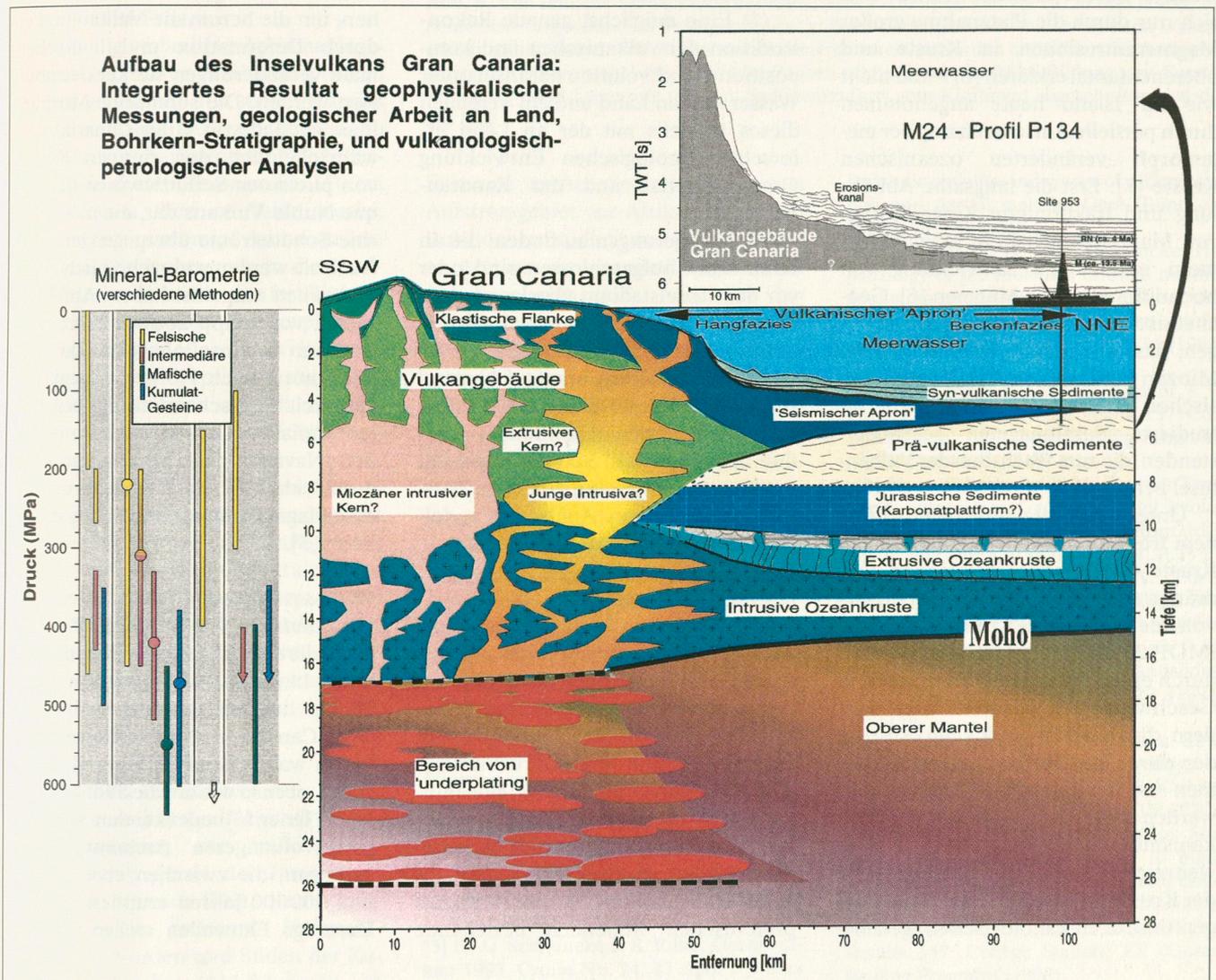
Zur Vorbereitung der VICAP-Bohrungen (Volcanic Island Clastic Apron Project) fanden daher 1993 mehrere Forschungsfahrten statt, u. a. mit FS Meteor (Abbildung 3). Die seismischen Daten im Kontext mit den geologischen Landuntersuchungen ergaben ein sehr viel detaillierteres Bild der Internstruktur des großen Inselvulkans und seiner Tiefenwurzeln.

## 5 Veränderung der Lithosphäre durch die Bildung einer Ozeaninsel

Durch die Entwicklung einer Vulkaninsel von der Größe Gran Canarias wird die durch partielles Aufschmelzen aufgeweichte Lithosphäre „punktuell“ mit einem Gewicht von  $10^{14}$  kg (= 100 000 Megatonnen) belastet, was zu einer Eindellung der Lithosphäre führt. Für die Insel Hawaii wurde z. B. eine Absenkung von > 5 km nachgewiesen [2]. Tiefenseismische Daten der Meteor-Fahrt 24 [3] zeigen eine viel geringere „Reaktion“ der Lithosphäre auf die Auflast durch Gran Canaria – die Eindellung beträgt hier maximal 1 km.

## 6 Wachstum und Hebung durch Magmenintrusionen

Eine Vulkaninsel wächst nicht nur dadurch, dass Laven und Tuffe sich beim submarinen Wachstum übereinanderstapeln. Von den aufsteigenden Magmen mitgeführte Bruchstücke intrusiver Gesteine sowie Schwereuntersuchungen und refraktionsseismische Profile zeigen uns, dass Gran Canaria überwiegend aus dichten intrusiven Gesteinen besteht (Abbildung 4). Magmatische Intrusionen liefern uns auch den Schlüssel zum Verständnis eines lange diskutierten Paradoxons: Durch welche Prozesse



**Abb. 4.** Im Kernbereich schematischer, in den Flanken durch Daten belegter Aufbau der Insel Gran Canaria. Im Kernbereich belegen hohe P-Wellengeschwindigkeiten überwiegend dichte, intrusive Gesteine. Die Inselnflanke Gran Canarias tritt durch markante seismische Signale in den Aufzeichnungen deutlich hervor. Unterhalb der Inselnflanke befinden sich bis zu 6 km mächtige Sedimente, die bereits vor der Entstehung Gran Canarias abgelagert worden sind. Die die Insel umgebende ozeanische Kruste unterscheidet sich durch eine ca. 2 km geringere Mächtigkeit (nur 4–5 km) und anhand der seismischen Geschwindigkeiten (hoher Kontrast zwischen Ober- und Unterkruste) von „normaler“ ozeanischer Kruste. Ein Bereich erniedrigter „Mantelgeschwindigkeiten“ unterhalb der MOHO unter der Insel deutet darauf hin, dass hier durch Magmenakkumulation („underplating“) die Krustendicke von unten her erhöht wurde. Mit petrologischen Methoden abgeschätzte Bildungsdrücke (siehe Diagramm links) der Assoziationen bestimmter Mineralphasen und Schmelzzusammensetzungen bestätigen, dass sich basaltische Magmen mehrheitlich im Bereich der MOHO ansammelten, während höher differenzierte Magmen in Reservoiren in der oberen Kruste gespeichert wurden [6], deren eruptive Entleerung zum Einbruch von Calderen führte.

wurden auf Fuerteventura Sedimente aus der Kreidezeit um etwa 4 000 m [5] und der submarine Sockel von La Palma um etwa 2 000 m [1] gehoben? Da die früher diskutierte Verbindung mit tektonischen Strukturen in Afrika durch reflektionsseismische Profile widerlegt wurde, scheint die episodische Übereinanderstapelung von magmatischen Intrusionen den einzigen plausiblen Hebungsmechanismus darzustellen.

Auch das ungewöhnlich breite Spektrum der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der Vulkangesteine der Kanarischen Inseln, das von Basalt zu Rhyolith, Trachyt oder Phonolith reicht, lässt sich nur durch die Platznahme großer Magmenintrusionen in Kruste und oberem Mantel erklären [6] – und nicht wie für Island heute angenommen durch partielle Aufschmelzung der metamorph veränderten ozeanischen Kruste [7]. Erst die langsame Abkühlung und fraktionierte Kristallisation von Mantelschmelzen in Magmakammern erlaubt die Entwicklung von hochdifferenzierten Magmen [6]. Geochemische Massenbilanzierungen zeigen, dass allein den etwa 800 km<sup>3</sup> im Miozän Gran Canarias eruptierten felsischen Vulkaniten über 3 000 km<sup>3</sup> intrudierte Basaltmagmen gegenüberstanden, die zum Wachstum der Vulkaninsel beitragen.

Unter der Insel wurde bereits in einem frühen Entwicklungsstadium alte Kruste durch neue Intrusionen verdrängt (Abbildung 4). Der Übergang von der Erdkruste zum Erdmantel (MOHO) unter Gran Canaria ist nicht durch einen Sprung in der seismischen Geschwindigkeit charakterisiert, sondern durch einen graduellen Anstieg, der durch die Speicherung von Magmen im Bereich der MOHO erklärt werden kann. Insgesamt hat der Vulkanismus vor Nordwestafrika zu einer weitreichenden Inhomogenisierung der Kruste geführt. Darüber hinaus zeigen unsere vulkanologischen, geoche-

mischen und geophysikalischen Untersuchungen, dass die Inseln als eigenständige submarine Vulkane entstanden sind und nicht, wie früher spekuliert wurde, zum Teil noch von kontinentaler Kruste unterlagert sind, zum afrikanischen Kontinent gehören – oder Reste des sagenhaften Atlantis darstellen.

## 7 Die Entwicklung des inselperipheren Schuttfächers

Das 1994 durchgeführte VICAP-Bohrprojekt (ODP Leg 157) war der erste Versuch, einen inselperipheren Sedimentfächer systematisch zu beproben mit folgenden Zielen:

(1) Eine möglichst genaue Rekonstruktion der vulkanischen und kompositionellen Evolution der Insel unter Wasser und an Land und ein Vergleich dieses Modells mit der an Land erforschten geologischen Entwicklung Gran Canarias und des Kanaren-Archipels.

(2) Ablagerungen zu finden, die an Land nicht aufgeschlossen sind oder vor dem Inselstadium abgelagert wurden, um bisher unbekannte Entwicklungsprozesse zu rekonstruieren.

In vier Bohrlokationen im Abstand von 40–70 km nördlich und südlich von Gran Canaria (Abbildung 3) wurden insgesamt fast 3 000 m Sediment mit einem Kerngewinn von circa 70 % erbohrt [9], deren Analyse u. a. folgende Schlussfolgerungen erlaubt:

### Destruktive Prozesse

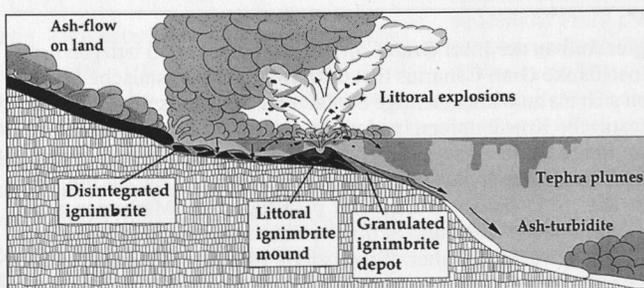
Beim Wachstum einer Vulkaninsel wechseln konstruktive Phasen – Intrusionen und Eruptionen – ständig mit destruktiven Phasen ab, die im inselperipheren Schuttfächer besonders gut nachweisbar sind. So wurde in Site 956, 50 km SW von Gran Canaria, eine mindestens 80 m mächtige Schuttstromablagung erbohrt, die im SW der Insel durch einen riesigen Flankenkollaps entstand (Abbildung 3). Exotische, aus plutonischen Mineralen bestehende

Sande über der Schuttstromablagung werden von uns als Ablagerungen von gewaltigen Flutwellen (Tsunamis) interpretiert, welche durch den Kollaps ausgelöst wurden und Strandsande von La Gomera und/oder Fuerteventura in die umgebenden Meeresbecken spülten [10].

In der Tat scheinen sich Flanken-kollapse auf den kanarischen Inseln nicht nur gegen Ende des Schildstadiums, wie auf den hawaiianischen Inseln [11], sondern auch in späteren Evolutionsstadien zu entwickeln (Abbildung 3), wahrscheinlich weil dank der sehr langsamen Plattenbewegung in den Kanaren-Inseln häufiger oberflächennahe Magmenreservoirs entstehen, um die herum die Vulkanflanken durch Deformation und hydrothermale Veränderungen stärker destabilisiert werden. Die submarine Morphologie südlich von Gran Canaria stellt wahrscheinlich den riesigen Fächer von pliozänen Schuttlawinen des Roque Nublo Vulkans dar, die in submarine Schuttströme übergegangen sind. Auch sie werden wahrscheinlich große Flutwellen ausgelöst haben. Auf Tenerife ist vor knapp 200 000 Jahren das Zentrum der Insel als gewaltige Hangrutschung nach Norden abgeglitten wodurch wahrscheinlich die berühmten Cañadas Calderawände entstanden (Navarro, pers. Mitt.) – und nicht durch klassischen Dacheinbruch in eine Magmakammer, wie häufig postuliert [13].

### Was passiert, wenn heiße Glutlawinen ins Meer fließen?

Auch die etwa 50 Glutlawinen, die zwischen 14 und 8,5 Mio Jahren von einer 20 km durchmessenden Caldera auf Gran Canaria ins Meer geflossen sind, haben wahrscheinlich Flutwellen ausgelöst, ebenso wie die die Südflanke der Insel Tenerife bedeckenden sehr viel geringvolumigeren Aschenstromablagungen, die zwischen etwa 200 000 und 600 000 Jahren eruptiert wurden. Derartige Flutwellen stellen eine der



**Abb. 5.** Beim Eintritt heißer Aschenströme ins Meer laufen komplexe Interaktionsprozesse mit dem Wasser ab, so z. B. littorale Explosionen. Anhand der in den Bohrungen beobachteten Gesteinsfragmente haben wir, wie im Text erläutert, ein Modell aufgestellt, in dem sich heiße Ignimbritmassen zunächst im Flachwasserbereich ablagern, brekzieren, und dann Aschenturbidite bilden, die das vulkanische Material weit in die submarinen Sedimentbecken tragen; aus [10].

größten Vulkangefahren auf Ozeaninseln dar. Von den etwa 36 000 Opfern der Eruption des Vulkans Krakatau im August 1883 kamen die meisten durch große Flutwellen ums Leben, die durch den Eintritt von Aschenströmen ins Meer ausgelöst wurden.

Beim Eintritt von Glutlawinen ins Meer (Abbildung 5) entstanden weit verbreitete Aschenturbidite [10], die exakt der kompositionell fein gegliederten Abfolge an Land entsprechen; sogar die chemische Zonierung einiger Ignimbrite, wie z. B. des markanten P1 Ignimbrits [6], spiegelt sich in den korrespondierenden Aschenturbiditen wieder [14].

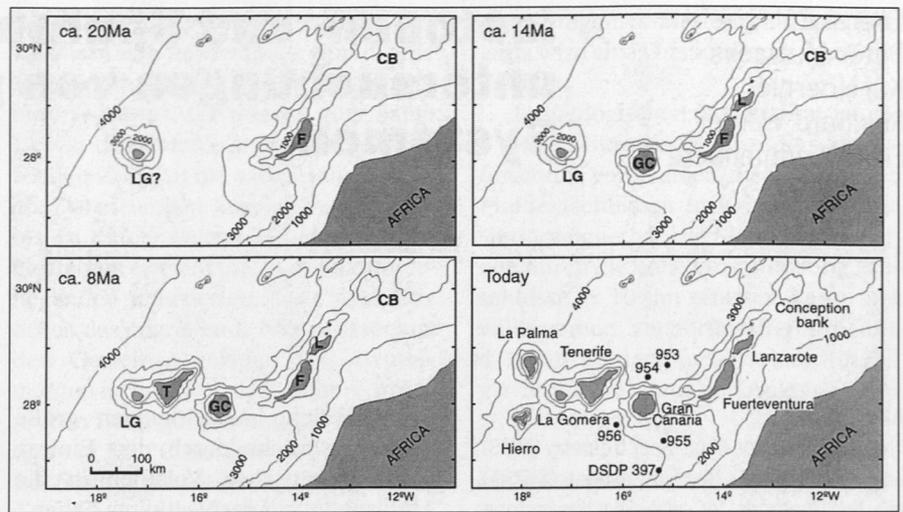
#### Konstruktive Prozesse

Großflächig verbreitete Aschenablagerungen explosiver Vulkaneruptionen werden gerade auf den steilen Hängen von Ozeaninseln leicht abgetragen. So sind aus dem „enthaupteten“ Cañadas-Vulkan, in dessen Zentrum der 1700 m hohe Vulkan Pico de Teide wuchs, nicht nur kleinvolumige Aschenströme eruptiert. Die Bohrungen in die Inselflanken erlaubten uns eine fast lückenlose Dokumentation der explosiven Tätigkeit, da hier auch die bei häufigen hochexplosiven Eruptionen abgelagerten Aschen vertreten sind, die auf den steilen Vulkanhängen nur lückenhaft erhalten sind.

Die vollständige Dokumentation vulkanischer Ablagerungen ermöglicht eine bessere Vorhersage künftiger Aktivität, die chemisch-mineralogische Entwicklung der Eruptionsprodukte kann lückenlos verfolgt werden, und damit sind indirekt Rückschlüsse auf die Natur der Ausgangsmagmen und der Schmelzprozesse im Mantel zu ziehen.

#### Die Ost-West Wanderung des Vulkanismus auf den Kanaren

Die Wanderung der vulkanischen Tätigkeit und damit der Inselentstehung von Ost nach West, die zur Entstehung zweier getrennter Sedimentbecken im Norden und Süden der Kanaren geführt hat (Abbildung 6), ist durch die Bohrungen eindrucksvoll bestätigt worden [9]. Im Nordbecken wurde kaum Sediment von Afrika abgelagert, da die Sedimentmassen am Osthang der Barriere der Ostkanaren nach Süden abgelenkt wurden. Dies gilt nicht nur für die quarzhaltigen Sande aus den afrikanischen Wüstengebieten, sondern auch für die an organischer



**Abb. 6.** Die zeitliche Entwicklung des Kanarischen Archipels von vor ca. 20 Mio Jahren bis heute lässt insgesamt eine Verlagerung der vulkanischen Aktivität von Osten nach Westen erkennen und hat vor NW Afrika zwei Sedimentbecken im Norden und Süden des Archipels entstehen lassen, wobei das nördliche Becken schon durch die frühe Bildung von Fuerteventura (F) und Lanzarote (L) vom Sedimentzufluss vom Kontinent abgeschnitten wurde; aus [10].

Substanz reichen Sedimente aus dem Aufstromgebiet vor Afrika, die in den Bohrlöchern südlich von Gran Canaria an Methan und generell organischer Substanz reich sind, jedoch in den nördlichen Bohrungen fast vollständig fehlen. Die Wanderung der vulkanischen Tätigkeit von Ost nach West mit etwa 16 mm/a ist nicht leicht zu erklären, da die afrikanische Platte praktisch stationär ist. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu den hawaiianischen Inseln, bei denen die Wanderung vulkanischer Aktivität mit der Drift der pazifischen Platte korreliert. Wir haben daher spekuliert [10], daß aufsteigendes Mantelmaterial unter den Kanaren von Ost nach West wandert.

#### Literatur

- [1] H. Staudigel & H.-U. Schmincke: The Pliocene seamount series of La Palma/Canary Islands; *J. Geophys. Res.* **89** (1984) 11195–11215.
- [2] A. B. Watts & U. S. ten Brink: Crustal structure, flexure, and subsidence history of the Hawaiian Islands; *J. Geophys. Res.* **94** (1989) 10473–10500.
- [3] H.-U. Schmincke & R. Rihm: Ozeanvulkan 1993, Cruise No. 24, 15 April – 9 May 1993; Univ. Hamburg, 1994.
- [5] M. J. LeBas, D. C. Rex, & C. J. Stillman: The early magmatic chronology of Fuerteventura, Canary Islands; *Geol. Mag.* **123** (1986) 287–298.
- [6] A. Freundt & H.-U. Schmincke: Petrogenesis of rhyolite-trachyte-basalt composite ignimbrite P1, Gran Canaria, Canary Islands; *J. Geophys. Res.* **100** (1995) 455–474.
- [7] B. D. Marsh, B. Gunnarsson, R. Congdon & R. Carmody: Hawaiian basalt and

Icelandic rhyolite: indicators of differentiation and partial melting; *Geol. Rundsch.* **80/2** (1991) 481–510.

[8] K. A. Hoernle & H.-U. Schmincke: The petrology of the tholeiites through melilite nephelinites on Gran Canaria, Canary Islands: crystal fractionation, accumulation, and depths of melting; *J. Petrol.* **34** (1993) 573–597.

[9] H.-U. Schmincke, P. P. E. Weaver, J. V. Firth et al.: Proc. ODP Init. Repts. 157: College Station, TX (Ocean Drilling Program) (1995) pp 843.

[10] H.-U. Schmincke & M. Sumita: Temporal, volcanic and compositional evolution of Gran Canaria as inferred from drilling the volcanic apron; In: Weaver, P. P. E., Schmincke H.-U., and Firth, J. V. (Eds.), Proc. ODP Sci. Results 157: College Station, TX (Ocean Drilling Program) (1998).

[11] J. G. Moore, W. R. Normark, & R. T. Holcomb: Giant Hawaiian landslides; *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **22** (1994) 119–144.

[13] J. Marti, J. Mitjavila & V. Arana: Stratigraphy, structure and geochronology of the Las Cañadas Caldera (Tenerife, Canary Islands); *Geol. Mag.* **131** (1994) 715–727.

[14] A. Freundt & H.-U. Schmincke: Emplacement of ash layers related to high-grade ignimbrite P1 in the sea around Gran Canaria; In: Weaver, P. P. E., Schmincke H.-U., and Firth, J. V. (eds.), Proc. ODP Sci. Results 157: College Station, TX (Ocean Drilling Program) (1998).

[16] T. Funck, T. Dickmann, R. Rihm, S. Krastel, H. Lykke-Andersen & H.-U. Schmincke: Reflection seismic investigations in the volcanoclastic apron of Gran Canaria and implications for its volcanic evolution; *Geophys. J. Int.* **125** (1996) 519–536.

#### Anschrift der Verfasser:

Hans-Ulrich Schmincke, A. Freundt, R. Rihm, M. Sumita, S. Krastel, K. Hoernle, siehe S. 300.