

Etna i identitetskrise

- fra effusiv til eksplosiv vulkan



Etna i udbrud d. 29. juli 2001. En lavastrøm fra en eruptionsspalte i 2700 meters højde (i forgrunden) og en ny kegle, som kontinuerligt eksploderer fra en kogende lavasø i krateret. Den kaster et voldsomt fyrværkeri af glødende lavabomber ud. Keglen er opstået i en spalte i 2500 meters højde og vokset frem til ca. 80 meters højde på kun 4 dage. (Foto: Forfatteren)

Af Ph.D-studerende Tom Pfeiffer, Geologisk Institut, Aarhus Universitet

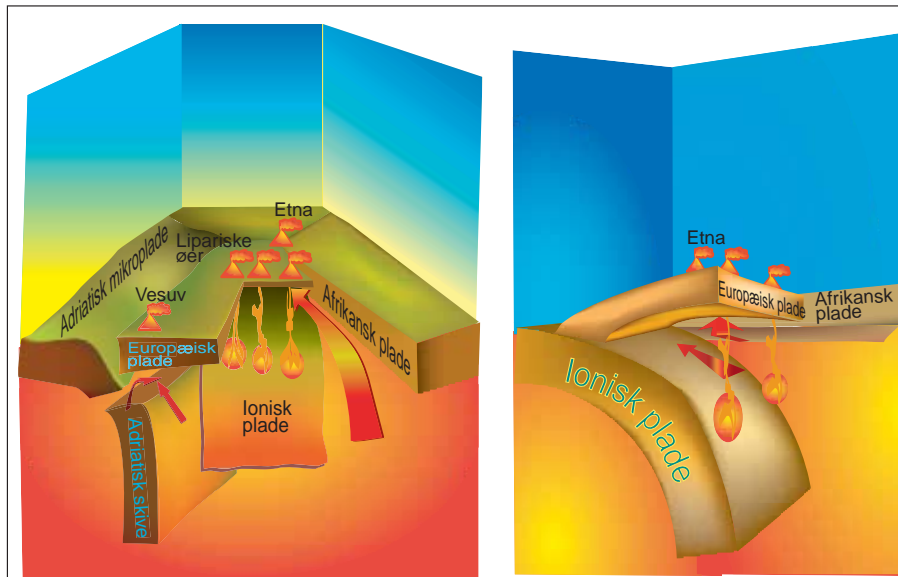
Normalt holder en vulkan sig til én type udbrud. Etna byder på både effusive og eksplosive udbrud, dvs. den producerer lavastrømme, men også eksplosioner, hvor aske og lavabomber kastes op i luften. Hvad sker der egentligt med Etna?

Vulkanudbrud kan groft betegnes enten som eksplosive eller effusive. Ved eksplosive udbrud bliver magma voldsomt fragmenteret, fordi dens høje indehold af gasser frigøres eksplosionsagtig. Derimod er effusive udbrud kendetegnet ved rolige udløb af lava. Europas største og mest aktive vulkan Etna byder på begge typer. Dens usædvanlige eruptionsstil består i at producere lavastrømme såvel som næsten kontinuerlige eksplosioner, der kaster gasser, aske og lavabomber højt op i luften. En mulig forklaring på dens komplekse adfærd kommer nu i form af et nyt studie af vulkanens primære magmasammensætning. Det tyder på, at Etna er ved at gennemgå en usædvanlig geologisk proces, man aldrig før har iagttaget. Gennem nogle 10.000er år forvandler den vulkanen fra en effusiv vulkan til en mere eksplosiv og dermed farligere type.

“Det er første gang, man har set den

type overgang,” siger Pierre Schiano fra universitetet Blaise Pascal i Clermont-Ferrand, Frankrig, som ledede undersøgelsen. “Vores studier hjælper os ikke til at forudsige udbrud, men de giver os en bedre ramme til at forstå Etna”.

Uløste spørgsmål om vulkanens aktivitet
Etna er en af verdens mest studerede vulkaner. Men samtidig er en del af dens geologi endnu en gåde. Hvorfor eksisterer Etna? Hvilken type vulkan er den? Disse formentligt enkle spørgsmål har forskere intet defi-



Den Europæiske (Tyrreniske) og Afrikanske plade støder sammen med to fragmenter af den Afrikanske plade, den Adriatiske og den Ioniske mikroplade. Vesuvius og de Lipariske vulkaner tolkes som værende en følge af subduktionen af hhv. den Adriatiske og Ioniske mikroplade under den Europæiske plade. Etnas vulkaniske aktivitet anses her som forårsaget af en varm strøm af kappemateriale (plume) (den store røde pil), som stiger op ved kanten af den nedsynkende Ioniske pladestribbe og reagerer med den. Det er en mulig forklaring på, hvorfor Etnas magmaer både viser træk fra plume-magmaer og fra de magmaer, som ses på de Lipariske Øer. (Grafik: BES efter: Z. Gvirtzman & A. Nur: The formation of Mount Etna as the consequence of slab rollback, vol. 401. www.nature.com)

nitivt svar på endnu. Med andre ord, hvorfor der netop her dannes magma, det smeltede materiale fra jordens indre? For det gør Siciliens berømte ildsper i rigeligt mål. Blandt de ca. 600 aktive vulkaner på jorden er den også en af de mest produktive.

Problemet er, at det er svært at indordne Etna i det klassiske pladetektoniske skema. Ifølge dette deler man vulkanerne op i 3 grupper: vulkaner ved sprednings- eller "rift"-zoner, vulkaner ved subduktionszoner og hot spot-vulkaner.

Vulkanisme ved riftzoner

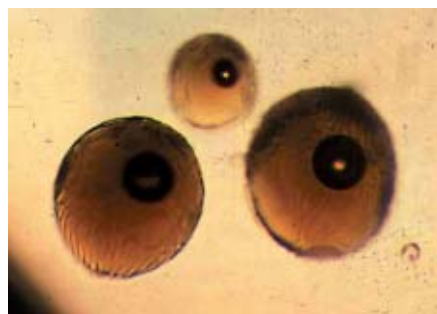
Ved riftzonerne bevæger to dele af den faste jordoverflade sig væk fra hinanden. Det sker f.eks. langs de midtoceanske havrygge. Som følge heraf hvælver det varme og plastiske kappemateriale lige under havryggene op. Trykfaldet fører til, at kappen delvist smelter. Processen danner en karakteristisk magma, man kender under navnet basalt. En lignende situation ses hos hot spot-vulkaner. Her er det en usædvanligt varm strøm af materiale, der stammer fra dybt nede i kappen, som på grund af konvektion stiger aktivt op. Også her er tryksækning årsagen til smeltning og dannelsen af anden type basaltmagma med vulkansk aktivitet på et punktagtigt varmt sted på overfladen.

Vulkanisme ved subduktionszoner

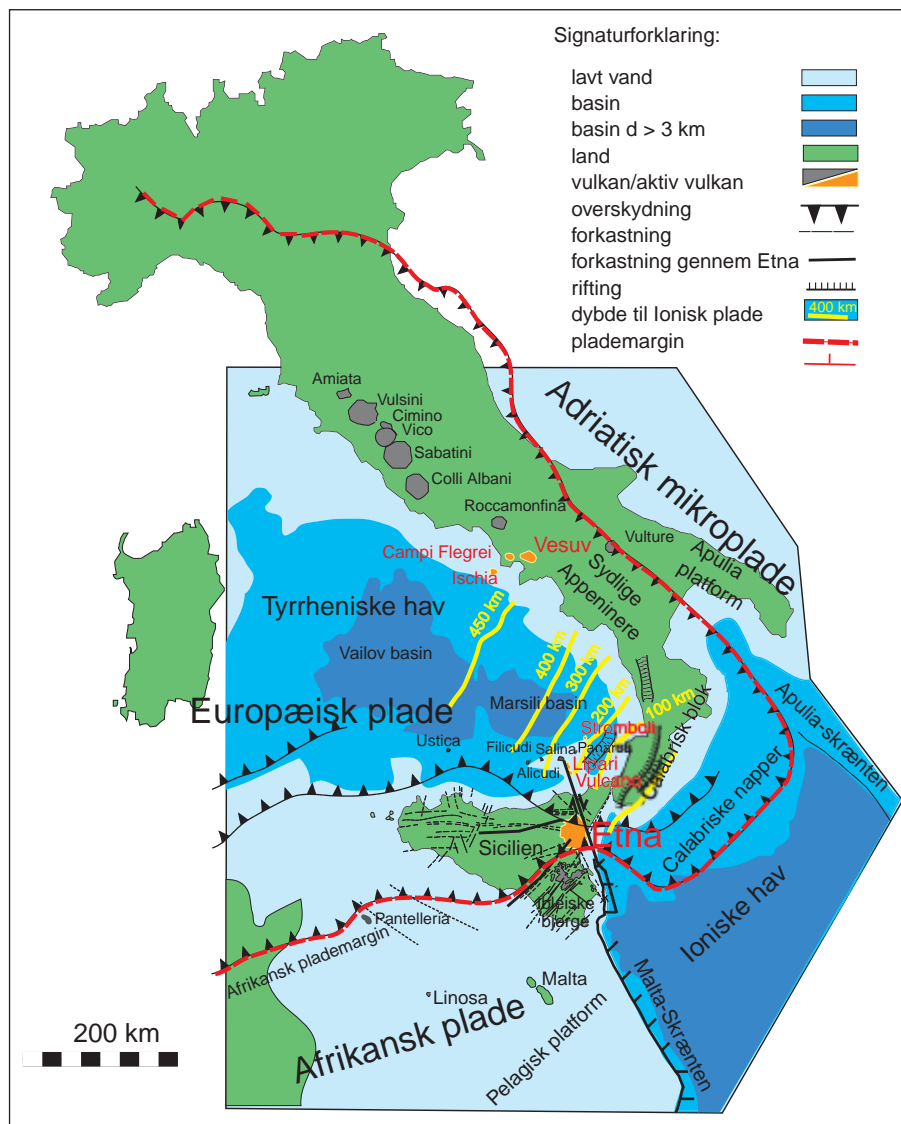
Vulkanismen i de såkaldte subduktionszoner har en helt anden årsag. I subduktionszoner kolliderer to plade med hinanden, og den tungeste synker ned under den anden for at forsvinde i kappen. Her er det vand og andre let bevægelige stoffer, som den nedsynkende plade fører med sig, der udløser smeltning, når de bliver afgivet under stort tryk i ca. 100 km dybde og reagerer med det varmere omliggende kappemateriale. De her opståede magmaer er gasrige og har en anden kemisk sammensætning. Det er grunden til, at vulkaner i disse subduktionszoner generelt er meget mere eksplosive.

Etna - krydspunkt af forkastninger

Etna ligger i et geologisk meget komplice-



200 µm små bobler af vulkansk glas i en olivinkrystal fra en lavaprøve af Etna under mikroskopet. Vha. disse smelteinklusioner kan man analysere den oprindelige magmasammensætning. (Foto: P. Schiano & R. Clochciati)



Oversigt over de tektoniske forhold og vulkanprovinserne i det sydlige Italien. Etna-vulkanen på Sicilien ligger i nærheden af pladegrænsen mellem Afrika og Europa på et krydspunkt af flere forkastninger. Vulkanismen på de Lipariske øer skyldes subduktionen af en del af den afrikanske plade fra det Ioniske Hav i nordvestlig retning under det Tyrrenske Hav. De gule linier er den såkaldte Benioff-zone, - dybden af den hyppige jordskælvsaktivitet, som fortolkes som værende overfladen af den nedsynkende pladestrib - oprindeligt en del af den oceaniske havbund fra det Ioniske Hav. (Grafik: BES)

ret område tæt på pladegrænsen mellem Europa og Afrika, som her er stødt sammen gennem de sidste 40-60 millioner år. Kollisionsprocessen er stadig i gang, hvilket kan ses i form af voldsom jordskælvsaktivitet og vulkanisme i hele middelhavsområdet. Vulkanerne på de Lipariske øer ca. 100 km nord for Etna er opstået som følge af subduktion af resterne af oceanhavbunden fra det Ioniske hav i nordvestlig retning under Kalabrien. Selve Etna befinder sig på et krydspunkt mellem flere store forkastninger, som man kan forstille sig som dybe revne i skorpen, der er opstået på grund af de voldsomme kræfter i pladernes kollision.

Deres eksistens blev i lang tid betragtet som årsag til Etnas vulkansk aktivitet. Men faktisk giver de nærmere en forklaring på, hvordan magmaet finder vejen op, men ikke hvordan det dannes. Ifølge de fleste teorier er Etna noget i retning af en riftzonestvulkan. Man antager, at skorpen under

vulkanen er udsat for en strækning, hvilket skulle føre til, at kappen hvælver op. Et stort problem med denne teori er dog at forklare, hvordan den lokale strækning skal forenes med den generelle kompression, som regionen er udsat for. Derudover har kun ca. 20 % af Etnas magmaer den karakteristiske sammensætning, som man kender fra basalterne i riftzonerne. At vurdere fra den kemiske sammensætning af størstedelen af sine produkter og aktiviteten ligner Etna mest en hot spot-vulkan, som på Hawaii-øerne eller Azorerne. Men indtil videre har man ikke kunnet bevise det eller blive enige om en teori, der kan forklare alle detaljer.

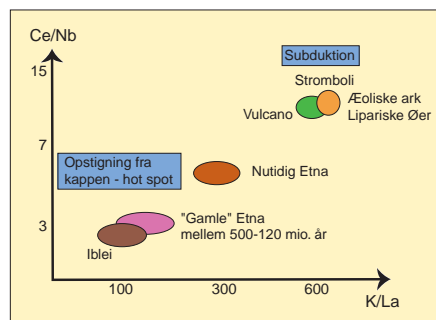
Usædvanlig aktivitet

For vulkanologer er Etna en af de mest usædvanlige vulkaner, da den er en af de meget få på jorden, som er i næsten konstant udbrud. Den har været aktiv så langt tilbage, man har kilder, dvs. i mindst

3-4000 år. Derudover er dens aktivitet, både effusivt og eksplosivt i forhold til andre basaltiske vulkaner, overraskende temperamentsfuld. I udbruddene i sydøstkrateret i 2000 kunne man iagttage lavafontæner på mere end 1200 meters højde - en verdensrekord. Vulkanens hidsige temperament skyldes mest dens ekstreme rigdom af gas. Faktisk kan det kun sammenlignes med nogle typer af eksplosive subduktionsvulkaner som f.eks. Popocatepetl i Mexico. Der blev målt op til 20.000 tons SO₂ pr. dag i et af Etnas udbrud. Dermed er Etna faktisk blandt verdens førende naturlige miljøforurenere.

Til mosaikken af Etnas besynderlige egenskaber bør nu tilføjes dets sidste udbrud i juli-august 2001. Det varede kun i 27 dage, men var til gengæld meget heftigt. I løbet af kun få dage opstod der flere nye sprækker og nye kraterer på bjergets flanker. Et af kraterne voksede lynhurtigt frem til en imponerende kegle på mere end 100 meters højde. Det spyede i dagevis lavafontæner samt en kilometerhøj askesky, som udsatte området for en konstant regn af små sorte lapilli og aske. Lufthavnen i Catania måtte lukkes flere gange, da vinden blæste den ubehagelige askesky sydpå.

Det mest forunderlige ved udbruddet var dog, at det egentlig drejede sig om to forskellige, simultane udbrud. Et af dem rangerer som fortsættelsen af aktiviteten fra topkrateret i månederne før. Den samme lava havde bare fundet nye veje ud langs sprækker (i 2700-3100 meters højde) et par 100 m under topkrateret. Det andet udbrud fandt sted fra sprækker på et lavere niveau (i 2100-2500 meters højde). En helt anderledes type magma dukkede her op. Det havde åbenbart samlet sig i lang tid før udbruddet og ligget i et uafhængigt reservoir, hvor det kunne forandre sig kemisk. Det indeholdt store krystaller af det på Etna meget sjældne vandholdige mineral amfibol. Det kan kun krystallisere ud fra et



Indholdet af sporelementer i Etnas magmaer viser en trend fra en kilde, som sandsynligvis en gang har været den samme hot spot, som forårsagede vulkanisme i Iblei-Bjergene; og til en der svarer til vulkanismen i de Lipariske Øer, som stammer fra en subduktionszone. Magmaer fra subduktionszoner har typisk relativt høje indhold af K og andre sporelementer som Ce, mens de typisk er fattige i elementerne Nb og La. (Grafik: BES; efter: R. Clocchiatti, 2001; http://perso.club-internet.fr/rivierec/septembre_2001.htm)



En del af Etnas sydøstflanke med turiststationen Sapienza, mens den voldsomme aktivitet fra et krater på 2500m højde ved udbruddet i Juli 2001 spyer en askesky, som driftes med vinden mod Catania. I nærheden af bjerget kan man se en regn af sorte lapilli og aske. (Foto: Forfatteren).

magma, der indeholder rigeligt med vand i forvejen og samler sig i et reservoir i langt tid, hvor det kan krystallisere.

De nye undersøgelser

Den franske vulkanolog Roberto Clocchiatti har i mange år beskæftiget sig med Etna og forsøgt at forstå vulkanen. Han ved, hvor svært det er, men samtidig også hvor fascinerende: "Jeg elsker Etna for dens skønhed og dens uforudselige karakter. Efter 20 år begynder jeg at have lidt erfaring." Etna er blevet til en personlig lidenskab, som han har skrevet et utal af artikler om. Siden 1982 har han også samlet hundredvis af lavaprøver fra forskellige præhistoriske og historiske udbrud, i øvrigt løbende fra alle udbrud der har fundet sted siden.

Ideen med at kigge nærmere på Etnas primære magma stammede allerede fra 1996. Trods de mange spørgsmål omkring vulkanens aktivitet viste det sig, at man stort set ikke havde direkte informationer om vulkanens oprindelige magmaer. Næsten alle undersøgelser var baseret på analyser af sammensætningen af det erupterede magma. Desværre er dette ikke identisk med det oprindelige magma, som dannes i kappen, - det er kemisk forandret på grund af processer som fx krystallisation og kontaminering (forurening) fra bl.a. sidebjergarterne, som magmaet er udsat for på vejen op, og som maskerer dets originale sammensætning.

Smelteinklusioner

Derfor tog Roberto Clocchiatti og Pierre Schiano sammen med deres italienske kollegaer Luisa Ottolini og Tiziana Busà initiativet til at undersøge det oprindelige magma, som kan findes i form af såkaldte smelteinklusioner (foto nederst på forrige

side). Disse er meget små bobler af magma, som enkelte krystaller har indesparret, mens de voksede i et meget tidligt stadium i magmaets liv. Når sådan en boble er fuldstændigt omgivet af krystallen, er den isoleret fra omverden og deltager ikke i senere kemiske forandringer. Den stivner til et glas, hvilket på denne måde konserverer en prøve af det oprindelige magma. Ved hjælp af moderne analyseteknikker kan det senere analyseres med stor nøjagtighed. Naturligvis kun hvis den ellers har været så heldig at blive kastet ud med lavaklump, der opsamles af en nysgerrig forsker, som derefter opdager selve boblen under mikroskopet.

Det lykkedes. Man fandt smeltinklusioner - mindre end tykkelsen af et hår - i olivinkrystaller. Olivin er et jern- og magnesi-umholdigt mineral, som er velegnet til

MILJØTEKNIK og GEOFYSIK

Rådgivning

- Undersøgelser
- In-situ
- Risikovurdering
- Oprydning
- Projektering
- Monitorering

FALKENBERG A/S

Rådgivende Geologer

Hovedkontor: Vaastrømsgade 145 • 5540 Lyngby
Tlf: 48 18 75 66 • Fax: 48 18 76 03

Afdeling Nykøbing F.: Højbjergsølle 12-14 • 4800 Nykøbing F.
Tlf: 54 82 45 65 • Fax: 54 85 02 32

e-mail: falkenberg@falkgeo.dk



Om aftenen den 26. juli 2001 truer en stor lavastrøm, der løber ned af sydøstflanken, turiststationen Sapienza. De vigtigste bygninger bliver forskånet med nød og næppe denne gang. Alligevel falder en del af sejlbanen, en parkeringsplads og mindre hytter som ofre for lavaen. (Foto: Forfatteren)

disse undersøgelser, da det som et af de første begynder at krystallisere ud af magmaet. P. Schiano og hans kollegaer undersøgte ud over prøver fra Etna også fra magmasammensætningen af nabovulkanerne, de uddøde vulkaner fra Iblei bjergene og de endnu aktive vulkaner Vulcano og Stromboli fra de Lipariske Øer.

Overraskende resultater

“Jeg var selv meget overrasket over resultaterne”. Efter analyserne fra laboratorier i Paris og Pavia (Italien) var afsluttet, var P. Schiano ikke i tvivl om, at de havde fundet noget udsædvanligt. Det viste sig, at Etnas magmaer i løbet af mindre end 100.000 år var gået igennem en tydelig forandring. Som forventet havde Etnas gamle magmaer

(ca. 500.000-100.000 år) en lignende sammensætning som de endnu ældre vulkaner i de Ibleiske bjerge syd for Etna. Især med hensyn til deres indhold af sporelementer, som i denne sammenhang betragtes som et fingeraftryk af deres oprindelse, - var de typiske for magmaer fra et hot spot.

Til gengæld havde de yngre prøver (under 100.000 år gamle) et helt forskelligt indhold af sporelementer. De havde tydelige karakteristika af magmaer, som dannes i subduktionszoner og lignede meget prøverne fra de Lipariske Øer (som ligger i en subduktionszone). “De primitive magmaer fra Etna har forandret sig. Da sammensætningen af et primitivt magma afspejler dets kilde, viser resultaterne, at den kilde, Etnas magmaer stammer fra, også har forandret

sig,” siger P. Schiano. “Hvis man tænker på, at Etna ligger i et meget kompliceret område, som ikke kan fortolkes med enkle modeller, overrasker det mig mest, at alle variationer kan tilbageføres på en blanding af kun to komponenter.”

Forskere formoder, at den anden komponent, som er begyndt at træde frem i Etnas magmaer, er den samme som den, der er repræsenteret ved vulkanismen på de Lipariske øer. Ligheden kan nemlig næppe

Etna

Etna er et bjerg med mange navne. Selve ordet “Etna” stammer fra gammelt indogermansk og betyder rammende “brændt” eller “brændende”. I dag kalder sicilianerne ofte bare det ildspyende bjerg “a muntagna” (bjerg) eller “Mongibello” – en sammentrækning af det italienske “monte” (bjerg) og det arabiske “gibel” (bjerg), hvilket vidner om dengang, Saracenerne i det 9. århundrede etablerede sig på øen og døbte vulkanen “Gibel Utlatmat”, – ildens bjerg.

Med sine ca. 3340 meters højde, et

areal på ca. 1200 kvadratkilometer og et volumen på ca. 350 kubikkilometer dominerer den Sicilien og kan ses på klare dage fra mere end 100 km’s afstand. Etna er ikke en helt ung vulkan. Dens første aflejringer er omkring 500-600.000 år gamle, og i Etnas geologiske historie kender man mindst 8 forskellige sammenhængende faser, som hver for sig har opbygget en vulkan over de eroderede eller sammenstyrtede rester af forgængerer. Den nuværende vulkan, Etna, er kun 5-8.000 gammel.



Et såkaldt skylight åbenbarer den underjordiske hurtigtflydende strøm af næsten 1200 grader varm lava. (Foto: Forfatteren)

være tilfælde, da de to områder kun er ca. 100 km fra hinanden og aktive i samme geologiske tidsrum.

Hvordan kunne man tænke sig en blanding af to så forskellige komponenter? Principielt findes der to forskellige svar. Først kunne man forstille sig, at der er to magmaer, som dannes uafhængigt i to forskellige regioner og derefter blander sig et sted under Etna. Var dette tilfældet, skulle en del af det magma, som opstår i subduktionszonen, vandre til Etna gennem skjulte underjordiske veje. Faktisk ligger f.eks. Vulcano og Etna på en fælles brudzone. Alligevel antages denne hypotese ikke at være ret sandsynlig. Blandt andet fordi man i den nyere geologiske tid (i de sidste 100.000 år) ikke finder spor af udbrud, som stammer fra ikke-blandede magmaer.

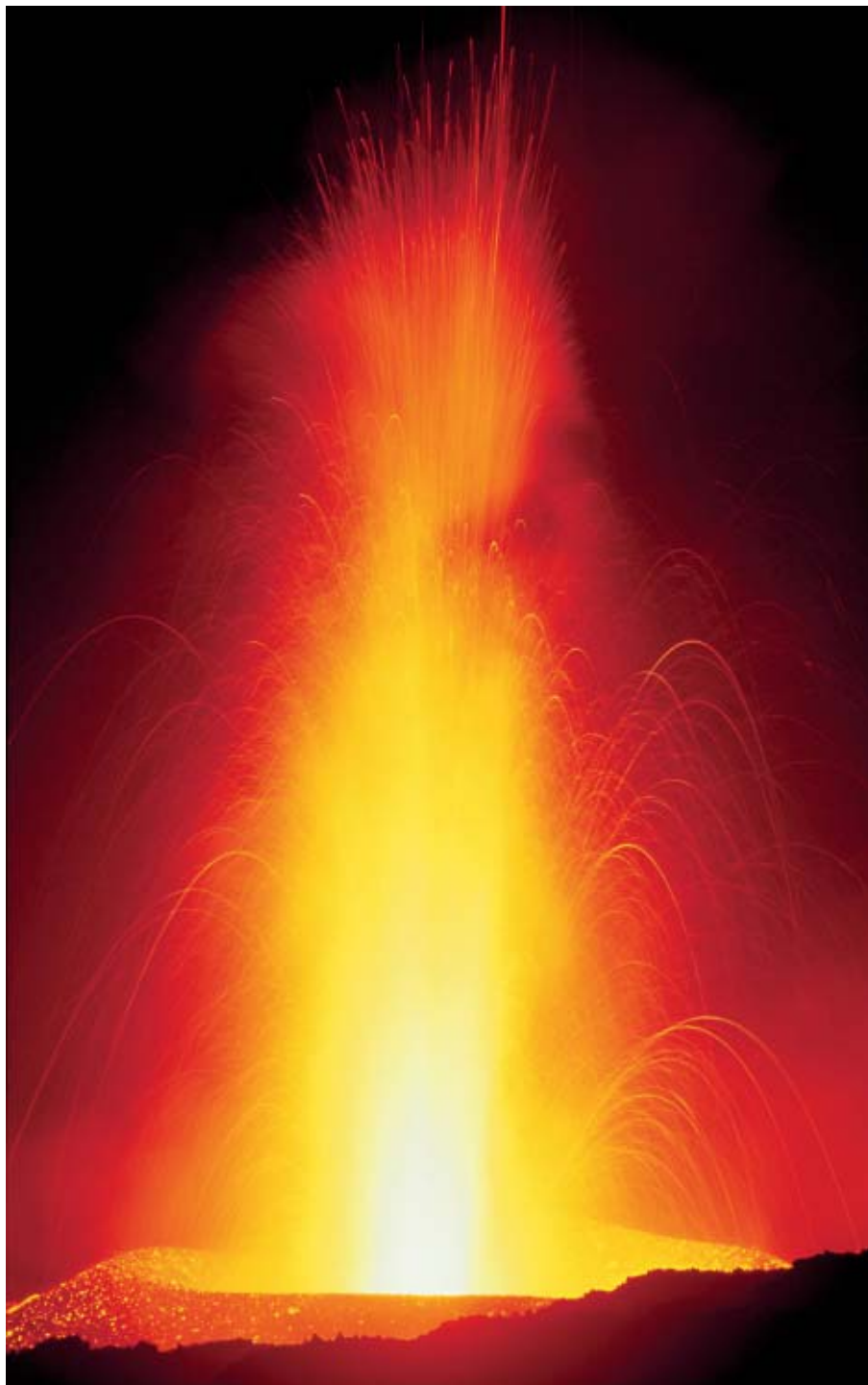
I den anden hypotese antages i stedet en blanding af de to magmakilder. Med andre ord området, hvor subduktion finder sted og danner magmer på grund af afgivning af vand fra den subducerede plade, er kommet i kontakt med hot spottet under Etna. I den mest enkle model går man ud fra, at subduktionen med tiden har flyttet sig sydpå. Det understøttes af seismiske undersøgelser, som tyder på, at den subducerede plade har løst sig fra moderpladen og nu svømmer isoleret i kappen under det tyrrenske hav. På denne måde kunne dens position i forhold til overfladen have forandret sig med tiden.

Udkig

Det er første gang, at der er blevet dokumenteret en lignende overgang ved en vulkan. "Resultaterne af vores arbejde viser, at der kan ske ekstreme forandringer i en vulkans liv. Det er noget, vi ikke er vant til," siger P. Schiano. Nogle forskere har henvist til, at Etna siden 1970'erne er blevet tydeligt aktivere i forhold til århundrederne før. Kunne det måske allerede være et synligt tegn på vulkanens forandring?

"Næppe", mener R. Clocchiatti. "Sandsynligvis oplever vi bare ankomsten af en ny mængde af frisk magma. Det er ikke noget, som sker fra i går til i dag, og en del af den forandring, vi har konstateret, har allerede fundet sted." Sidst for 15.000 år siden eksploderede Etna, ligesom den filipinske vulkan Pinatubo gjorde det i 1991. Den sendte en kæmpe askesky højt op i stratosfæren og ødelagte et af Etnas tidligere vulkanmassiver.

Hvis processen fortsætter, vil Etnas udbrud blive endnu mere eksplosive og farlige i fremtiden. Og sandsynligvis vil vulkanen engang tabe sit rygte som en venlig vulkan. "Et vigtigt punkt er dog, at forandringerne sker i geologisk tid, ikke i løbet af menneskelivet", betoner P. Schiano. Et par 10.000er år bliver det nok, før man ser en tydelig forskel, - men det er geologisk set ikke ret meget tid. For en vulkan som Etna svarer det til, hvad et par år er for et menneske.



Etna i udbrud d. 24. juli, 2001. Et nyt krater udspyer en pulserende lavafontæne. Glødende blokke kastes flere hundrede meter op i luften, og krateret vokser hurtigt. 4 dage senere ser det ud som på billedet første side i artiklen. (Foto: Forfatteren)

SAS 4000 og LUND Imaging system, resistivitetssystem
WADI, VLF elektromagnetisk system
RAS-24, seismografer
UVS 1500, støj- og vibrationsmåleudstyr
FRA ABEM Instrument AB

Dyno Nobel Danmark A/S

Telefon 43 45 15 38
Homepage www.dynonobel.dk