

Minoïsch Thera: een vulkanische geschiedenis

Gijsbert R. Boekschoten

G. R. Boekschoten, G. ter Borghstraat 18b, 9718 RD Groningen

Ruim honderd kilometer ten noorden van Kreta ligt de vulkanische eilandengroep Thera (Santorini). In de winter van 1629/28 v.Chr. vond hier een catastrofale uitbarsting plaats. Grote delen van het Aegeïsche gebied en Anatolië werden bedekt met een deken van as. De gevolgen voor de toen bloeiende Minoïsche / Cycladische beschaving waren groot, zo niet de-sastreus. Sinds de 19de eeuw zijn door vulkanologen steeds andere reconstructies van de 'Minoïsche' vulkaan gemaakt. Zo was het in de jaren '70 gebruikelijk om een kegel van een kleine 2000 meter te reconstrueren. Tegenwoordig lijkt men elkaar te willen overtreffen met een zo laag mogelijke vulkaan, gelegen in een met zeewater gevulde caldera, goed vergelijkbaar met de huidige situatie (Friedrich, 1994). Wie heeft er gelijk?

Het geologische kader

Geologisch gezien is het Griekse gebied een onderdeel van de Euraziatische plaat. De zuidelijke helft, met een oost-west breuklijn ter hoogte van de baai van Korinthe, wordt de Aegeïsche plaat genoemd. Ten oosten hiervan bevindt zich de Turkse plaat. Deze drie platen bewegen zich in zuidwestelijke richting (Afb. 1). De grens van de Aegeïsch plaat wordt in het zuiden gemarkeerd door de eilanden Rhodos en Kreta, en in het westen door de Peloponnesos en de Ionische eilanden. Vanuit het zuiden duikt de Afrikaanse continentale plaat onder de Aegeïsche. Hierdoor wordt de laatste aan de zuidkant omhoog geduwd. Op zo'n 100-150 km noordelijk van de grens tussen de twee platen hebben zich vulkanen gevormd. In het noordwesten begint een boog van vulkanen

op de Isthmus van Korinthe, oostwaarts te vervolgen langs Melos, Thera, naar Bodrum in Turkije. Van de vulkaancomplexen op deze boog is dat van Thera de actiefste.

De historie van de vulkaan Thera

Het Aegeïsch gebied kan men zich voorstellen als een ondergelopen berglandschap, dat geplooid is tot 20 miljoen jaar geleden. De toppen van deze bergen vormen de eilanden. Eén zo'n bergtop is de kern van wat nu Thera heet (Afb. 2). Later is er naast een vulkaan ontstaan. De oudste bewijzen van vulkanische activiteit op Thera dateren van zo'n 1,6 miljoen jaar geleden. Sindsdien is de kegel steeds groter geworden. De vulkaan is van het ignimbrische type, dat wil zeggen "met gloedwolken". Dit type kenmerkt

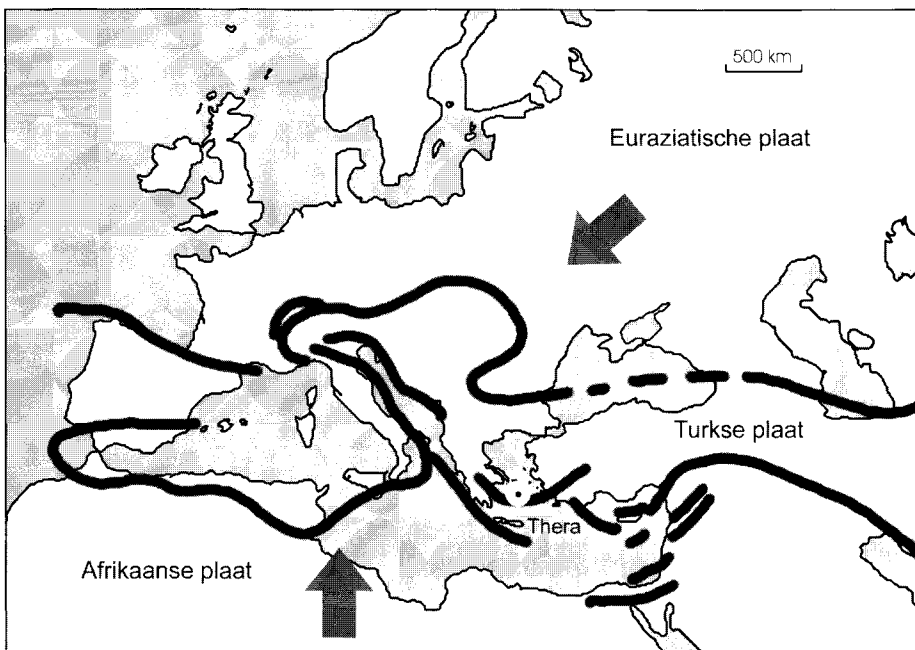
Summary

In this paper the shape of the volcanic island of Thera prior to the Minoan eruption is discussed. It is proposed that the island consisted of a closed caldera rim, that the caldera was smaller than at present and that in the north some cones (three ?) were present. The presence of salty water inside the Minoan caldera, as inferred from the presence of marine shells in stromatolites, is not necessarily due to an open connection to the sea, but may have been caused by evaporation (cf. Friedrich 1994). An analogy can be found on the island Sal of the Cape Verde Islands. The relative size of the Minoan eruption and the much lower sea levels at the time of the eruptions prior to the Minoan one, also indicate that an open connection between the caldera and the sea is unlikely. This seems to be confirmed by the presence of Minoan sherds on the islet of Aspronisi.

zich door heftige uitbarstingen, afgewisseld met periodes van rust.

De hoeveelheid uitgestoten materiaal staat in lineair verband met de snelheid waarmee de Afrikaanse plaat onderduikt.

Na een lange periode van rust volgt meestal een heftiger uitbarsting dan na een kortere rustperiode. Het opbouwen van de kegel heeft een cyclisch karakter. Door de opeenhoping van uitgestoten materiaal en het navenant steviger worden van de kegel wordt de rustperiode tussen de uitbarstingen steeds langer. De uitbarstingen worden steeds heftiger van aard. Uiteindelijk kan er dan een explosieve uitbarsting plaatsvinden, waarbij de vulkaankegel wordt uitgehouden en instort. Er ontstaat dan een zogenaamde caldera (Spaans voor: ketel, bekken). Dit gebeurde ook bij de Minoïsche uitbarsting. Na een dergelijke explosie volgen kleine uitbarstingen. Het kan duizenden jaren duren voordat de caldera weer is opgevuld door een nieuwe vulkaankegel en er opnieuw een caldera-explosie mogelijk wordt.



Afb. 1. Vereenvoudigde weergave van de belangrijkste platen en breuken in het Middellandse Zeegebied.

Eruptie	Datering	Maximale dikte in de caldera	Tephra verspreiding op zee bodem	Relatief verspreidingsgebied t.o.v. Minoïsche uitbarsting
Couloumbos Eruptie	1650 n.Chr.		1.000 km ²	0,004
Minoïsche Eruptie (B _o)	1629/28 v.Chr.	34 m	240.000 km ²	1
Cape Riva Eruptie	19.000 BP	12 m	120.000 km ²	0,5
Middle Pumice (B _m)	35-50.000 BP	10 m	110.000 km ²	0,5
Lower Pumice (B _u)	130-150.000 BP	25 + 50 m	330.000 km ²	1,4

Tabel 1: de belangrijkste uitbarstingen van Thera, de dikte van de geassocieerde afzettingen in de caldera-wand en de verspreiding van tephra op de bodem van de Middellandse Zee. Couloumbos is een onderzeese vulkaan 5 km ten noord-oosten van Thera. Het verspreidingsgebied van deze uitbarsting is illustratief voor een kleine uitbarsting. Tijdens deze uitbarsting was de zee tussen de Cycladen bedekt met puimsteen.

Uit boringen in de bodem van de Middellandse Zee zijn de belangrijkste uitbarstingen van de afgelopen 250.000 jaar af te lezen (Tabel 1).

Alle erupties, behalve de Couloumbos-eruptie, hebben waarschijnlijk een caldera nagelaten. De in de zeebodem gevonden lagen zijn bovendien duidelijk aanwezig in het profiel van de caldera op Thera.

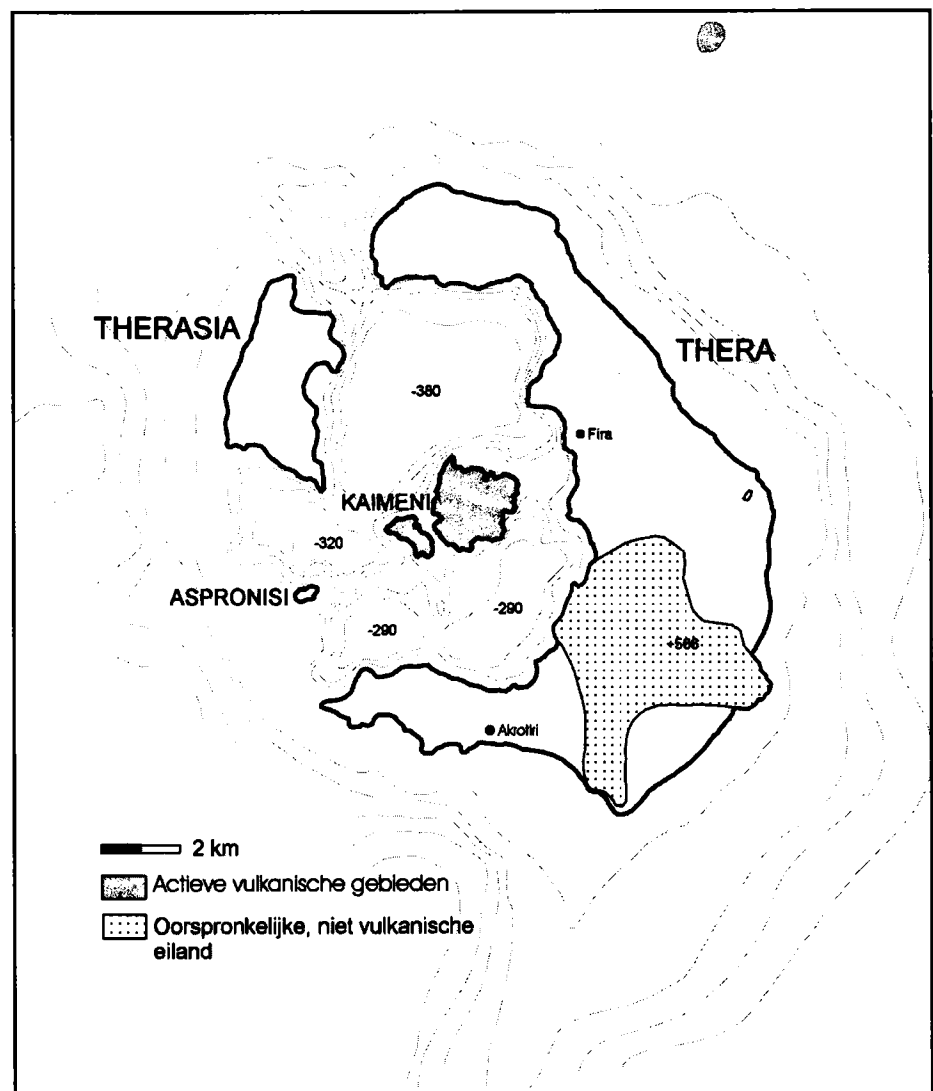
De Minoïsche uitbarsting

De Minoïsche uitbarsting werd voorafgegaan door een zware aardbeving. De aardbeving trof niet alleen Thera, maar ook Kreta en de Dodekanesos. De verwoestingen op Thera waren groot. Op grond van de beperkte hoeveelheid plantenresten in voorraadpotten, die gevonden zijn in de huizen van Akrotiri op Thera, is het aannemelijk dat de aardbeving plaatsvond in het voorjaar. Groeipatronen van boomringen in Anatolië maken duidelijk dat de uitbarsting zelf plaatsvond in de winter (waarschijnlijk van het jaar 1629/28 v. Chr.; Kuniholm et al. 1996). Er ligt dus minstens een half jaar tussen de beving en de explosie; deze periode kan enkele jaren langer zijn. In ieder geval was de tijdsspanne lang genoeg voor de bewoners van Akrotiri om het puin in de straten gedeeltelijk te ruimen en tijdelijke onderkomens te bouwen. Kort voor de uitbarsting werden de eilandbewoners waarschijnlijk opgeschrikt door lichte trillingen. Het geringe aantal metaalvondsten, en de afwezigheid van menselijke skeletten wijzen er op dat de bewoners het eiland tijdig hebben verlaten.

Op grond van de stratigrafie op het eiland heeft men de volgende fases binnen de uitbarsting gereconstitueerd (naar Bond & Sparks 1976, met aanvullingen):

Initiële fase: een aslaag met een maximale dikte van 10 cm is verspreid in ZZO-richting; punt van oorsprong ligt dicht bij Nea Kaimeni, in het centrum van de caldera.

Plinische fase: tijdens deze fase is een homogene laag van puimsteen afgezet, met een maximale dikte van 5 m. Puimsteen wordt gevormd bij stolling van kiezelzuurrijk magma met een hoge gas-concentratie.



Afb. 2. Thera met dieptelijnen (naar Perissoratis 1990). Therasia, Thera en Aspronisi vormen de restanten van de vulkaan van voor de Minoïsche uitbarsting. Daartussen ligt de caldera, ontstaan door instorting van de onderliggende magma-kamer ten tijde van de uitbarsting. In het centrum hiervan zijn de Kaimeni eilanden gegroeid. In de Hellenistische periode kwamen ze voor het eerst weer boven de zeespiegel uit. Ten noord-oosten van de eilandengroep ligt de Couloumbos-vulkaan, die zich onder het zeeniveau bevindt; deze kwam in 1650 n.Chr. tot uitbarsting. In het zuiden ligt de archeologische vindplaats Akrotiri.

Puimsteen is zo licht dat het op water blijft drijven. De hoogte van de askolom wordt geschat op 29-36 km (vliegtuigen vliegen op ca. 10 km hoogte). Deze fase zou slechts 1-8 uur geduurd hebben, maar dat lijkt mij te kort (zie hieronder).

Phreatomagmatische fase: De grens tussen de voorafgaande fase en deze fase wordt gekenmerkt door witte banden van poeder-achtig materiaal, die afgewisseld worden met laagjes puimsteen. De witte banden zijn ontstaan doordat water contact maakte met het magma; dit leidde tot explosies. Men denkt dat deze explosies vergezeld gingen van gloedwolken (ignimbrische explosies). Deze fase wordt gekenmerkt door een golvende laag, van ca. 2 m dikte. De laag is samengesteld uit fijne, ongeordende bandjes van puimsteen en as. Nu verschijnen ook de eerste 'vulkanische bommen', grote blokken lava-gesteente (< 1 m). Dit wijst op het begin van de afbraak van de oude kegel. In de fases hierna hecht het uitgeworpen materiaal steeds slechter aan de hellingen, en worden de grenzen minder scherp. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een toegenomen watergehalte.

1^{ste} Modderstroom fase: Deze fase vormt het leeuwendeel van de Minoïsche puimsteenlaag op de rand van de caldera. De vulkanische bommen zijn nu groter (< 2 m) en bestaan niet alleen uit lavablokken, maar ook uit stromatolieten (waarover meer hieronder).

2^e Modderstroom fase: Deze laag bevindt zich alleen op zeer zwakke hellingen (< 3°). In de vlakte bereikt de laag een dikte van 60 m. De vulkanische bommen zijn nu kleiner dan 5 cm. Ze vormen echter wel 35-50% van het gewicht van de laag. Mogelijk is de laag ontstaan door erosie van de laag van de voorafgaande fase.

Erosie fase: Het pakket wordt afgesloten door een dunne laag met veel stenen, maar weinig puimsteen. Waarschijnlijk is deze laag ontstaan onder invloed van erosie door water.

Een schatting voor de minimale tijdsduur van de uitbarsting bedraagt drie à vier dagen. Hierbij is tenminste 27 km³ DRE aan vulkanisch materiaal uitgespuwd. DRE staat voor Dense Rock Equivalent en is de standaard weergave voor de hoeveelheid uitgestoten vulkanisch materiaal. De 3^e tot en met de 5^e fase wordt vaak vergeleken met

een pan melk, die overkookt; hierbij zou het meeste materiaal zijwaarts zijn uitgeworpen. Een vergelijking met de uitbarsting van de Krakatau doet echter vermoeden, dat in deze fasen de uitbarsting het heftigst was en de as het hoogst werd opgeblazen.

Vergelijking met de uitbarsting van de Krakatau

De bijzondere combinatie van factoren bij de uitbarsting van Thera maakt dat we tot 1883 terug moeten gaan om een vergelijkbare uitbarsting te vinden: de Krakatau in Indonesië. De geologie, de uitbarsting en de gevolgen zijn uitvoerig beschreven door Verbeek, 1885. Zijn werk is pas 100 jaar na dato (gedeeltelijk) in het Engels vertaald (Simkin & Fiske, 1983).

De Krakatau ligt tussen Java en Sumatra. Voor de uitbarsting bestond dit vulkanische eiland uit drie actieve vulkanen in een oude caldera. De aangeegroeide kegels waren samen 9 km lang en 5 km breed. De toppen waren 800, 450 en 120 meter hoog. De belangrijkste gebeurtenissen in verband met de uitbarsting staan in tabel 2.

De hoeveelheid uitgestoten materiaal wordt geschat op 10 km³ DRE. De meeste as kwam terecht ten noordoosten van de Krakatau, op het zuidelijk deel van Sumatra en in het zuiden in de Indische Oceaan.

Als we de stratigrafie van de Minoïsche uitbarsting van Thera vergelijken met de uitbarsting van de Krakatau, dan lijkt grofweg de plinische fase overeen te komen met de mei-uitbarsting van de Krakatau en de ignimbrische fase (fases 3-5) met de augustus-explosies. Het is daarom aannemelijk dat de plinische fase langer duurde dan de geschatte 1-8 uur en dat de hoogste askolom in de fases 3 en 4 ontstond; in die fases zijn ook de grootste lavablokken uitgeworpen.

De reconstructie van het eiland

Het eiland wordt in essentie op twee manieren gereconstrueerd:

1. als een grote kegelvormige vulkaan, met een hoogte variërend van 700 tot 1800 m (Bond & Sparks 1976; Hédervári 1971);
2. als één of enkele kleinere kegels, gelegen in of aan de rand van een met water gevulde caldera. Vaak wordt een open verbinding met de zee gereconstrueerd (bijv. Friedrich 1994).

Recent onderzoek aan stromatolieten heeft aangetoond dat er voorafgaand aan de uitbarsting een caldera met zeewater geweest moet zijn (Eriksen et al., 1990). Een stromatoliet is een biologische kalksteen, die ontstaat door afzettingen van algen en bacteriën. Dit kan zowel in zout als zoet water gebeuren.

1880-1883	Lichte aardbevingen in de omgeving van de Krakatau.
20-21 mei 1883	Eerste eruptie sinds 200 jaar. De askolom bereikt een hoogte van 10 km. Na afloop is de grond op het eiland bedekt met een laag puimsteen van 0,5 meter.
tot 25 aug. 1883	Rookwolken ontsnappen uit de krater, maar er zijn geen uitbarstingen.
26 aug. 1883	Begin van zware uitbarstingen in de namiddag.
27 aug. 1883	Intensivering van de erupties. De knallen ('kanonschoten') van de explosies zijn zo hevig dat in Batavia (Jakarta) op 150 km afstand het geluid van een echt kanon wegvallt tegen het geweld van de vulkaan. De hardste knal is zo luid, dat deze tot in Australië (op 3000 km) is gehoord. Na dit moment wordt het in westelijk Java (tot en met Batavia) en zuid-oost Sumatra donker als de nacht. Op dit moment ontstaat een tsunami (vloedgolf) met een hoogte van ca. 30 meter. Deze zaait dood en verderf in de Straat van Soenda. Hierna spuit de vulkaan modder en puimsteen. De hoogte van de askolom wordt geschat op 50 kilometer.
28 aug. 1883	Einde van de eruptie. Een groot gat gaapt waar eerst de vulkaan was: een nieuwe caldera onder de zeespiegel.
Sept.-okt. 1883	Kleine erupties.
Jan. 1928	In de calderea komt een nieuwe vulkaankegel boven de zeespiegel uit: de geboorte van Anak-Krakatau (= het kind van Krakatau).

Tabel 2: de belangrijkste gebeurtenissen rond de uitbarsting van de Krakatau in chronologische volgorde.

De gevonden stromatolieten zijn gedateerd middels de ^{14}C -methode, en dateren alle van na de Cape Riva-eruptie. De dateringen moeten beschouwd worden als een terminus post quem met een ruime marge, omdat er veel 'oud' koolstof in zeewater zit, zeker boven op een vulkaan. De stenen zijn dus minder oud dan de gevonden waarden laten zien.

Het bewijs voor de aanwezigheid van zout water wordt echter geleverd door de aanwezigheid van schelpjes op de stromatolieten (*Hydrobia neglecta*, *Pirenella conica*, *Cyprideis turosa*). De gecombineerde vondst van de schelpjes en de stromatolieten kan er op wijzen dat er omslag plaats vond in het leefmilieu. De schelpjes voeden zich namelijk met de algen, die de stromatolieten vormen. De omslag kan geleidelijk hebben plaatsgevonden door indamping. Door de porositeit van de tephra-lagen kan de caldera zich vullen met zeewater. Hoewel het zout waarschijnlijk grotendeels uit het water gefilterd wordt, kan het caldera-water door indamping op den duur

toch zo zout worden, dat er een leefmilieu ontstaat waarin mariene dieren kunnen leven. Een dergelijk proces is waargenomen op het eiland Sal van de Kaapverdische Eilanden. Na de explosie aldaar ontstond een rietmoeras met een rijke fauna. In de loop van de tijd werd het water door gebrek aan neerslag zo zout dat ieder leven onmogelijk werd.

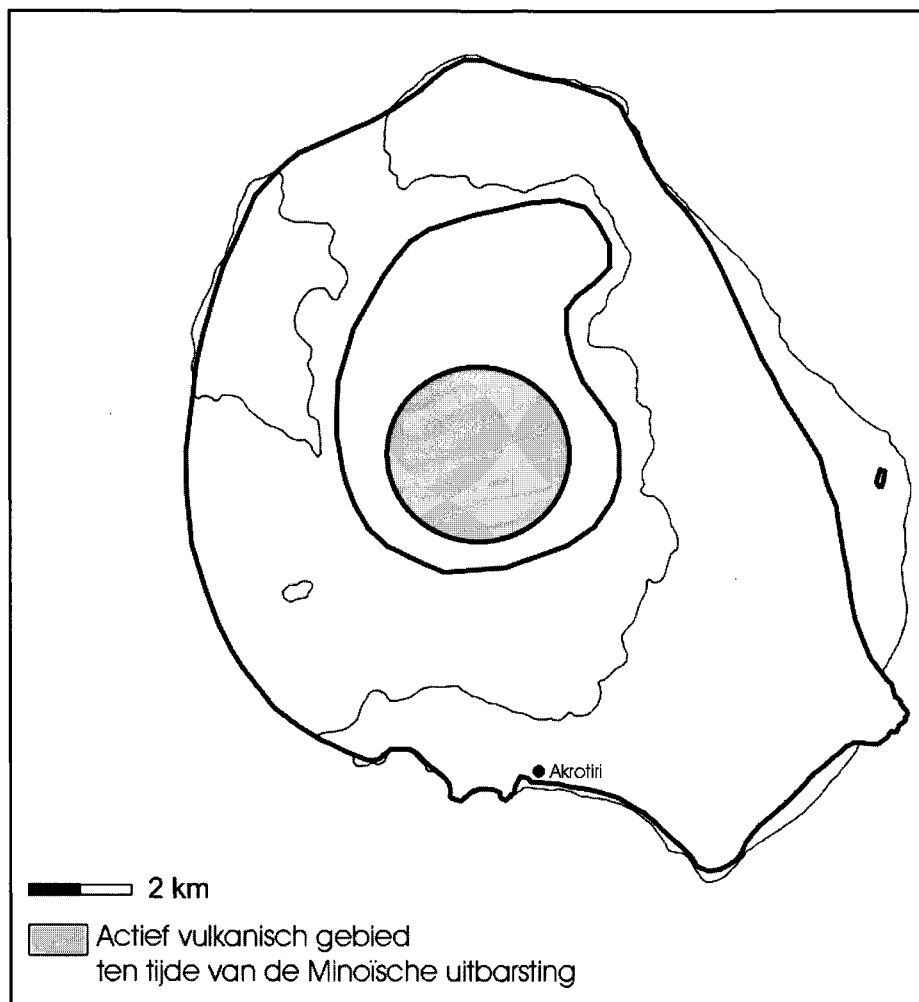
De loop van hoogtelijnen van de zeebodem bij Thera maakt het eerder aannemelijk dat er in het zuid-westen geen doorgang was. De lijnen suggereren dat er een doorbraak geweest moet zijn. Het diepste punt in de caldera is momenteel ca. 400 m; de drempel tussen de caldera en de zee is minder dan 50 m. Als we van de hypothese uitgaan dat er wel een doorgang was, dan moet deze tijdens één van de voorgaande grote explosies zijn gevormd. Toen lag echter de zeespiegel aanzienlijk lager (teruggaand in de tijd respectievelijk 120-130, 110-120 en 140-150 meter). Dit maakt een doorbraak in die periode minder waarschijnlijk. Een bevestiging

van een doorlopende kustlijn zou men kunnen lezen in de aanwezigheid van Minoïsch schervenmateriaal op het eilandje Aspronisi.

Een reconstructie met een doorgang in het noorden is niet voorgesteld, hoewel deze met 200 m veel dieper is. De reden hiervoor is dat er na de Middle Pumice eruptie veel lava-gesteente is afgezet in dat gebied. Een ander argument tegen de aanwezigheid van een doorgang in het zuid-westen is dat de voorafgaande erupties veel kleiner waren (ca. 1/4). De Lower Pumice eruptie is niet relevant, omdat het eiland zich toen nog niet zover uitstrekte naar het westen.

Het genoemde lava-gesteente toont aan dat de noordelijke helft van de caldera in direct contact stond met één of enkele werkende kraters. Pichler en Kussmaul (1980) reconstrueren er drie: Skaros in het oosten, Megalo Vouno in het noorden en Therasia in het westen. Een ander aantal is ook mogelijk; de vorm van de rand geeft hierover geen uitsluitsel. Genoemde kraters moeten ergens in de huidige caldera gelegen hebben. Uitgaande van een symmetrische opbouw betekent dit dat de gehele noordelijke helft gevuld was. De hoogte kan geschat worden op 500-600 m (uitgangspunt is een verhouding tussen de straal en de hoogte van 5:1; maar de verhouding 3:1 komt ook voor, wat een hoogte van 800-900 m oplevert).

De Minoïsche eruptie was aanzienlijk volumineuzer dan de twee voorafgaande. Een caldera van vergelijkbare grootte voor deze erupties is dan ook strijdig met de logica. De Lower Pumice (Bimsstein unterer) eruptie had een volume dat waarschijnlijk groter was dan die van de Minoïsche eruptie. Het is dus aannemelijk dat de caldera gevormd bij de Middle Pumice eruptie kleiner was dan de huidige. In de noordelijke helft van het eiland zijn nadien veel lava-afzettingen gevormd, wat wijst op de aanwezigheid van één of meerdere actieve vulkanen. Daarentegen heeft de Cape Riva (Upper Ignimbrite) eruptie de grootste afzetting in het zuiden, wat wijst op een meer centrale ligging, waarschijnlijk in water. Bij een kleinere caldera moet de rand ervan hoger geweest zijn dan de huidige.



Afb. 3. Voorgestelde reconstructie van Thera voor de Minoïsche uitbarsting. De caldera is een gesloten ring, en kleiner dan de huidige caldera.

Archeologie

De Minoïsche huizen op Thera waren vaak gedecoreerd met muurschilderingen. Door de eruptie zijn deze relatief goed bewaard gebleven. De schilderingen kenmerken zich door levendige afbeeldingen van mens en dier. Vaak wordt er een religieuze achtergrond verondersteld. Er zijn twee fresco's uit Akrotiri waarvan men denkt dat ze een indruk geven van de vorm van het eiland: één is een fragment uit Xeste 3 (gebouw, opgetrokken uit rechthoekige blokken natuursteen), waarop ten minste vier steile bergen worden getoond, begroeid met enkele bomen; het andere is het bekende miniatuur fresco uit het West Huis. Eén van de scènes hierop toont een vloot die aankomt bij een stad op een eiland. De achtergrond van deze stad wordt gevormd door vijf bergen. Dit sluit goed aan bij de boven beschreven reconstructie van het eiland op basis van geologische gegevens.

Conclusie en discussie

De reconstructie van Minoïsch Thera laat zich het best beschrijven door weglating van onmogelijke elementen. De aanwezigheid van zout water in de caldera bewijst dat een hoge centrale kegel als reconstructie afgevoerd moet worden. Andersom, een open verbinding met de zee, zoals in de huidige situatie, lijkt erg onwaarschijnlijk vanwege: 1) te weinig volume aan uitgeworpen materiaal, 2) de in vergelijking met de noord-doorgang beperkte diepte van de zuid-doorgang, en 3) de aanwezigheid van Minoïsche scherven op Aspronisi. We zijn dus gedwongen een gesloten cirkel te reconstrueren. Het meest voor de hand ligt dat de cirkel dikker was dan tegenwoordig; aan de noordkant waren een aantal oude kegels. Voorts kunnen we met zekerheid stellen dat er ongeveer op de plaats van de Kaimeni eilanden in de Minoïsche tijd ook een vulkaan was. Over de precieze invulling van de oude caldera zal wel nooit duidelijkheid ontstaan (Afb. 3).

De afzettingen van de Minoïsche eruptie laten zich goed verklaren door toenemende vochtigheid van het gedeponeerde materiaal. Op grond daarvan zou men tot de volgende associatie tussen gebeurtenissen tijdens de eruptie en de afzettingen kunnen komen:

1. plinische fase: afzetting onderste puimsteenlaag
2. caldera-water stroomt in de krater: eerste phreatomagmatische explosies, waarbij een mengsel van stoom en magmadeeltjes uitgestoten wordt: afzetting witte poederlaagjes
3. doorbraak in het noorden naar de zee: enorme explosies, afbraak kegel; afzetting steeds vloeibaarder lagen met vulkanische bommen
4. intensivering van de ignimbritische explosies; afbraak van de kegel tot onder wateroppervlak (stromatolieten)
5. verdere uitholling van het eiland; doorbraak in zuidwesten: de uitgestoten materialen worden steeds meer vermengd met zeewater.

Dankwoord

Dit artikel is eerder verschenen in: Tijdschrift voor Mediterrane Archeologie 24, 2000. Met dank aan Dick Stapert voor commentaar op de tekst, prof. dr. G.J. Boekschoten voor advies op het gebied van de geologie en Wouter Rosenbaum voor technische assistentie.

Literatuur

- Bond A. & R.S.J. Sparks, 1976. "The Minoan eruption of Santorini." *Journal of the Geological Society*, 1976.1, 1-17.
- Eriksen, U., W.L. Friedrich, B. Buchardt, H. Tauber & M.S. Thomsen, 1990. "The Strongyle Caldera: geological, palaeontological and stable isotope evidence from radiocarbon dated stromatoliths from Santorini", in: *Thera and the Aegean World III*, 139-150.
- Friedrich W. L., 1994. *Feuer im Meer. Vulkanismus und die Naturgeschichte der Insel Santorin*.
- Hédervári P., 1971. "Energetical calculations concerning the Minoan eruption of Santorini", in: *Acta of the first international scientific congress on the volcano of Thera*. 257-276.
- Kuniholm P.I., B. Kromer, S.W. Manning, M. Newton, C.E. Latini & M.J. Bruce, 1996. "Anatolian tree rings and the absolute chronology of the eastern Mediterranean, 2220-718 BC", *Nature* 381, 780-3.

McCoy F.W., 1980. "The Upper Thera (Minoan) Ash in deep-sea sediments: distribution and comparison with other ash layers", in: *Thera and the Aegean World II*, 57-78.

Perissoratis C., I. Angelopoulos & P. Zacharaki, 1990. "Petrographic description of marine sediments from Santorini: evidence for a new submarine hot-spring field in the bottom of the caldera", in: *Thera and the Aegean World III*, 2, 300-311.

Pichler H.S. & Kussmaul, 1980. "Comments on the geological map of the Santorini Islands", in: *Thera and the Aegean World II*, 413-427.

Simkin T. & R.S. Fiske, 1983. *Krakatau 1883. The volcanic eruption and its effects*. Washington D.C.

Verbeek, R.D.M., 1885. *Krakatau*. Batavia.