

TEMANUMMER

Vulkaner, is og klima

- Kan vulkanudbrud påvirke jordens klima?

Kan vulkanudbrud påvirke jordens klima?



Erik Schou Jensen,
Geologisk Museum

Studier i forbindelse med meget store vulkanudbrud har kunnet påvise, at netop sådanne udbrud har indflydelse på Jordens klima, idet de er istand til at reducere gennemsnitstemperaturen på jordoverfladen, en effekt der kan strække sig over flere år efter selve udbruddet.

De fleste mennesker betragter almindeligvis vulkaner som noget farligt og destruktivt. Men paradoksalt nok kan man også betragte vulkaner som noget af det mest kreative på denne jord. Dels er vulkanudbrud vel nok den geologiske proces, der på kortest tid er i stand til at frembringe, endog meget store mængder geologiske dannelser, dels har de vulkanske processer en meget afgørende indflydelse på miljøet på Jorden. For eksempel kan vi takke aktive vulkaner for vor atmosfære og dermed den mest afgørende betingelse for liv på denne klode.

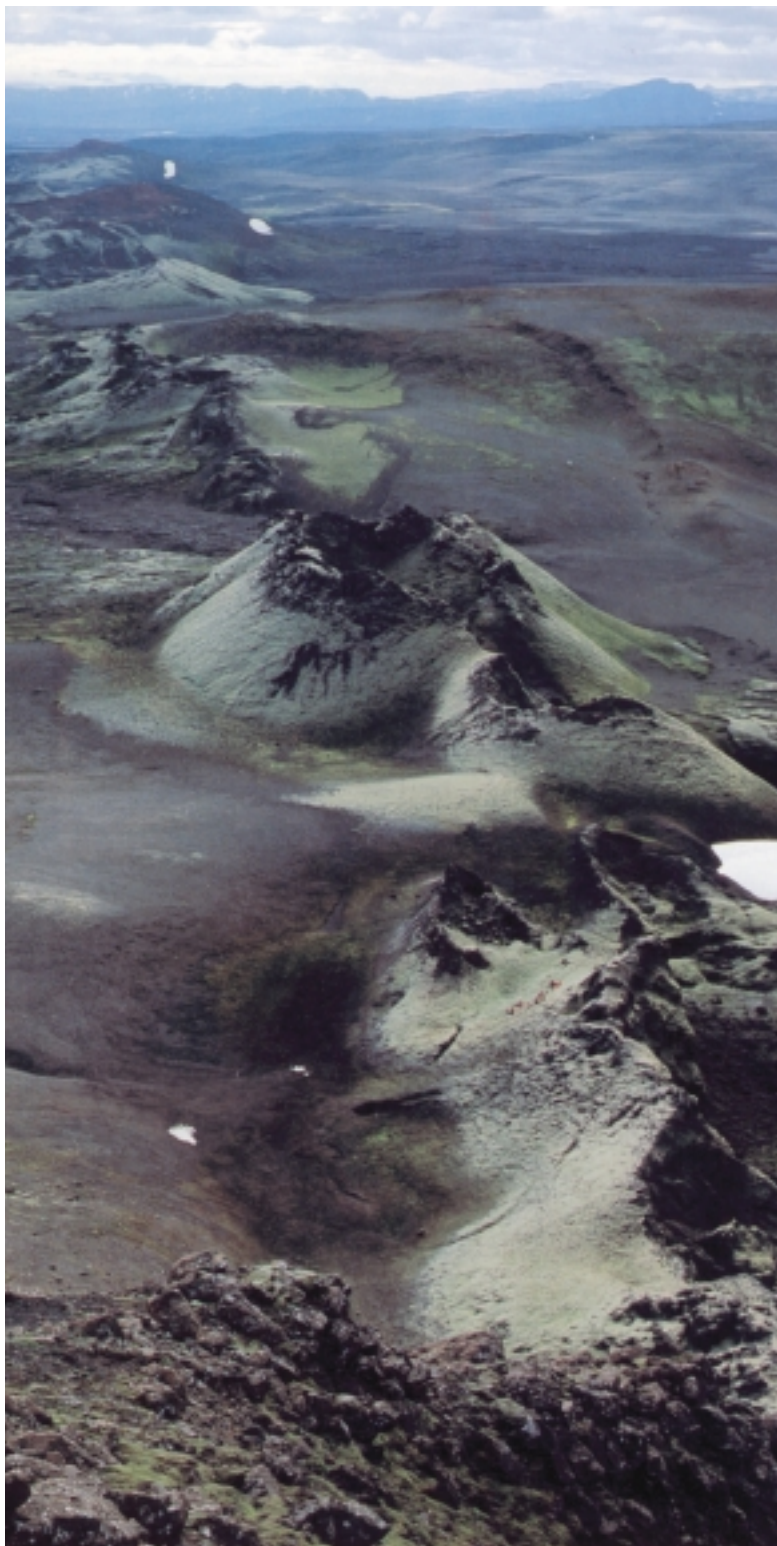
LAKAGIGAR

En del af den 25 km lange kraterrække Lakagigar (Eldborgir) på Island, der opstod ved Lakis udbrud i 1783-84. Udbruddet medførte, foruden de klimatiske virkninger, en miljøkatastofi, hvor giftige svovl- og fluor dampe, blev udviklet ved lavaens størkning. Det er beregnet, at der under lavaens afkøling blev frigjort 12 km³ gasser fra lavaen, heraf omkring 10 million tons svovldioxid (SO₂). Gasserne lå som en blålig tåge over store dele af landet, der dræbte vegetationen og vandløbenes dyreliv. Følgen blev en forgiftnings- og hungerekatastrofi, hvor 50% af hornkvæget og 75% af fårene og hestene omkom, og hvor omkring 20% af Islands befolkning døde af sult. Der blev fremsat forslag om at flytte resten af befolkningen til Vestjylland, hvor man mente, at livsbetingelserne dengang for "uldyderne" ikke var meget forskellig fra forholdene på Island.

Lavaen fra udbruddet dækker et areal på ca. 600 km², omtrent som Bornholms størrelse, og der blev udspjttet den største mængde lava i historisk tid på omkring 14 km³ samt knap 1 km³ aske. Mellem 400 og 500 millioner tons gasser blev udspjttet, og af ca. 140 millioner tons svovldioxid (SO₂), blev der dannet mindst 80 millioner tons svovlsyre (H₂SO₄), der som en dråbesky (aerosol) blev spredt over Europa og det vestlige Asien.

Det er denne "Tørre tåge", der påvirkede vejret på den nordlige halvkugle og medførte den usædvanligt kolde vinter 1783-84, som Benjamin Franklin bl.a. beretter om (se teksten).

Foto: Grétar Eiríksson



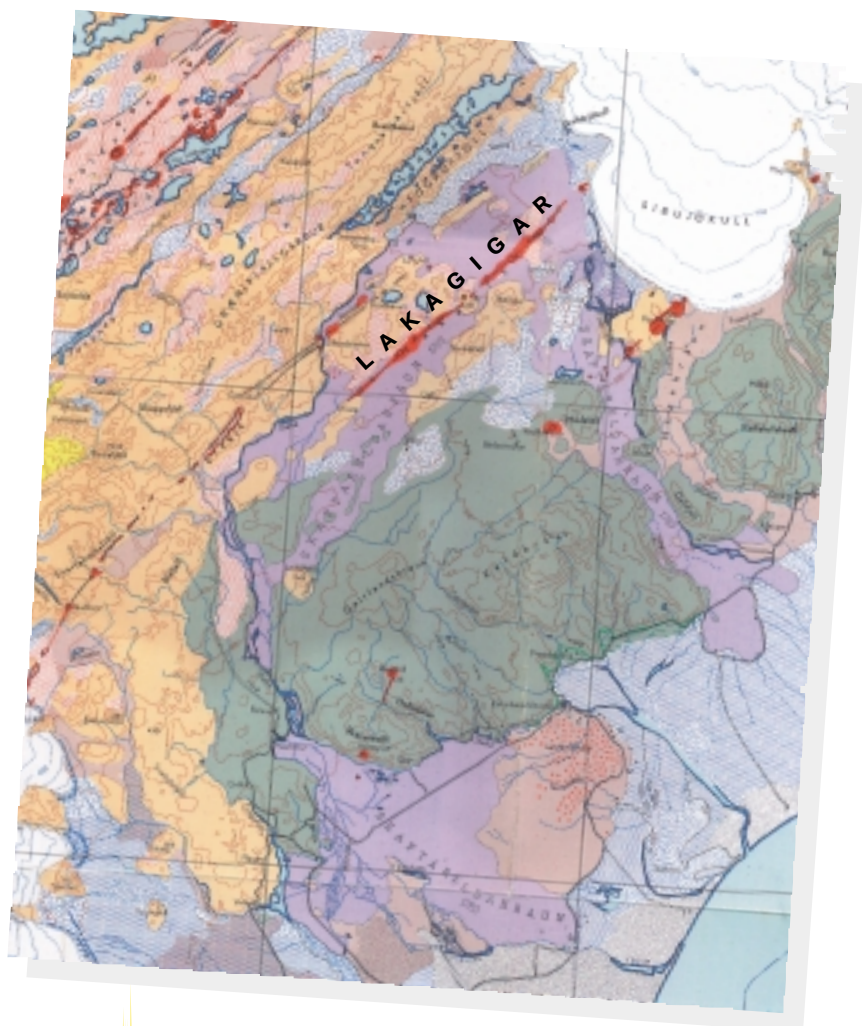
Geologisk kort over Island, som bl.a. viser området på omtrent 600 km², der blev dækket med lavaen fra vulkankraterrekken Lakagigar (Laki) i Island ved det katastrofale udbrud i 1783-84.

Kilde: Guðmundur Kjartansson, 1962: Geological Map of Iceland, 1:250.000, Sheet 6, South-Central Iceland; Museum of Natural History, Reykjavik, Iceland.

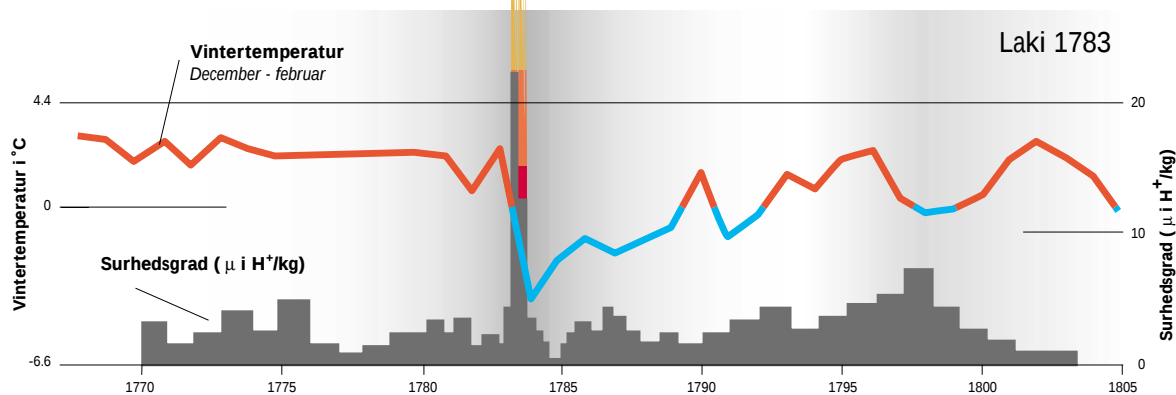
- Lava fra Lakis udbrud i 1783
- Kraterrekken Lakagigar

Benjamin Franklins "Tørre tåge"

Benjamin Franklin (1709-1790) var den første, der erkendte at vulkanudbrud var i stand til at påvirke Jordens klima. Han lagde under et ophold i Paris mærke til, at den "tørre tåge", som i løbet af 1783 kunne erkendes over hele Europa, havde en ejendommelig permanent karakter, idet den ikke påvirkedes af solens varme i løbet af dagen, ligesom den havde en så dæmpende effekt på solindstrålingen, at et brændglas knapt nok kunne påvirke et stykke brunt papir. Han antog, at denne "Tørre tåge", spredt af forskellig vinde, havde forbindelse til et vulkanudbrud på Island, hvor der i Lakagigar, en vulkankraterække netop i 1783 var et meget voldsomt udbrud.



LAKI UDBRUDET



Vintertemperaturer målt af Thomas Jefferson (USAs daværende præsident) for det østlige USA (1767-1805) sammenholdt med variationen af surhedsgraden i isborekernen fra Grønlands Indlandssis. Sigurdsson, H (1982). Volcanic Pollution and Climate: The 1873 Laki Eruption. Eos 63, 601-602



KRAKATAU

Maleri, der skildrer den indledende fase af vulkanen Krakataus udbrud i 1883, inden den eksploderede i et gigantisk udbrud.

En tæt, sort søjle med askeskyer bølger op af krateret og udbrudsmateriale "regner" ned fra askeskyerne. Det gigantiske udbrud resulterede i mere end 36.000 menneskers død og gav anledning til begyndelsen af den moderne vulkanforskning. Skarer af naturvidenskabsfolk tilbragte år med studier af alle aspekter af udbruddet og dets følgevirkninger. Kilde: US Geological Survey.

Han mente desuden, at der var en sammenhæng mellem den tørre tåge og den usædvanlig kolde vinter man oplevede i 1783-84. Vi ved nu, at selvom et andet voldsomt vulkanudbrud samme år på den anden side af Jorden, nemlig af vulkanen Asama i Japan, utvivlsomt kan have medvirket, så er udbruddet i Laki dog sandsynligvis hovedansvarlig for fænomenet.

Året uden sommer

Denne tilsyneladende sammenhæng mellem vulkanudbrud og Jordens klima blev 32 år senere yderligere bekræftet, da det så afgjort største vulkanudbrud i historisk tid fandt sted på den indonesiske ø Sumbawa øst for Java. Udbruddet i vulkanen Tambora på Sumbawas nordkyst varede fra april til midt i juli 1815 (se diagrammet side 5). I denne periode sendtes ved talrige udbrud,

150 km³, svarende til 17 mill. tons vulkansk aske og gas mere end 40 km til vejrs. De-tonationerne, som på udbruddets første dag blev forvekslet med fjern kanontorden, til stor uro for de europæiske handelskolonier på Java og Celebes h.h.v. 320 og 1200 km borte, kunne høres på øen Mauritius i Det Indiske Ocean mere end 2.600 km borte.

Da udbruddet efter tre måneder stilnede af var den 4.000 m høje Tamboravulkan blevet reduceret med en 1/3 og en 6 km bred og 1100 meter dyb indsykning, en såkaldt caldera var dannet i vulkanens top. Mere end 10.000 mennesker havde mistet livet på Sumbawa og de omliggende øer, enten ved selve vulkanudbruddet eller ved de jordskælv og tsunamier (flodbølger) som ledsagede udbruddet. Endnu 82.000 skulle

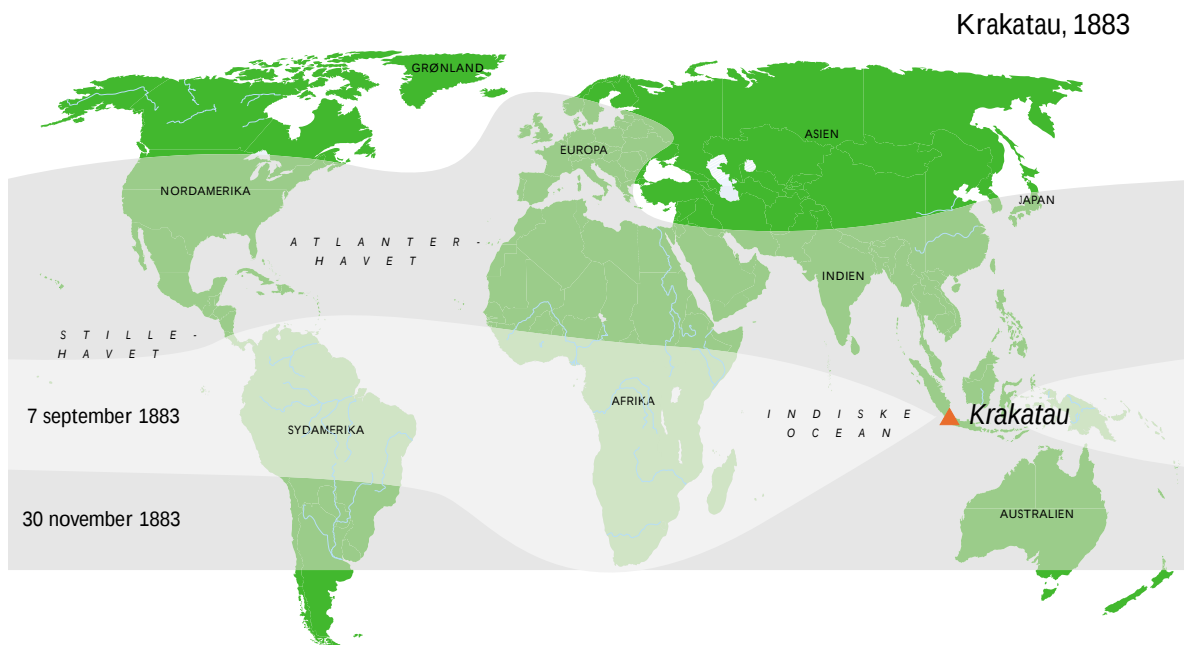
omkomme, som følge af hungersnød og sygdomme, der fulgte i kølvandet på dette gigantiske vulkanudbrud.

Den vulkanske aske fordelte sig fra Timor i øst til Sumatra i vest og til Borneo og Celebes i nord, et areal på mere end 2,5 millioner km²; men den klimatiske effekt dækkede stort set hele den nordlige halvkugle. Således slog vinhøsten fejl i Frankrig det år og kornhøsten 1816 blev en katastrofe. I London registrerede man sommertemperaturen i 1816 til at være 2-3°C under det normale. I Nordamerika sneede det over hele New England i juni måned, og nattefrost ødelagde i august de fleste haver i Connecticut. Stadig lever i Grønland sagnet om det år (1816), hvor det aldrig blev sommer.

Ingen så dengang nogen sammenhæng mellem disse kulderekorder og Tamboras udbrud; Benjamin Franklins betragtninger 33 år tidligere var glemt.

Krakatau 1883

Ved Tamboras udbrud registrerede man i en periode efter udbruddet for første gang en række spektakulære optiske fænomener. Blandt andet de meget smukke røde solnedgange, som kunne iagttages over det meste af datidens verden, uden at man dog dengang forbandt disse med Tambora. Først 67 år senere blev tilsvarende solnedgangs-fænomener sat i forbindelse med et andet af århundredets store vulkanudbrud, nemlig udbruddet af vulkanen Krakatau i Sundastrædet mellem Sumatra og Java august 1883. Ved udbruddet, hvor talrige voldsomme eksplosioner sendte 18 km³ vulkansk aske og pimpsten op i en højde af 45 - 50 km, kunne trykbølgerne fra eksplosionerne registreres på deres vej flere gange rundt om Jorden. 36.400 mennesker



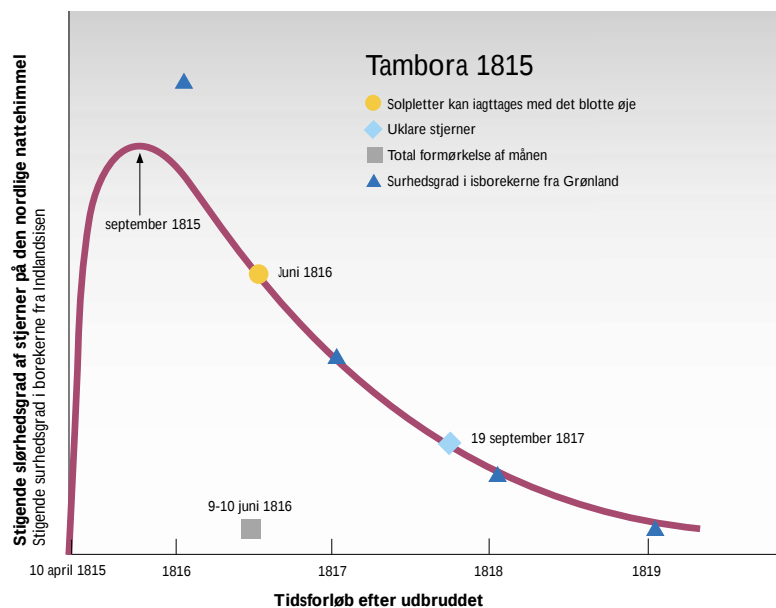
Figuren viser den gradvise spredning af udbrudsskyen rundt om Jorden fra vulkanen Krakatau i Sundastrædet mellem Sumatra og Java i det nuværende Indonesien, d. 7. september (to uger efter udbruddet) og d. 30. november 1883.

Figureerne er sammenstillet af Royal Society på baggrund af øjenvidneskildringer af atmosfæriske fænomener

omkom, først og fremmest på grund af de tsunamier, som opstod i forbindelse med udbruddet, og som strippede Sundastrædet helt op til en højde af 20-30 m. 165 landsbyer blev skyllet i havet og 132 blev delvis ødelagt.

En af de mange effekter man registrerede efter Krakataus udbrud var en reduktion af solindstrålingen på Jorden, og en heraf følgende reduktion af gennemsnitstemperatur ved jordoverfladen. Målingerne var dog endnu for usikre og værdierne for små til at man kunne skelne dem fra den almindelige variation på ca. 0,2°C. Finfordelt støv, som i forbindelse med de voldsomme eksplosioner i Krakatau blev slynget helt op i stratosfæren, mere end 35 km til vejrs, blev indtil for små 20 år siden betragtet som værende hovedårsagen til disse optiske- og temperaturmæssige fænomener.

Først tidligt i 1980'erne blev det påvist, at der ikke var tale om vulkansk støv, men i virkeligheden mikroskopiske dråber af svovlsyre (H_2SO_4). Denne langtidsvarende, finfordelte dråbesky (aerosol) i stratosfæren, tilbagekastede solens stråler og



Diagram, der viser udviklingen med aftagende tilslørning af himmellegemer, som kunne iagttages i tidsrummet fra Tamboras udbrud i 1815 frem til slutningen af 1818. Sløringen skyldtes den aske- og svovlholdige udbrudssky fra vulkanen. Også den med tiden aftagende surhedsgrad i isborekerne fra Indlandsisen er vist.

Fra Stothers, R.B. (1984). The Great Tambora eruption in 1815 and its aftermath. Science 224, 1191-98.



PINATUBO

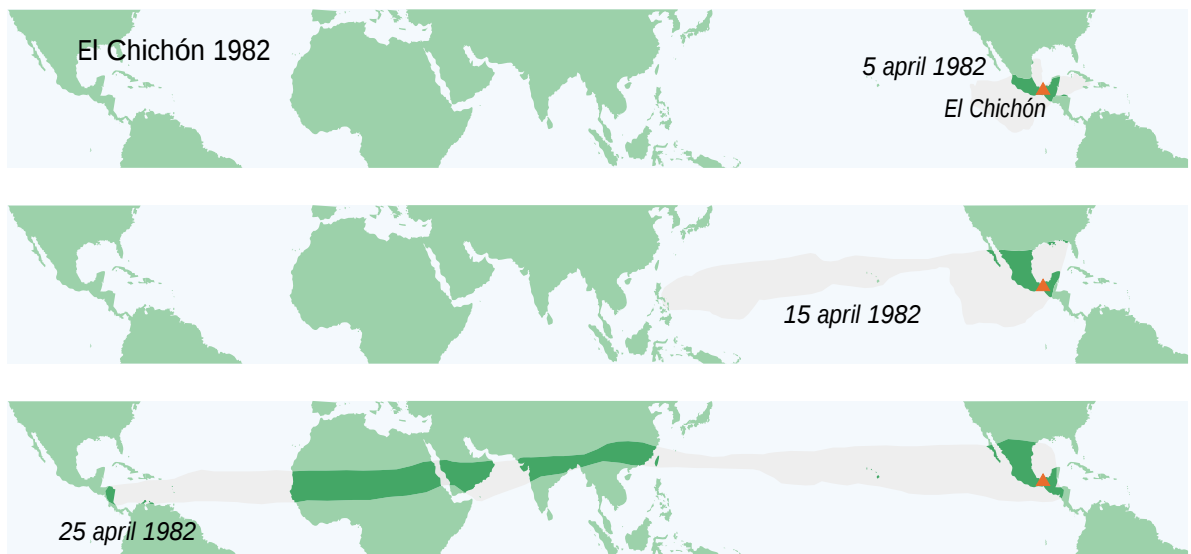
Askeskyen fra udbruddet af den ca. 1600 m høje vulkan Pinatubo på Luzon i Filippinerne. Pinatubos eksplosive udbrud i juni 1991 betragtes som det 3. største vulkanudbrud i det 20. århundrede. Alligevel er det kun et forholdsvis lille udbrud i forhold til Pinatubos 12 tidligere udbrud inden for de sidste 35.000 år. Disse udbrud var alle voldsomme og eksplosive med lang tids pause imellem. Den sidste pause var dog kort, "kun" 500 år. Takket være en hurtig og effektiv indsats fra de filippinske myndigheds side med evakuering af 60.000 mennesker omkring vulkanen, krævede Pinatubos udbrud i 1991, trods sin størrelse, kun få dødsopfre, ca. 300; især sammenlignet med andre katastrofer i forbindelse med vulkanudbrud, fx Mt. Pelé i 1902 med 33.000 døde, og Krakatau i 1883 med 36.000 døde. Foto: POLFOTO/Romeo Gacad.

medførte derfor en reduktion af solenergi-indstrålingen på Jorden, samtidig med at solstrålerne ved lysbrydning i dråbeskyen

ved solnedgang fremkaldte forskellige optiske fænomener på aftenhimlen.

El Chichón 1982

Indtil 1982 var El Chichón blot en mindre ret upåagtet vegetationsdækket vulkan i det sydlige Mexico med en højde på små 1260 over havet. Men i slutningen af marts 1982 overraskede den imidlertid de fleste vulkanologer ved et voldsomt eksplosivt udbrud, hvor udbruddet efter 5 dage med intens eksplosiv aktivitet, den 4 april gik over i tre på hinanden følgende gigantiske såkaldt pliniske udbrud. Denne fase varede



Udtegnin fra satellitbilleder med udviklingen af udbrudsskyen fra den mexicanske vulkan El Chichóns udbrud i april 1982. Udbredelsen af skyen er vist på 3 udvalgte datoer. Hastigheden af den vestlige drift er målt til 20 meter pr. sekund. Spredningen mod nord og syd er begrænset af atmosfæriske cirkulationsmønstre.

Rampino, M.R og Self, S. (1984): The Atmospheric effect of El Chichón. Scientific American 250, 48-57

PINATUBO

Vulkanen Pinatubo på Luzon i Filippinerne i udbrud d. 12 juni 1991. Askesøjens højde er her 23 km. Det sidste og voldsomste udbrud kom 3 dage senere d. 15 juni. Det rejste en 34 km høj paddehatformet askesky med et 400 km bredt overhæng.

De udslyngede aske- og gasmængder var på i alt 5 km³ eller 30 millioner tons, heraf omtrent 20 millioner tons svovldioxid (SO₂).

Udbrudsprodukterne, som blev slynget op i stratosfæren, bevirkede at der kom nogle meget smukke solnedgange i efteråret 1991 med et farveorgie i gult, orange og violette farver på den vestlige himmel, der kunne opleves på den nordlige halvkugle, også i Danmark.

Foto: US Geological Survey.



varade 15 timer, hvor vulkanen per sekund sendte 60 tons aske og pimpsten 26 km til vejrs. Ved udbruddet blev i alt 1 km³ aske blæst ud af vulkankrateret, dobbelt så meget som fra Mt. St. Helens 2 år tidligere.

El Chichón's udbrud er vigtig i klimamæssig sammenhæng, idet det var det første udbrud, hvor den atmosfæriske effekt blev studeret med moderne måleudstyr, både på jorden og fra rummet. Mt. St. Helens i det nordvestlige USA fik megen presseomtale, men dens atmosfæriske effekt var ubetydelig. El Chichóns klimatiske effekt var langt mere vidtrækkende, ikke fordi det var et exceptionelt stort udbrud sammenlignet med Tamboras 17 mill. tons aske svarende til 150 km³, men fordi dens tefra (det udkastede materiale i forbindelse med udbruddet) indeholdt op til 2 vægtprocent sulfater, nogle i form af SO₂ gasser, andre af Anhydrit (CaSO₄), et mineral der almindeligvis ikke findes i vulkansk aske, men derimod i inddampningsbjergarter i forbindelse med saltafsætninger. At anhydrit ikke tidligere var beskrevet i vulkansk pimpstensaske, skyldes givetvis at Anhydrit ikke er særlig bestandig og let udvaskes.

En sky af svovlsyre

Fænomenet med kraftig rødfavning af aftenhimlen gentog sig i 1991. Mange vil sikkert stadig huske de smukke solnedgange, man igen kunne opleve i efteråret 1991 og foråret 92. Cirka 15 minutter efter at solen

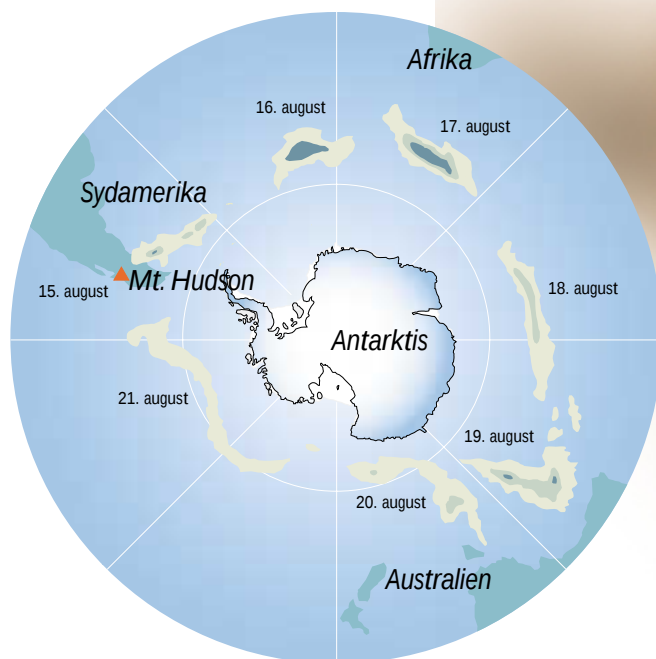
var gået ned, flammede vesthimlen pludseligt op et i fantastisk farveorgie i gult, orange, rødt og violet, ofte inddelt i tydelige zoner på himlen. De smukke solnedgange skyldtes denne gang vulkanen Pinatubo på Luzon i Filippinerne og dens meget eksplosive udbrud i juni 1991. Et udbrud som er blevet betegnet som et af de voldsomste vulkanudbrud i det 20. århundrede. Pinatubo sendte ikke mindre end 5 km³ vulkansk aske og gas godt 23 km op i stratosfæren. Pimpstenen fra Pinatubos udbrud viste sig ligesom El Chichóns aske at indeholde anhydrit (CaSO₄). Pinatubo udkastede hen ved 10 millioner tons aske, tillige med store mængder gasformigt svovl, som ved satellitobservationer blev anslået til 20 millioner tons svovldioxid (SO₂).

Svovls opførsel i forbindelse med vulkansk aktivitet er meget kompleks, afhængig af temperatur, tryk og iltningstrin, dvs. mængden af ilt i svovlforbindelserne, i magmaet. Svovl kan således eksistere både i reduceret (sulfid) og i oxideret form (sulfat) og endda på fire forskellige måder, nemlig opløst i silikatsmelten, som en ublandbar sulfidsmelte, i en særlig gasfase eller i forskellige sulfid- og sulfatmineraler. Svovls opløselighed i et magma afhænger af dets indhold af jern. Indholdet af jern er almindeligvis omvendt proportionalt med svovlindholdet, dvs. jo mere jern desto mindre svovl.

Derfor knyttede de fleste undersøgelser af svovls opførsel i vulkanske systemer sig før 1982 særligt til de reducerende betingelser, hvorunder sulfider almindeligvis forekom, og som navnlig knytter sig til de store lavamængder, som trænger frem langs midt-oceanryggenes spredningszoner, fx på Island. Derimod havde man meget lidt kendskab til de oxiderende miljøer, som viste sig være fremherskende i den anden ende af lithosfærepladerne, hvor oceanbundspladen, glider ned under en modstående plade. Det indbyggede vand i den nedglidende oceanisk lithosfæreplade medvirker, i en dybde af 100-150 km, til en delvis opsmeltning af den overliggende lithosfæreplade med dannelsen af et magma, som eksplosivt trænger frem i underskydningszonevulkaner som fx Tambora, Krakatau, Mt. St. Helens og El Chichón. Det høje vandindhold er desuden ansvarlig for de oxiderende forhold i smelten som medfører dannelsen af sulfatmineraler som anhydrit og svovldioxid i gasform.

Eksperimentelle undersøgelser har vist at silikatsmelter under oxiderende betingelser kan opløse over 0,5 vægtprocent svovl hvilket er mere end dobbelt så meget svovl som kan opløses under reducerende betingelser.

Det er forklaringen på, at vulkaner knyttet til underskydningszonerne, fx langs Stille-



Den daglige bevægelse og udvikling af dråbeskyen fra vulkanen Mt. Hudson i det sydlige Chile mellem den 15. og 21. august 1991. Skyen dækkede et areal på 270.000 km² og indeholdt 250 mill. kg SO₂. Den enorme sky blev dannet ved en enkelt eksplosion.

Udtegnet på baggrund af optagelser fra Nimbus-7 vejr satellitten

35 Kilometer

30

Stratosfæren

25

20

Tropopausen

havet i "The Ring of Fire", ved deres eksplosive udbrud, er i stand til at sende svovlgasser som SO₂ og H₂S helt op i stratosfæren, hvor de reagerer med (OH⁺) ioner, dannet ved spaltning (photodissociation) af vanddamp i den øvre atmosfære. Ved en kemisk reaktion som ikke er helt klarlagt dannes fine dråber af svovlsyre, en dråbesky, aerosol, som er i stand til at tilbagekaste en del af solens varmestråling og dermed reducere temperaturen ved jorden med 0,5°-1°C.

Svovlindholdet er derfor nøglen til den klimatiske effekt af et vulkanudbrud. Svovlindholdet i magmaer, dannet i forbindelse med underskydningsvulkanisme, kan dog variere en del, hvorfor effekten af forskellige vulkanudbrud i "The Ring of Fire" kan være ret uensartet. For eksempel havde det store udbrud af Mt. St. Helens i 1980 næsten igen klimatisk effekt på grund af det forholdsvis lave SO₂ indhold i asken, hvori- mod El Chichónudbruddet trods mindre dimensioner, men med langt større SO₂ indhold, havde en klar klimatisk effekt.

Spredning af akse og dråbeskyer; Vulkaners eksplosivitetsindex

En anden afgørende faktor for et vulkanudbruds klimatiske effekt er naturligvis den eksplosivitet, hvormed udbruddet finder sted. Man taler ligefrem om forskellige vulkaners eksplosivitetsindex (VEI) Volcano Explosivity Index.

De voldsomme vulkanudbrud, som Tambora, Krakatau, El Chichón, med et højt VEI sendte aske, støv og gas 30 - 40 km til vejs

15

10

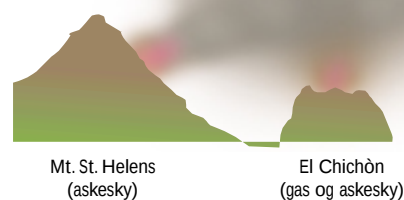
Troposfæren

5

På figuren er skematisk vist to forskellige udbrudstyper.

Til venstre ses Mount St. Helens udbrud i 1980, der næsten udelukkende udspyede aske, der nåede op i Troposfæren, og flydende lava på jordoverfladen.

Til højre ses vulkanen El Chichón i Mexico, hvis eksplosive udbrud i 1982 udspyede aske og store mængder gasser især svovlholdige gasser, der dannede en dråbesky (aerosol) af svovlsyre (H₂SO₄), der nåede helt op i Stratosfæren. Den følgende nedsatte indstråling fra solen til jordoverfladen bevirkede en sænkning af årets gennemsnitstemperatur med 0,5° C.



Mt. St. Helens
(askesky)

El Chichón
(gas og askesky)

MOUNT ST. HELENS

Askeskyen fra det eksplosive udbrud d. 22. juli 1980 af den 2550 m høje vulkan Mount St. Helens.

Skønt det eksplosive udbrud dannede en askesøjle på 14 km, var dets energi omkring 100 gange mindre end det berømte horisontale udbrud d. 18. maj samme år, der sprængte toppen og den nordlige flanke af vulkanen bort. Ved udbruddet blev der produceret omtrent $1/2 \text{ km}^3$ aske. Vulkanen ligger i den sydlige del af staten Washington i USA.

Foto: USGS

helt op i Stratosfæren. Disse havde en langtidseffekt på 3-5 år, medens andre vulkanudbrud som Laki i 1783 med et lavere VEI, kun påvirkede Troposfæren.

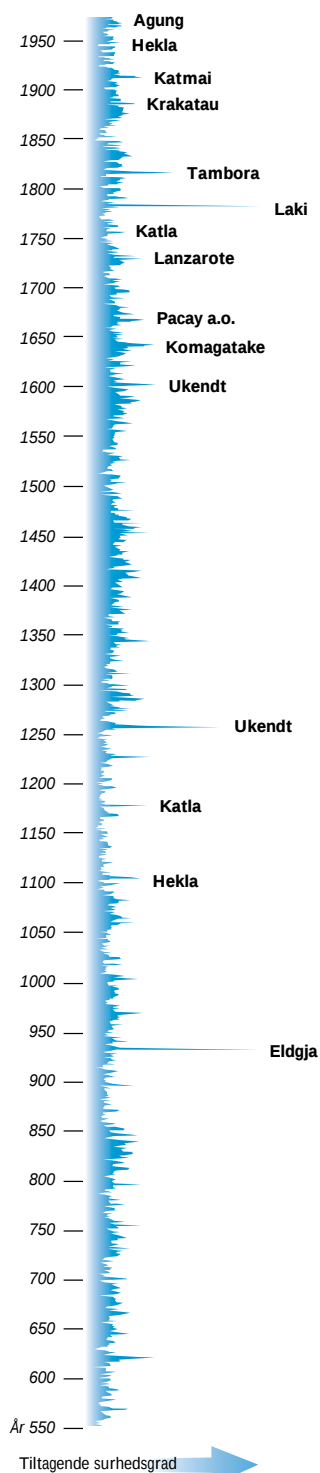
Således aftog Benjamin Franklins "Tørre tåge" relativt hurtigt, idet den tilsidst blev vasket ud af vandrende atmosfæriske vejrsystemer (cykloner).

Når Laki udbruddet, trods det at dens lavafontæner så langt fra nåede stratosfæren, alligevel havde en markant klimatisk effekt, skyldtes det udbruddets intensitet og usædvanligt lange varighed på næsten 5 måneder.

Endelig har vulkanernes placering med hensyn til breddegrad tydeligt en betydning for udbrudsskyens fordeling i Stratosfæren. Alle tre pliniske udbrud ved El Chichóns udbrud sendte gas og støv højt op i stratosfæren. Den sidste og største kunne man på satellitter følge mens den spredte sig vestpå med en hastighed på 20 meter i sekundet. Det meste af skyen forblev dog syd for 30 nordlig bredde. Vejrsatellitter kunne registrere at SO_2 indholdet i skyen fra El Chichón var på 3,3 millioner tons gas, der i løbet af de første 3 måneder blev omdannet til svovlsyre. 20 dage efter udbruddet var skyen nået hele vejen rundt om Jorden i et 75-150 km bredt bælte.

Mt. Pinatubo udsendte under sit udbrud i juni 1991 mere end 5 km^3 aske og gas, 6 gange så meget som blev sendt ud af El Chichón, men udbrudsskyen havde et andet forløb i stratosfæren idet den i løbet af relativ kort tid fordelte sig mod vest og dækkede efter en måned hele den nordlige halvkugle. Et lidt mindre men tilsvarende





Udbrud År	VEI	Magma mængde km ³	Udbruds- søjle højde km	H ₂ SO ₄ aerosol fra optiske data kg	H ₂ SO ₄ aerosol fra iskerne data kg	Temperatur sækning på den nordlige halvkugle °C
Tambora Sumbawa-øen, 1815	7	>50	>40	2 x 10 ¹¹	1.5 x 10 ¹¹	0.4 - 0.7
Krakatau Sumatra 1883	6	>10	>40	5 x 10 ¹⁰	5.5 x 10 ¹⁰	0.3
Santa Maria Guatemala 1902	6	c. 9	>30	< 2 x 10 ¹⁰	2 x 10 ¹⁰	0.4
Katmai Alaska 1912	6	15	>27	< 2 x 10 ¹⁰	3 x 10 ¹⁰	0.2
St. Helens Washington USA 1980	5	0.35	22	c. 3 x 10 ¹⁰		0 - 0.1
Agung Indonesien 1963	4	0.3 - 0.6	18	1 - 2 x 10 ¹⁰		0.3
El Chichón Mexico 1982	4	0.3 - 0.35	26	1 - 2 x 10 ¹⁰		0.4 - 0.6
Laki Island 1783	4	0.3 (aske)			<1 x 10 ¹¹	c. 1.0

Tabel, med nogle store historiske vulkanudbrud på den nordlige halvkugle, der viser størrelsen af udbruddet med magmamængder i km³, højde på udbrudsskyen i km, omfanget af den stratosfæriske dråbesky (aerosol) i kg samt effekten på temperaturen i °C. Data fra Rampino and Self (1984).

udbrud i vulkanen Hudson i det sydlige Chile, bevirkede tilfældigvis, at også den sydlige halvkugle blev dækket af en dråbesky af svovlsyre i løbet af sidste halvdel af 1991. En dråbesky dannet ved et vulkanudbrud på en af jordens halvkugler vil altså ultimativt i løbet af en månedstid påvirke hele den pågældende halvkugle. Dråbeskyer fra vulkaner placeret i tropenerne spredtes til både nordlige og sydlige bredder, mens dråbeskyer fra udbrud uden for tropenerne (20° bredde) har meget vanskeligt ved at brede sig ind over den modsatte halvkugle.

Diagrammet viser variationer i surhedsgraden målt i isborekerne fra Grønlands Indlandsis. Udslagene på diagrammet viser koncentrationen af svovlsyre (H₂SO₄) forårsaget af dråbeskyer (syreaerosoler) fra historiske vulkanudbrud. Adskillige udslag kan sættes i forbindelse med kendte vulkanudbrud, andre er mere tvivlsomme. Syrekoncentrationen er målt med hensyn til H⁺ ioner pr. kg. Det viste udslag ved 1601 fra en ukendt vulkan kan være et stort udbrud fra en vulkan i Andesbjergene, Huynaputina i Peru.

Fra Hammer et al./1980). Greenland Icesheet evidence and postglacial volcanism and its Climatic Impact. Nature 288, 230-5.

Et forhold som også afspejler sig i isborekernerne for Grønlands indlandsis.

Arkivet i Indlandsisen

Kun seks ikke islandske vulkanudbrud kan ses i de grønlandske isborekerner: Agung 1963; Katmai 1912; Krakatau 1883; Tambora 1815; Thera (Santorini) 1645 f.kr. og Mazama, Japan 7000 f.kr.

Mens de geografisk tættere placerede islandske vulkaner er rigt repræsenteret, på trods af at deres tefra sjældent når stratosfæren. Det er altså ikke alle vulkanudbrud der indlemmes i det vulkanarkiv, som den grønlandske indlandsis er. Vulkanudbruddene registreres her i form af pludselige variationer i surhedsgrad (pH-værdi) svarende til den syrerregn, der er en følge af svovludslippet i forbindelse med vulkanudbrud, i særlig grad fra de store eksplosive vulkanudbruds dråbesky af svovlsyre. Årsagen til at ikke alle vulkanudbrud forskellige steder på Jorden er repræsenteret skyldes, at de opståede dråbeskyer af svovlsyre ikke fordeler sig jævnt over kloden, men efter et mønster bestemt af de vindsystemer,

Et kig ned i Pinatubos eksplosionskrater kort tid efter udbruddet i 1991. Der har dannet sig en kratersø, hvorfra det stadig damper og ryger.

Foto: POLFOTO/AFP.



der hersker i Stratosfæren. Den klimatiske effekt af svovlsyre-aerosoler dannet ved vulkanske udbrud, der kan være stabile i flere måneder eller år, er derfor i første omgang begrænset til visse dele af Jorden. Alligevel ser vi, at den, om end ringe, afkøling som kan måles på jordoverfladen, ofte er jævnt fordelt på den ene eller den anden af de to jordhalvkugler. Afkølingen må således være et resultat af en indirekte snarere end en direkte klimatisk forstyrrelse (perturbationer).

Den klimatiske effekt

De her omtalte store vulkanudbrud synes at have medført et temperaturfald på 0,2–0,5 °C. Tambora i 1815 har sandsynligvis haft en effekt helt op til 1 °C. Det samme gælder Laki 1783. Men den klimatiske effekt i forbindelse med vulkanudbrud kan imidlertid være vanskelig at måle helt nøjagtigt, idet flere andre faktorer som

påvirker klimaet værdimæssigt ligger tæt på de nævnte værdier. Disse andre faktorer fx drivhuseffekten eller variationer i solindstrålingsintensiteten forårsaget af solpletaktivitet, vil i visse tilfælde virke i modsat retning. Pinatubos umiddelbare klimaind-flydelse kunne i først omgang kun registreres indirekte, ved at netop drivhuseffekten i årene 1991-94 var næsten borte.

Den stratosfæriske dråbesky fra Pinatuboudbruddet, som bredte sig ud over den nordlige halvkugle bistået af vulkanudbruddet i Hudson på den sydlige, bevirkede global afkøling på jordoverfladen på ca. 0,5 °C i årene 1992-94, tilstrækkeligt stor til at kunne skelnes fra den naturlige variation på 0,2 °C.

Nogle observationer tyder på, at store vulkanudbrud også kan have indflydelse på ozonlaget ved polerne, samt spille sammen med en anden af de store klimafænomener

“El Nino”. Koblingen kan være tilfældig, men flere observation synes at vise, at El Chichón dråbeskyen kan have været trigger for den store “El Nino” klimabegivenhed 1982-83, som netop da var under udvikling i Stillehavet

Fremtidige vulkanudbrud vil givetvis, som tidligere sende aske og gas op i stratosfæren, med dannelse af en syredråbesky, der også i fremtiden vil indvirke på Jordens klima. Hvor stor denne effekt i det enkelte tilfælde vil blive, vil derimod være vanskelig at sige, fordi det afhænger af samspillet mellem mange faktorer. Men efterhånden som man får bedre og bedre klimamodeller at arbejde med, vil man få bedre mulighed for at komme tættere på de processer, som påvirker vort klima og dermed også, hvor meget Jordens vulkaner i virkeligheden betyder for klimaudviklingen. 



Erik Schou Jensen er cand.mag. i Geologi fra Københavns Universitet (1965). Han har været ansat som lektor ved Geologisk Institut (1966-1981) og siden 1981 ved Geologisk Museum, begge Københavns Universitet. Han har udført geologisk feltarbejde i Grønland og Sydnorge siden 1965, hvor han hovedsagelig har arbejdet med vulkanske bjergarter. På Geologisk Museum har han medvirket ved udarbejdelse af udstillinger og anden udadvendt formidlingsvirksomhed, herunder undervisningen af skoler og andre institutioner, der besøgte Museet.

Vulkaner, is og klima

Oplysninger, der kan trækkes ud af iskerner fra borerer på Grønlands Indlandsis, har været en vigtig kilde til bestemmelse af alderen af både forhistoriske og historiske vulkanudbrud samt vist noget om udbredelsen af udbudsprodukterne, især svovlsyreholdige dråbeskyer (aerosoler) på den nordlige halvkugle. Indlandsisen er således et vigtigt "arkiv" at ty til, når man vil undersøge fx klimaudviklingen eller vejrliget i bestemte tidsperioder og om vulkansk aktivitet eventuelt har haft betydning for sådanne klimavariationer.

GEUS samarbejder med forskere både nationalt og internationalt og har medvirket ved en række studier af Indlandsisen og andre iskapper og gletchere på Grønland.

Man kan læse mere om nogle af disse undersøgelser og resultaterne i to tidligere udgivne temanumre af GEOLOGI nyt fra GEUS:

Kan downloades fra:

www.geus.dk/publications/gen-info-dk.htm#top

Læs videre om vulkaner på:
<http://vulcan.wr.usgs.gov>
<http://volcano.und.nodak.edu>
<http://www.norvol.hi.is>



Temanummer:
IS OG ENERGI
nr. 5 december 1996

Temanummer:
Iskappen der forsvandt og genopstod
nr. 2 september 1998

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionens hovedformål er at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland samt udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer

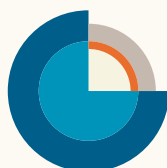
GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af seniorgeolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS
Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.
Tlf.: 38 14 20 00
Fax.: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Hjemmeside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.: 63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:
GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:
Henrik Klinge Pedersen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Lavafontæner og lavastrømme. Krafla på Island, januar 1981, Fotograf: Òmar Ragnasson

Illustrationer: Henrik Klinge Pedersen.