

Nyt magma under Yellowstone

- InSAR-målinger viser et flydende kammer

Af geolog Steen Laursen, *GeologiskNyt*

Yellowstone er et aktivt vulkansk område i Wyoming, hvilket bl.a. viser sig ved en omfattende hydrotermal virksomhed. Ved at måle hævnings og sænkninger af Yellowstone-kalderanens bund, vha. InSAR, har det været muligt at lave en model af nogle af de aktive magmakamre under området.

Yellowstone kalderaen i Wyoming er det seneste vulkanske området, som er dannet af en hotspot, der har ligget under det Nordamerikanske kontinent i 17 millioner år. I dag er området berømt for sin voldsomme hydrotermale aktivitet, som er et ydre tegn på, at der endnu er et aktivt magma under kalderaen. For at undersøge hvordan magmaet bevæger sig under kalderaens bund, har en gruppe forskere fra US Geological Survey undersøgt området med InSAR-radar, da det giver mulighed for at se, hvor og hvornår bunden hæver og sænker sig (InSAR-radaren er beskrevet i den efterfølgende artikel).

2 millioner aktive år

I 1872 oprettede den amerikanske kongres Yellowstone National Park som verdens første nationalpark, for at beskytte områdets natur mod mineralefterforskning og tømmerhugst. I begrundelsen for fredningen fremhævede man områdets gejsere, dets canyon og forstenede skov samt Yellowstone Lake. Der var altså tale om en fredning af en geologisk lokalitet.

Yellowstones særlige geologi er skabt af den gamle hotspot, som har dannet en række kratere langs en linie, der løber igennem dele af Oregon, Idaho og Wyoming. Det rhyolitiske Yellowstone plateau ligger gennemsnitligt i 2400 meters højde og markerer den aktuelle placering af hotspotten, medens den basaltiske Snake River Plain vest for parken viser hotspottens vej fra vest mod øst ind under det nordamerikanske kontinent.

I de sidste 2 millioner år har der været 3 store udbrud i Yellowstone, og de har alle fulgt den samme cyklus. Først steg et basaltisk magma op fra hotspotten i kappen til den nedre del af skorpen. Her smeltede



Vulkanisme i Yellowstone viser sig bl.a. ved en omfattende hydrotermal aktivitet. Her er det terrasser af silikater, som er afsat af vand fra undergrunden. (Fotos: Dorte Dam)

det den nederste del af skorpen, og denne nye smelte trængte videre op og dannede et stort reservoir af granitisk smelte tæt på overfladen. Alle tre udbrud var yderst eksplosive, rhyolitiske udbrud, hvor store mængder materiale blev sprængt bort som følge af afgang af magmaet. Det første udbrud bortsprængte omkring 2.500 km³ for 2 millioner år siden, det andet fjernede 280 km³ for 1,3 millioner år siden og det sidste sendte yderligere 1.000 km³ bort for små 630.000 år siden. Efter hvert udbrud styrtede det delvist tomte magmakammer sammen og dannede en kaldera.

Op til det første og det tredje udbrud blev der dannet et meget stort intrusivt legeme (en batholit). Den øverste del af batholitten intruderede og deformerede dens loft, så der blev dannet en struktur af ringformede brudzoner i det.

Det sidste udbrud dannede den nuværende Yellowstone Kaldera, som måler 85 x 45 km og ligger i Yellowstone National Park. Askelegene fra dette udbrud lagde sig så langt borte som ved Den mexicanske Golf. Efter sammenstyrtningen af magmakammeret har efterfølgende rhyolitisk vulkanisme dannet domer ved Sour Creek og Mallard Lake i hhv. kalderaens nordøstlige og sydvestlige del. Senere er kalderaens vestlige- og centrale del desuden blevet fyldt med rhyolitisk lava, som strømmede ud fra de ringformede brudzoner i dens vestlige side for 150.000, 110.000 og 70.000 år siden. Det har i nogen grad sløret kalderaens form.

Den synlige aktivitet

I dag er den hydrotermale aktivitet ved Yellowstone det tydeligste tegn på områdets aktive vulkanisme, men omhyggelige målinger af terrænniveauet langs en bestemt linie har vist, at kalderaens bund hævede sig 86 cm fra 1923 til 1984, men fra 1985 til 1995 sænkede det sig atter lidt. En række terrasser langs Yellowstone River og stranden omkring Yellowstone Lake viser desuden, at igennem de sidste 10.000 år har der været gentagne hævnings og

sænkninger på op til 20 meter af kalderaens centrale del, og sammenlagt er området tilsyneladende sunket 80 meter i løbet af holocæn.

Hævninger og sænkninger af terrænet har en sammenhæng med de mange små jordskælv i kalderaen hvert år. Disse har overvejende centrum omkring Hedge Lake Fault lige uden for den nordvestlige kalderakant. I hhv. 1985 og 1995 var der et stort jordskælv og mange mindre i denne forkastning, og de var i begge tilfælde forbundet med ændringer i terrænbevægelserne. Således hævede kalderabunden sig frem til 1985 og efter 1995 sænkede bunden sig i den mellemliggende periode.

Nye målinger med InSAR

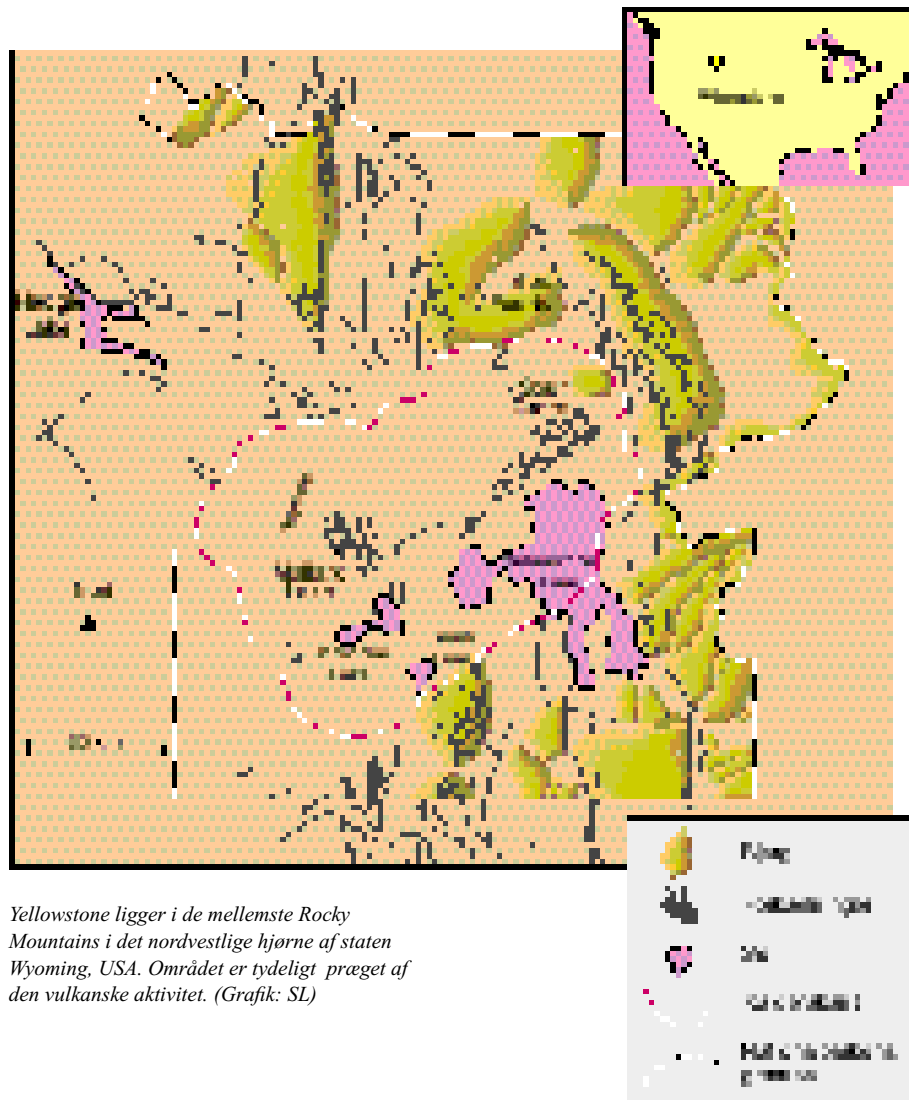
Siden 1992 er der taget målinger med InSAR, som har den store fordel frem for den tidligere årlige nivellering langs en linie, at radaren dækker hele kalderabunden. Målingerne er foretaget af en satellit fra European Space Agency. Ved at sammenligne billeder fra forskellige målinger er det muligt at se, hvordan terrænet hæver og sænker sig, og resultaterne tyder på, at der er flere typer deformationer i kalderaen. I den første del af perioden frem til 1995 har hele kalderabunden sænket sig, og fra 1993 til 1995 spredte en lokalsænkning sig fra Sour Creek til Mallard Lake. Men fra 1995 til 1997 har en hævnning, på op til 15 mm, bredt sig fra Sour Creek dome til Mallard Lake.

Deformationerne tyder på, at der er et aktivt magmakammer med delvist smeltet magma under kalderaens bund, og at det bliver vedligeholdt ved periodiske influx af nyt basaltisk magma. At sænkningen og hævnningen breder sig fra Sour Creek til Mallard Lake kunne tyde på, at Sour Creek ligger tættere på kilden til nyt magma, eller i det mindste har en bedre forbindelse til den.

To magmakamre

Forskerne har opstillet en model for bevægelserne i kalderaen, og den bygger på, at der er to tabulære magmakamre, i

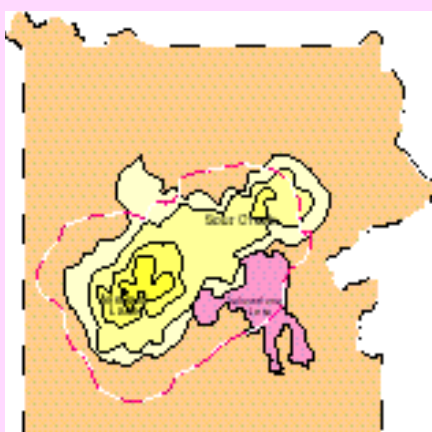
Yellowstone National Park



Yellowstone ligger i de mellemliggende Rocky Mountains i det nordvestlige hjørne af staten Wyoming, USA. Området er tydeligt præget af den vulkanske aktivitet. (Grafik: SL)

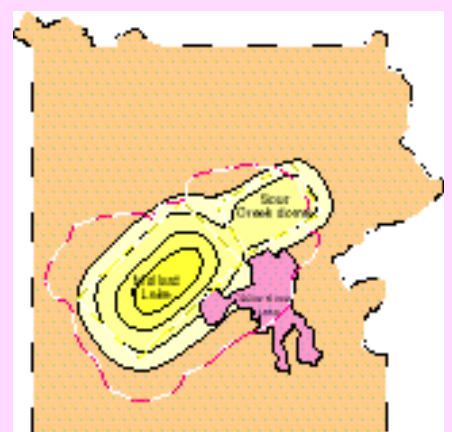
form af sills, i en dybde af omkring 8,5 km. Det passer med målinger af lave seismiske hastigheder under kalderaens to domer. De regner med et relativt lille kammer under Sour Creek og et betydeligt større under Mallard Lake. I modellen er de to kamre forbundet med en kanal, som kun er åben, når trykket i kammeret under Sour Creek bliver højere end et vist kritisk tryk, der sandsyneligvis svarer til det lithostatiske

tryk i kanalen. Det betyder, at når et nyt magma kommer op under kalderaen, vil det først løbe ind i kammeret under Sour Creek, hvorved dette kammer udvider sig og dets hydrostatiske tryk stiger. Når det hydrostatiske tryk i kammeret når det kritiske tryk i kanalen, vil magma begynde at trænge over i kammeret under Mallard Lake. På et tidspunkt når det hydrostatiske tryk i kammeret under Mallard Lake også



To magma-kamre

Modellen af Yellowstones to magmakamre er lavet ved hjælp af InSAR-billeder, der viser, hvordan kalderabunden har sænket sig fra sommeren 1993 til sommeren 1995. Ved at forenkle billedet, som det ses til højre, kom man til, at der måtte være to mere eller mindre rektangulære kamre. Denne model har på tilfredsstillende vis kunne forklare kalderabundens hævnning i den efterfølgende periode fra 1995 til 1997. (Grafik: SL)



kanalens kritiske tryk, og derefter vil begge kamre udvide sig.

Oppe på overfladen betyder det, at først hæver området omkring Sour Creek sig, men på et tidspunkt topper hævnningen her, og den breder sig i stedet over mod Mallard Lake. Derefter begynder dette område at hæve sig, og når denne hævnning når et vist niveau, starter hævnningen ved Sour Creek atter.

Det er sandsynligt, at der også er en kanal, som fører magma fra kammeret under Mallard Lake ud til det område i nationalparkens nordvestlige hjørne, hvor det meste af den hydrotermale aktivitet foregår.

Magmaet

For at forklare hævnningen af kalderaens bund fra 1995 til 1997 kræver modellen med de to kamre en influx af magma. Det er muligt tilnærmelsesvist at beregne diameteren af den fødekanal (vent), som førte det frem. Blot er det nødvendigt



Yellowstones nordøstlige del er domineret af geysere. (Foto: Thomas Mejer Hansen)

at forudsætte, at venten er tilnærmelsesvis lodret og desuden estimere magmaets viskositet og det tryk, som førte magmaet op til kammeret under Sour Creek. Man ved ikke med sikkerhed, om det er et basaltisk eller et granitisk magma, som bevæger sig under Yellowstone, men er det granitisk, kræver det en tilførselskanal med en diameter på 14 meter at flytte det nødvendige magma. Er det derimod basaltisk, behøver diameteren kun at være omkring 14 cm, og er det vand, kan få millimeter gøre det.

En eksplosiv seværdighed

I dag er Yellowstone Nationalpark et yndet udflugtsmål på grund af de mange geysere og andre resultater af den hydrotermale – og dermed den vulkanske – aktivitet. Der er givet mange skøn på betydningen af denne aktivitet, og de fleste er enige om, at den er almindeligt for perioden mellem større udbrud. Derfor er der også enighed om, at Yellowstone vil komme med nye store udbrud i fremtiden. ■

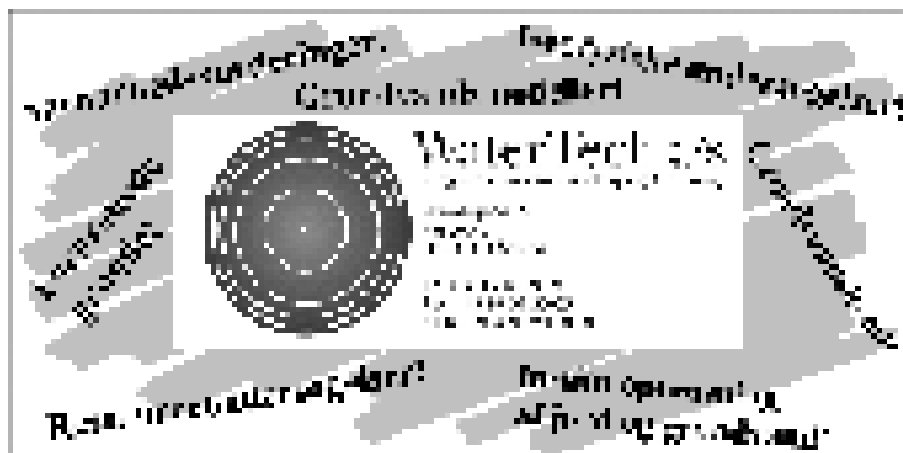
InSAR

af Henning Haack, Geologisk Museum

Den Europæiske satellitter ERS 1 og ERS 2 har siden 1991 hhv. 1995 kortlagt jordens overflade vha. radar. Satellitterne bruger en radar med en bølgelængde på 5 cm til at kortlægge et 100 km bredt spor parallelt med satellittens bane. Det returnerede signal kan bruges til at konstruere et billede af jordoverfladen med en opløsning på ca. 45 m. For hver pixel beregnes intensiteten af det reflekterede signal samt fasen af signalet. Intensiteten er et udtryk for overfladens roughed og dermed dens evne til at reflektere radarsignalet. Fasen, derimod, giver information om afstanden mellem satellitten og overfladen. Det er netop

fasen, der bruges i InSAR teknikken (Interferometry Synthetic Aperture Radar).

I InSAR teknikken udnytter man fasens afstandsinformation ved at beregne faseforskellen mellem to billeder optaget fra tilnærmelsesvist samme bane men på forskellige tidspunkter. Hvis dele af området har ændret afstand til satellitbanen mellem de to optagelser, vil man se en variation af fasen fra de uforstyrrede områder hen imod forstyrrelsen. Under gunstige forhold kan man spore forskydninger helt ned til 1 cm hvilket gør det muligt at kortlægge forskydninger forårsaget af vulkansk aktivitet og jordskælv samt at beregne ishastigheder på vores iskapper. ■



BRØNDBORINGSFIRMAET BRØKER I.S.

Kontor og værksted: Telefon 59 44 04 06
Spånnebæk 7, 4300 Holbæk.
Fax 59 44 69 00

Thomas Brøker, privat 59 44 08 71
Bil 21 42 38 71

Henrik Brøker, privat 59 43 09 94
Bil 23 34 77 01



VORT SPECIALE ER:

BRØNDBORING, rotations- og tørboring.

MILJØBORING, hulsneglsboring med kærneprøveudtagning.

REGENERERING af borerer.

PRØVEPUMPNING af borerer og kildepladsundersøgelser med avanceret elektronisk udstyr og EDB-behandling.

Vi forhandler GRUNDFOS pumper og vort veludstyrede værksted renoverer Grundfos' vandværkspumper.

Vi leverer og monterer underjordiske GLASFIBERPUMPEBRØNDE af eget fabrikat med udstyr i rustfrit stål tilpasset de aktuelle dimensioner.