

Livet reser sig efter ett kosmiskt nedslag

Visst kan ett större asteroidnedslag på jorden ställa till det – men livet har en fantastisk förmåga att komma igen.

av Vivi Vajda, Linda Larsson & Åsa Frisk (text och bilder)

Det är idag ett välkänt faktum att ett asteroidnedslag för ca 65,7 miljoner år sedan utplånade upp till 70 % av alla arter på jorden, däribland dinosaurierna. Nedslagskratern, som är 100 km i diameter och nästan två kilometer djup, är lokaliserad till Yucatanhalvön i Mexiko men är sedan länge utfylld med yngre sedimentära bergarter. Nedslaget drabbade marina ekosystem såväl som de terrestra (som Vivi Vajda skrev om i *Populär Astronomi* 2004/4). Studier rörande den ekologiska återhämtningen har visat att det tog lång tid, över en miljon år, för djur och växter att åter kolonisera de ekologiska nischerna.

Det finns totalt runt 170 kända meteoritkratrar på jorden, och för att studera de fossila ekosystemens respons på meteorit- eller asteroidnedslag behöver vi inte färdas alltför långt.

Ett exempel, om än i mindre skala än meteoriten som utplånade dinosaurierna, hittar vi i Bayern i södra Tysk-

land, ca 100 km nordväst om München. Den s.k. Riesbasängen utgör idag ett fridfullt jordbrukslandskap omgivet av berg. Denna grunda bassäng bildades för ca 15 miljoner år sedan vid en stor katastrof. Med en hastighet på 70 000 km/h rammade en meteorit jorden och bildade en kilometerdjup krater. Själva meteoriten är beräknad att ha haft en diameter på mellan 800 och 1 000 meter, och den anses härröra från asteroidbältet mellan Mars och Jupiter.

Millisekunderna innan meteoriten kraschade in i det miocena landskapet blev luften mellan meteoriten och marken sammanpressad och upphettad och detta glödande lufttäckte kunde bara sprida sig lateralt. Konsekvensen blev att den yttersta delen av jordskorpan smältes till glas och slungades iväg i en fontän av glasdroppar i en hastighet högre än själva meteoritens. Glasdropparna, de s.k. moldaviterna, som bildades kan än idag hittas i Böhmen i nordvästra Tjeckien, 400 km från nedslagsplatsen. Meteoriten lämnade efter sig en cirkulär

struktur på ca 25 km i diameter, den så kallade Rieskratern (se foto på nästa uppslag). Energiutvecklingen motsvarade 18 000 megaton TNT och målbergarten pressades ihop till 25 % av sin ursprungliga volym, vilket medförde en upphettning på flera tusen grader. Under detta mycket snabba förlopp slungades förångad och smält berggrund upp i atmosfären och avsattes i och kring själva kratern. Nedslaget efterlämnade ett bränt och öde landskap. Det kan man inte föreställa sig idag, då det finns flera städer inne i kratern. En av dessa städer är Nördlingen som ligger nästan mitt i kratern och som till stor del utgörs av gammal bebyggelse med en välbevarad medeltida ringmur. Flera av stadens byggnader är byggda av impaktiter från Rieskratern, bl.a. det kända Danielstornet som höjer sig över landskapet. I Nördlingen finns även ett fantastiskt fint museum värt ett besök – Rieskratermuseet.

En varmare jord

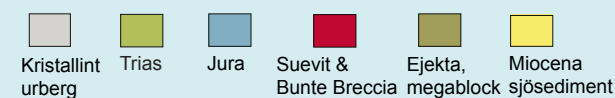
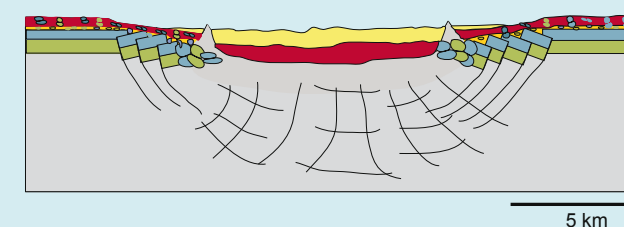
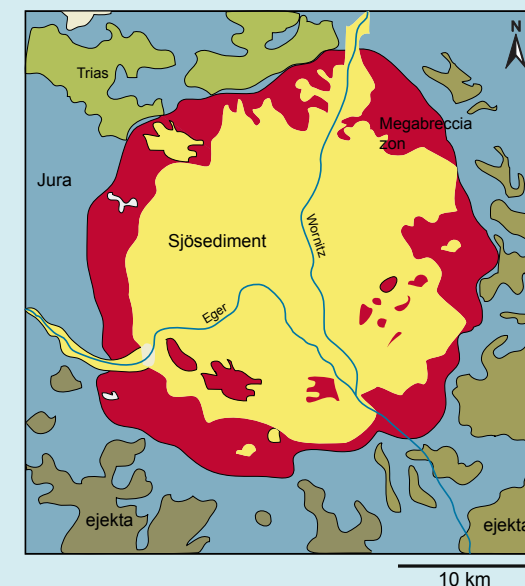
Hur såg då vår del av världen ut för 15 miljoner år sedan, under den tidsperiod som geologerna kallar miocen?

En sak är i alla fall säker, och det är att man inte hade känt igen sig. Då hade vi växthusklimat, och det var den sista riktigt varma perioden på jorden innan det kallare klimatet, ishusklimatet (som vi har idag). Isarna på Nordpolen och Antarktis var fortfarande under uppbyggnad och dagens klimatbälten var inte lika uttalade. Eftersom isarna på polerna var mindre i omfattning hade vi en betydligt högre havsyttnivå, och det som idag är kustområden i nordvästra Europa låg under havsytan. Med hjälp av växtfossil har man kunnat tolka klimatet i vår del av Europa och Tyskland som subtropiskt till varmt tempererat med årsmedeltemperaturer som varierade mellan 15,5 och 21,1 °C (jämför dagens årsmedeltemperatur om 7,7 °C). Nordvästra Europa täcktes av vidsträckt träskskogar liknande sumpområdena i dagens Mississippidelta. De vanligaste växterna där var träskcypresser och andra fuktkrävande arter. I något mer dränerade marker, längre inåt land, frodades bl.a. ek, bok och alm, som finns i vår omgivning än idag. Dock förekom även mer exotiska inslag, som Engelhardtia (en släkting till valnötsträdet), som idag endast återfinns i sydvästra Kina. I höglänta områden växte barrträd som idag uteslutande återfinns i varmt tempererade områden.

Stora och små djur

Faunan under miocen var mycket udda, vilket innebar att vi både hade äldre element såsom de extremt stora däggdjuren vilka dominerat ännu tidigare, blandat med "moderna" arter som vargar och björnar. De mer spektakulära djuren under miocen var t.ex. entelodoner, som liknade dagens vildsvin men var ofantligt mycket större. Det största landlevande däggdjuret indricotherium var ännu inte utrotat. Miocen var en viktig period för utvecklingen av hästsläktet. Hästarna gick från att vara knähöga flertåiga till entåiga större djur. Haven dominerades av den gigantiska megalodon, en släkting till dagens vithaj, men tre gånger så stor.

Det var i denna miljö som meteoriten slog ned och spred



Rieskratern syns uppifrån och i genomskärning i denna förenklade geologiska karta.

död och förödelse men för geologer har det visat sig vara en riktig guldgruva där vi 15 miljoner år efter katastrofen har tillgång till en av de mest välbevarade kratern på jorden, som ett utmärkt studieexemplar. För att utarbeta en modell över nedslagsförloppet behöver vi känna till målbergarten i detalj. Tack vare en mängd borrhningar och ett stort antal undersökningar i och runt Rieskratern vet man det mesta om förloppet.

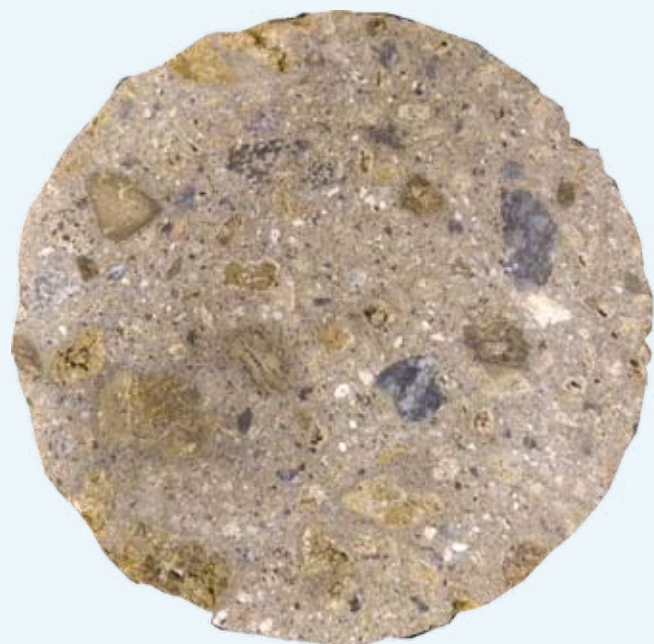
Det visar sig att kratern är bildad i upp till 700 meter mäktiga lager av mesozoiska sediment, vilka i sin tur ligger på den kristallina berggrunden (bilden på sidan 12). De mesozoiska sedimenten utgörs främst av triassiska sandstenar och jurassiska skiffer och kalkstenar. Den horisontellt laminerade lagerföljden har på sina ställen blivit omkullkastad, där äldre lager ligger över yngre med trias och jura i en enda röra tillsammans med stora granitblock. Upp till 1 km stora megablock av jurassiska sediment kan påträffas långt utanför nedslagsplatsen, och det är en skrämmande känsla att se dessa enorma block då vidden av katastrofen och krafterna bakom framstår tydligare.

Den enorma energi som frigjordes vid nedslaget gav upphov till nya bergarter, så kallade impaktiter. Till impaktiter räknas bl.a. nedslagssmälta, bunte (brokig) breccia, suevit (allogen breccia), slagkägglor (foto på nästa uppslag) och tektiter.

Rieskratern har alla de typiska kännetecknen för en nedslagskrater:



Aumühles stenbrott. Här bryter man suevit. Infällt i vänstra hörnet ses färgrik bunte breccia med starkt färgade klaster.



Suevit från borrhärlan (vänster) och från själva väggen i Daniels torn som är byggd av suevit (mitt i staden Nördlingen).

- Kratersueviten är avsatt i den centrala kaviteten (primärkratern, bilden på sidan 12) och består främst av krossad och delvis smält berggrundsmassa. Dessa lager har senare blivit täckta med sjösediment.
- Den inre ringen sträcker sig runt primärkratern med en radie på 5–6 km och utgörs främst av stora block från underliggande berggrund.
- Megablockzonen 6–12 km från centrum utgörs av bunte breccia. I denna mångfärgade breccia (foto på sidan 13) är i princip alla bergarter från närområdet representerade i en enda kaotisk röra.
- Kraterkanten utgörs av den ursprungliga, mesozoiska berggrunden täckt av bunte breccia.
- Det relativt likartade ejektalagret täckte ursprungligen allt i en radie på 12–40 km från kratercentrum. Det har senare delvis eroderats bort och återfinns idag endast fläckvis.
- Tektiter återfinns i Tjeckien, upp till 400 km från nedslagsplatsen.

Urberg och sediment

Den mest intressanta bergarten i detta sammanhang är suevit (fotot ovan), då just Rieskratern är typlokalen för suevit. Namnet härrör från en germansk stam, suevi, som levde i Sydtykland under tiden för romarriket. Sueviten är på sina ställen upp till 600 meter mäktig, och den används som byggnadssten än idag. Den är en breccia och domineras av fragment från den kristallina berggrunden i form av granit och gnejs, men där



Slagkägla i dolomit från Rieskratern.

förekommer även fragment av de underliggande sedimentära bergarterna. Fragmenten som är kantiga och av olika storlek ligger inbäddade i en grå-gråblå matrix av små glas- och mineralpartiklar samt lermineralet montmorillonit. Bergartsfragment som kalksten och leror visar tydliga spår av upphettning med smälta kanter eller total uppmältning. Glaset har man kunnat åldersbestämma med hjälp av kalium/argon-metoden och därigenom kunnat bestämma tiden för nedslaget.

Nedslaget följdes av kraftfulla regn till följd av ansamling av moln från gas och vattenånga som bildades i den pyrande kratern. Botten av kratern utgjordes av en kokande lersjö och den utslungade berggrunden hade täppt till hela områdets dräneringssystem. Snart bildades en kratersjö med en yta på 400 km². I denna sjö återvände livet så småningom, och som en fågel Fenix reste sig ekosystemen ur askan. Till en början var sjön mycket rik på salter och soda till följd av den höga avdunstningshastigheten, och även om liv ännu inte börjat kolonisera sjön avsattes de första laminerade sjösedimenten. I dessa lagerföljder finner man fossil från växter och djur anpassade till ett torrt och varmt klimat medan det i kanten av sjön finns spår av bl.a. vass. Klimatet blev fuktigare och så småningom rann det till mer färskvatten och livsbetingelserna blev allt bättre. Runt kratern bildades träskområden där sumpcypressen åter kunde breda ut sig och så småningom återvände flora och fauna till kraterdalen. Om detta vittnar de brunkolsavlagringar som finns bevarade i Riesområdet, kol som bildades av de växter som likt pionjärer koloniserade det ödelagda landskapet. Den bäst bevarade miocena fågelfaunan i Europa har påträffats i dessa sjösediment, där



Fotografi över Nördlingen med kraterranden vid horisonten. Fotografiet är taget uppifrån Daniels torn.

ett otal arter av fåglar finns representerade i form av fossiliserade ben, fjädrar och ägg. Andra djur som påträffas i det geologiska arkivet innefattar fossila sköldpaddor, ormar, igelkottar, fladdermöss, harar samt rådjur. Mycket vanlig är den stora vattensnäckan *Hydrobia trochulus*. Kalk byggdes upp i sjön av stora mängder *charophyta*, kransalger. Till slut var hela sjön igenvuxen och igenvylld med sediment.

Svenska nedslagskratrar

Men även i Sverige har vi gott om verifierade meteoritkratrar, speciellt från den geologiska tidsperioden ordovicium. Att vi under denna period hade ett högt antal meteoritnedslag beror på att en stor himlakropp i asteroidbältet splittrades för 480 miljoner år sedan och till följd av detta utsattes jorden för ett långvarigt och förhöjt bombardemang av meteoriter. Flertalet meteoriter slog ned i det hav som delvis täckte den dåtida kontinenten Baltica där dagens Sverige ingick. Området är unikt då där finns fyra dokumenterade, nästan likåldriga marina kratrar med välbevarade sediment avsatta efter nedslagen, nämligen Granby, Lockne och Tvären, samt den estniska kratern Kärddla. Lockne (Jämtland) och Tvären (Södermanland) är nästan samtida och bildades för ungefär 458 miljoner år sedan. Den största av de två är Lockne, och havsbotten i vilken meteoriten slog ned utgjordes av kristallint urberg överlagrat av sediment från perioderna kambrium och ordovicium. I samband med nedslaget slungades vatten och berggrund ut, vilket följdes av en gigantisk återsvallning av havsvatten och krossat material, likt tsunamivågor, in i den nybildade, tomma och varma kratern. Återsvallet eroderade och slet loss stora volymer berggrund från havsbotten. I Lockne bildades en 7,5 km bred, inre krater omgiven av en 3 km bred, yttre krater. Efter nedslaget och avsättningen

av det krossade och omrörda materialet fortsatte bildningen av dalbykalkstenen, vilken hade påbörjats redan innan katastrofen. Dalbykalkstenen representeras dock av olika varianter beroende på var i kratern man befinner sig. En liknande process skedde vid bildandet av den något äldre, 2 km breda Tvärenkratern, som numera är delvis bevarad i utkanten av Stockholms skärgård.

Dessa katastrofala händelser orsakade en lokal utplåning av områdenas marina fauna och genererade enormt höga temperaturer som bidrog till ett sterilt substrat utan liv. En dramatisk förändring av havsbottens topografi skedde i och med bildandet av en krater. Denna topografi skilde sig avsevärt från den tidigare homogena och förhållandevis plana havsbotten. Kratern erbjöd istället varierande levnadsmiljöer för djurlivet som hade överlevt i de omgivande haven, opåverkade av nedslaget. Inom den begränsade yta som meteoritkratern utgjorde fanns flera miljöer representerade; från grunda, syrerika och revlika habitat till djupa, syrefattiga delar. Djupet i Tvärenkratern uppgick till över 200 m och i Lockne till flera hundra meter.

Variationen av koloniserande djurgrupper i kraternas olika delar beror främst på topografien, djupet, hur syrerik miljön är och underlaget. Olika faser av koloniserande djurgrupper återfinns i det fossila materialet från de djupaste delarna i kratrarna och uppåt mot de alltmer grundare delarna av kratrarna. Meteoritkratrarna erbjöd tre huvudsakliga miljöer. Bottenlevande organismer erbjöds två olika miljöer, antingen kunde de leva i de djupaste delarna av kratern eller i den upphöjda, och i havet grundare delarna av kratern, kraterns botten, fylldes med sediment allteftersom tiden gick, och detta medförde att kratern blev grundare och grundare. Detta syns tydligt i det fossila arkivet då vissa djurgrupper föredrog att kolonisera kratern när den erbjöd en grundare miljö. Den tredje miljön motsvaras av själva vattenkolum-



I Dalbykalkstenen hittas yttre skal från bläckfiskar (mestadels endoceratiter och ortoceratiter) som simmade runt i haven, här ligger de parallellt på grund av strömmar. På kraterkanten finns stora mängder brakiopoder, tvåskaliga organismer som var vanliga i de ordoviciska haven.

nen där planktoniska djurgrupper levde. Genom fältarbete och analyser av flertalet borrhärdar från olika delar av kraterarna i Lockne och Tvären har ett samband i utvecklingen av miljöerna kunnat påvisas. Studierna avslöjar att det på kraterkanten uppkom en väldigt unik miljö som kan liknas vid ett rev. Detta är i synnerhet påtagligt i Tvären. Efter meteoritnedslaget koloniserades den upphöjda kraterkanten av djurgrupper från de delar av havet som meteoritnedslaget inte påverkade, främst brakiopoder, trilobiter, sjöiljor och ostrakoder. Speciellt brakiopoderna på Tvärens kraterkant uppvisar både en större mångfald och ett större antal jämfört med likåldriga sediment som varit opåverkade av meteoritnedslaget. Även i jämförelse med kraterns djupa delar är skillnaden i djurlivets mångfald och spridning väldigt stor. Endast en art av brakiopoder koloniserade den djupa delen av kratern och det inte förrän under ett väldigt sent stadium. Det höga utbudet av brakiopoder i den revliknande miljön beror troligtvis på möjligheten att kolonisera en steril miljö, som kan jämföras med en ekologiskt outnyttjad yta. Även möjligheten att kolonisera kraterbotten fanns, men på grund av att kratern inledningsvis kunde vara mycket djup var troligtvis livsbetingelserna inte optimala till följd av de lägre syrenivåerna. Dessutom var sedimentationshastigheten väldigt hög, vilket var till nackdel för djurgrupper som inte kunde gräva ned sig i sedimenten. Skillnaderna i underlaget är ytterligare en möjlig orsak till den stora mångfalden.

Vulkan eller nedslag?

Impaktiter kan i mycket likna vulkaniska bergarter och just på grund av detta har de flesta, idag verifierade, meteoritkratrar varit beskrivna som vulkaner i litteraturen. Detta gäller både för Lockne och för Rieskratern. Fram till 1960 beskrevs Rieskratern som en vulkan trots att det fanns flera oklarheter, och bildningsprocessen förblev ett mysterium ända till E. M. Shoemaker besökte Ottingens stenbrott 1960. Professor Shoemaker sände genast suevitprover till sin kollega Chao i Washington, som efter några dagar genom röntgen kunde påvisa högtrycksvarianterna

av kvarts, coesit och stishovit, i sueviten. Dessa former av kvarts kan endast bildas under enorma tryck och därmed var verifieringen av meteoritkratern ett faktum.

År 1970 sände NASA astronauterna för Apollo 14-färden till Rieskratern för fältträning med mineralogen och Riesexperten professor Engelhardt som guide. Gruppen tränades i att känna igen impaktiter och geologisk provtagningsmetodik. Senare har stora likheter påvisats mellan material som hämtats hem från månen och impaktiter från Ries. Detta får en onekligen att undra hur många "vulkaner" som idag egentligen är nedslagskratrar.

Biologiska förändringar

Studier av fossil från lagerföljder avsatta före och efter katastrofer av detta slag har visat sig bidra med många ledtrådar om hur ekosystem återhämtar sig. Denna kunskap är viktig, inte bara i ett bakåtblickande perspektiv, utan även som kunskapsbank för pågående och framtida förändringar i den biologiska mångfalden. Genom att studera förlopp i det förgångna, kan vi få svar på flera frågor. Hur lång tid tar det för ekosystem att återhämta sig från stora omvälvande katastrofer? Hur lång tid tar det innan nya arter utvecklas? Dessa frågor är högst relevanta idag.

Låt oss återvända till Ries och miocen. Vad hände sedan? För omkring 14 miljoner år sedan förändrades klimatet drastiskt och blev snabbt svalare. Detta ledde till att isarna på polerna expanderade och klimatbältena blev tydligare. De tidigare så utbredda skogarna fick ge plats åt en helt annan växtlighet som gynnades bättre av det kallare och torrare klimatet, nämligen grässtäpper. Detta nya biotom sedermera att bli hominidernas vagg på Afrikas savanner. Dock var de för 15 miljoner år sedan fortfarande trädlevande människoapor, men under de miljoner år som följde kom de att utveckla sin upprätta gångstil på savannen i Afrika för att slutligen utvecklas till människosläktet *Homo sapiens sapiens*. ★

VIVI VAJDA och LINDA LARSSON är verksamma vid Geologiska institutionen vid Lunds universitet. ÅSA FRISK är vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet.



Assi Süer undrar när vi ska få se en europeisk flagga på månen

Vad betyder astronomi för oss egentligen? Är det bara en liten del av det stora området naturvetenskap, eller är det något större? Enligt mig är astronomi en vetenskap som inte går att jämföra med något annat. Som astronom studerar man himlakroppar och annat exotiskt som man vanligtvis inte ser under en dag. Som astronom observerar och forskar man om objekt som är upp till miljarder gånger större än jorden, och som ligger så många ljusår bort att det nästan inte går att hålla reda på alla siffror.

Jag som är amatörastronom finner det lugnande att rikta blicken upp mot himlen en stjärnklar natt och filosofera. Man känner sig obetydlig, bara genom att titta på alla solar som blinkar på himlen. Det jag ofta funderar på är vad människor egentligen tycker om astronomi. Är det något viktigt som man ska satsa på? Många tycker nog att astronomer är ett gäng Star Wars- eller science fiction-fantaster som vill resa mellan olika planeter och i snabba hastigheter.

Självklart behövs det mycket pengar och forskning för att vi en dag ska kunna åstadkomma detta, allt tar sin tid. Och när det gäller upptäckter, är det så viktigt att veta att en stjärna som ligger flera miljoner ljusår bort är 6000 grader varm? Hur ska man egentligen fånga allmänhetens intresse?

Ibland händer det att jag jämför NASA med ESA, vilket man kanske inte ska göra. Men det är fantastiskt att läsa om NASA:s framgångar, och att amerikanerna verkligen tar rymden på allvar. Man ska nog tacka alla entusiastiska forskare och astronomer under 1960-talet, men även en positiv president vid namn John F. Kennedy. Alla som var involverade då hade samma dröm, och det var att skicka en människa till månen.

År 1969 skedde detta och Neil Armstrong, Michael Collins och min favorit Edwin Buzz Aldrin blev hjältar. Men det slutade inte där. NASA skickar rymdfärjor till den internationella rymdstationen (ISS) flera gånger om året. För inte så länge sedan satsade NASA även på att bygga en månbas om några år och sedan skicka människor till planeten Mars. Men NASA:s budget räckte inte till och president Obama var tvungen att lägga ner projektet. Fast amerikanerna ville det, då projektet var aktuellt.

Obama vill istället satsa på ISS, vilket är ett smart drag. Det jag inte förstår är hur amerikanerna vill allt detta. Man får en annan åsikt om man frågar en svensk istället. Hur ska

det bli med ESA då? När ska vi skicka den första europén till månen, och hur blir det med egna rymdfärjor? När ska ESA:s 18 medlemsländer komma överens om allt detta?

Detta är en politisk fråga, som astronauten Frank de Winne sa till mig. Jag ser detta mer som ett politiskt problem. Är det politikerna som står mellan oss och drömmen? Om ja, när ska politikerna flytta på sig?

Eller är det som jag tror, Europa vill satsa på något annat, någonting som är bra för människan just nu. Vi i Europa har all kunskap och allt annat som krävs för att kunna lyckas. Allt som behövs är att folk ska bli mer intresserade och ta astronomi på allvar.

Hur ska man då fånga allmänhetens intresse? Jag kan ta månlandningen som ett exempel. Ibland går det att rösta om man tror att detta hände eller inte på vissa hemsidor. *Aftonbladet* är ett bra exempel. Det förvånar mig att så många inte tror att detta hände, att allt är en bluff. Kan detta ha kunnat påverka människorna på något vis?

Många gillar att läsa konspirationsteorier, för personen som skrev allting verkar kunna sin sak. Det medför att man tror på allt som är skrivet, och ens inställning till astronomi ändras. Internet är stort och oftast blir det svårt att veta vad som är rätt och fel. Kan konspirationsteorierna vara boven? Jag hoppas verkligen på att ESA en dag skärper sig och tänker efter lite. För det vore inte fel att se en uppskjutning här i Europa! Och vem vet, kanske sätter en svensk foten på månen en dag? ★



När får vi se en europeisk flagga på månen?

FOTO: NASA