

Truslen fra rummet

Ingen naturkatastrofe kan i voldsomhed og konsekvenser for livet på Jorden måle sig med et meteoritnedslag forårsaget af et kilometerstort himmellegeme. Men er det en trussel, som vi behøver at tage alvorligt?

Af Carsten R. Kjaer

■ Endnu en dag er begyndt i den travle verden. Lidet aner Jordens befolkning, at denne dag vil ændre menneskehedens historie for altid. For pludselig oplyses himlen af et skærende lys. Sekunder senere begynder jorden at ryste. Et kilometerstort projektil fra verdensrummet har med ufattelig fart sprængt sig gennem Jordens atmosfære i en glødende ildkugle. Er dette enden for menneskeheden?

Saftige katastrofe-scenarier som ovenstående hører måske mere hjemme i en Hollywood film end i seriøs videnskab, og Hollywood har da også gennem tiden leveret et par spektakulære film med dette tema, senest *Deep impact* og *Armageddon*. I videnskabelige kredse er interessen for emnet imidlertid også til stede, hvilket har udmøntet sig i en omfattende litteratur på området, konferencer, workshops samt lobbyarbejde for at få politikere og internationale organisationer til at forholde sig til problemstillingen.

En ny bekymring

Generelt er bekymringen for meteorit-nedslag som dommedags-udløser et meget nyt fænomen, selvom den engelske astronom Edmond Halley allerede i 1705 i værket *A synopsis of the Astronomy of Comets* udtrykte bekymring for den mulighed, at

en komet skulle ramme jorden.

Jorden rammes hvert år af utallige små himmellegemer – sådan ca. 100 tons om dagen. Meget af dette materiale er støv, mens de lidt større partikler kan ses som smukke stjerne-skud (meteoror), når de brænder op i atmosfæren. Det er sjældent, at et objekt klarer turen gennem atmosfæren helt til jordoverfladen (sådanne kaldes for meteoritter).

Endnu mere sjældent sker det, at Jorden bliver ramt af et så stort objekt, at der sker store ødelæggelser på jordoverfladen. Det mest berømte eksempel på en sådan begivenhed i historisk tid var i 1908, hvor et over 1.000 km² stort skovområde ved Tunguska i Sibirien blev raseret, da et stort himmellegeme kolliderede med Jorden og eksploderede i den nedre atmosfære.

I 1947 ramte en byge af jernmeteoritter ligeledes Sibirien ved Sikhote-Alin og efterlod omkring 100 kratere op til 14 meter i diameter.

Døden fra rummet

Bortset fra de nævnte episoder, som jo skete i det øde Sibirien, er der ikke observeret meteoritnedslag i nyere tid, som har kunnet få panderynkerne frem hos særlig mange. Men i 1980 fik en gruppe forskere revet verden



Kunstneren Don Davis' illustration af en global katastrofe - en kollision mellem Jorden og en stor asteroide.

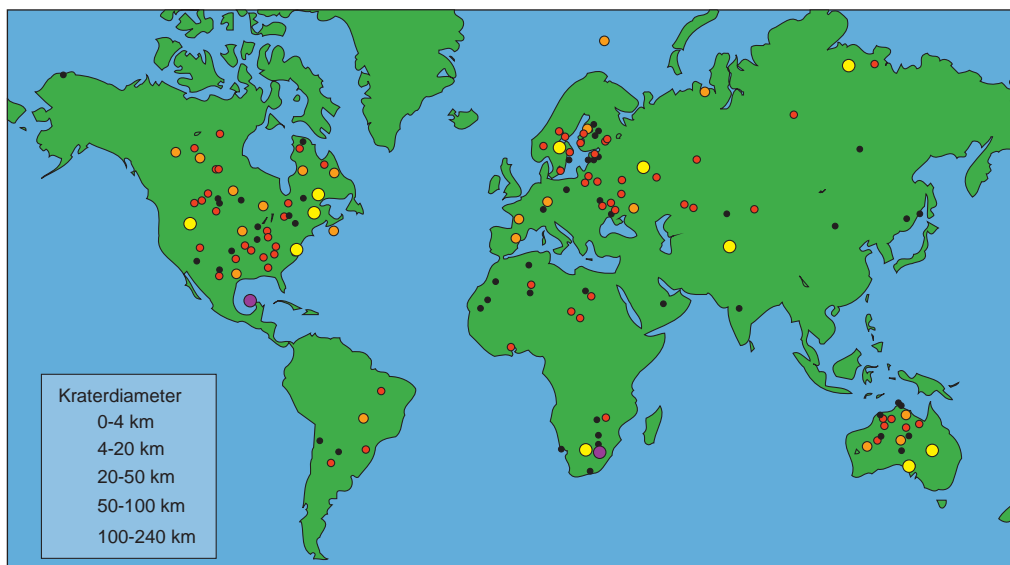
ud af tidligere tiders ubekymrede tilstand. Forskergruppen, med nobelpristageren Luis Alvarez i spidsen, introducerede nemlig den ide, at et himmellegeme omkring 10 km i diameter var kollideret med Jorden for 65 millioner år siden. De geologiske lag bærer vidnesbyrd om en global økologisk katastrofe, idet en meget stor del af dyre- og plantelivet pludselig forsvandt på dette tidspunkt. Alvarez-gruppen kædede denne masseuddøen sammen med et meteoritnedslag,

og det var første gang, at der på mere end spekulativt grundlag var etableret en kobling mellem en konkret økologisk katastrofe i Jordens historie og et meteorit nedslag.

Den videnskabelige diskussion om begivenhederne på Kridt/Tertiær-grænsen havde stor offentlig bevågenhed, og som resultat heraf stillede mange sig spørgsmålet: Kan det ske igen?

Dette stimulerede umiddelbart en stor interesse for sagen, og NASA sponsorerede i 1981

Kilde: Geological Survey of Canada.



Oversigtskort over de ca. 140 kendte meteorit-kratere på Jorden. Det største kendte krater i verden findes ved Vredefort i Sydafrika. Det måler omkring 250 km i diameter, og er ca. 2,1 milliarder år gammelt.

en workshop om emnet, hvor det blev antydet, at objekter så små som 1 km i diameter ved en kollision med Jorden kunne destabilisere det globale økosystem. I sandhed en bekymrende udsigt.

En heldig forbier

Uanset, om det kan bevises, at meteoritnedslag i fortiden har givet anledning til globale katastrofer og masseuddøen, så må flere af de nedslag, som beviseligt har fundet sted, have været meget voldsomme begivenheder. Der er i dag påvist mindst 140 meteorit-kratere på Jorden (se figur), hvoraf mange er mere end 20 km i diameter. Forestiller man sig en sådan begivenhed i et tætbeholdt område i dag, vil der være tale om en katastrofe uden sidestykke i menneskets historie.

Bekymringen får selvfølgelig yderligere næring, når et stort himmellegeme kommer lovligt tæt på, som det senest skete i maj 1996, hvor en ca. 300 meter stor asteroide passerede Jorden i en afstand af knap 500.000 km. Havde denne ramt Jorden i stedet for at tumle forbi, kunne den have udløst en begivenhed, der ville få Tunguska-eksplosionen til at blegne. Denne "forbier" blev opdaget, kun fire dage før den passerede Jorden.

Farlige himmellegemer

De farlige himmellegemer, som bekymringen samler sig om, er asteroider og kometer – man benævner dem samlet *Near Earth Objects* (NEO). En NEO er defineret som et himmellegeme, som i sin bane kommer tættere på Solen end 1,3 astronomiske enheder, ca. 195 mio. km (1 AU er ca. lig med den gennemsnitlige afstand fra Jorden til Solen = 149.597.871 km). Der er pr. august 2001 registreret 1459 NEO'er.

Asteroider er langt de almindeligste NEO'er. Disse er himmellegemer i vores Solsystem, som er for små til at gøre sig fortjent til betegnelsen planet. De består typisk af jern eller klippemateriale, og kan have alle størrelser fra et gruskorn til 1.000 km, som er størrelsen på den største kendte asteroide, Ceres. Asteroiderne er hovedsageligt samlet i et bælte mellem Mars og Jupiter, hvor de kredser omkring Solen i sikker afstand fra Jorden.

Fra tid til anden trækkes en asteroide ud af kurs ved hjælp af Jupiters tyngdekraft, og kan dermed få en bane, der bringer den på kollisionkurs med Jorden. Antallet af sådanne vildfarne asteroider tælles i tusinder, og deres størrelse varierer fra uskadelige småfyre op til ca. 50 meter til moppedrenge på flere

kilometer. Den største registrerede asteroide med en jordkrydsende bane er 1627 Ivar, som er ca. 8 km i diameter.

For at skelne mellem asteroider, som bare kommer tæt på eller er så små, at de ikke er værd at bekymre sig om, og så dem, der både er store og kommer rigtig tæt på, snakker man om "potentielt farlige asteroider" (*Potentially Hazardous Asteroids*). Dette er asteroider med en størrelse på mindst 150 m i diameter og som kommer tættere på Jorden end 0,05 astronomiske enheder (knap 7,5 mio. km).

Antallet af registrerede asteroider, der lever op til disse kriterier er for tiden godt 300.

Solsystemets vagabonder

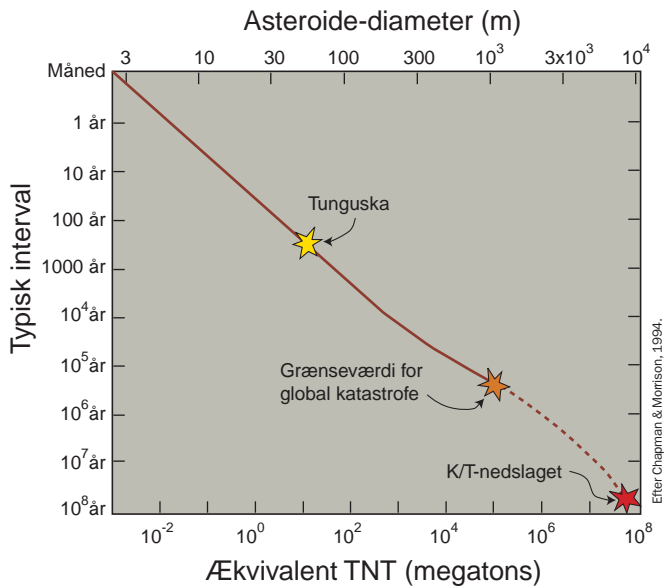
Kometerne er den anden kategori af farlige himmellegemer, og disse er så at sige beskudte snebolde bestående af støv og frosne gasser. Kometer har ofte stærkt elliptiske baner, som bringer dem meget tæt på Solen, og svinger dem langt ud i rummet, ofte helt uden for Plutos bane. Når kometen er tæt på Solen, udvikles den karakteristiske hale af gas og støv, som fordampes fra kometsens overflade.

Kometerne er sjældnere gæster i Jordens nabolag end asteroider, og udgør under 10% af det samlede antal NEO'er. Til gengæld har de betydelig mere fart på – helt op til 50-60 km/s



I 1960 blev det kendte Barringer-krater i Arizona, som det første i verden, vist at være skabt ved et meteoritnedslag.

Foto: NASA



Hypigheden af kollisions-begivenheder af en given størrelse. Kollisioner med objekter på mindst 1 km i diameter (grænseværdien for en global katastrofe) sker ca. hvert 500.000. år.

mod asteroidernes normale 20 km/s. Derudover er de mere uforudsigelige, idet kometernes bevægelse ikke kun styres af tyngdekraften, men også af den "afgasning", som sker fra kometen. Nogle kometer har endvidere så lange omløbstider, at det på grund af den meget korte periode, det er muligt at observere dem i, er meget svært at forud-

sige deres bane præcist.

Kun kometer med en omløbstid på mindre end 200 år tælles med i NEO-regnskabet.

Den beskyttende atmosfære

Jorden er imidlertid ikke blot et forsvarsløst mål i et kosmisk skydetelt. Atmosfæren udgør en beskyttende barriere, som langt

de fleste objekter ikke formår at gennemtrænge. Selv med energier i megatons-klassen (hermed menes megatons ækvivalent TNT = $4,2 \times 10^{16}$ joule), bliver de fleste meteoritter splittet ad og brænder op, inden de når den nedre del af atmosfæren. Hvert år rammes Jorden af et himmellegeme, som udløser en energi svarende til en Hiroshima-atombombe (dvs. i kiloton-klassen). Men vi bemærker sjældent sådanne begivenheder, da chokbølgerne ikke når jordoverfladen.

Hvis et himmellegeme rammer en søjle af atmosfære større end eller lig med dens masse, vil størsteparten af dens kinetiske energi blive udløst i atmosfæren. Dette svarer i runde tal til et objekt med en størrelse på ca. 20 m i diameter og en vægtylde på 1 g/cm^3 . Også væsentlig større objekter kan blokeres af det aerodynamiske stress i atmosfæren, som ofte vil få objektet til at bryde op i mindre stykker, som hurtigt spredes og nedbrydes. I hvilken højde et objekt fragmenterer afhænger primært af dets fysiske styrke – kun de stærkeste jern-meteoritter når jordoverfladen i et stykke. Er der ikke tale om en jern-meteorit, kræves der en energi på mindst 10 MT for at nå den nedre atmosfære – dette

svarer til en asteroide på ca. 50 m i diameter.

Når meteoritten rammer

Hvis vi forestiller os, at en asteroide på ca. 250 meter kolliderer med Jorden, gennemtrænger atmosfæren og eksploderer i 25 km's højde eller evt. rammer Jorden med en fart af 10 km/s, vil dens ødelæggende kraft kunne sammenlignes med effekten af en kraftig atombombe. Hvis en sådan rammer land, vil den sprænge et hul i jorden med en diameter på ca. 5 km. Disse begivenheder er ikke så sjældne endda – det er anslået, at frekvensen af meteoritnedslag i denne størrelsesorden er én hver ca. 10.000 år (se figur).

Selvom et nedslag af denne størrelse ville have forfærdelige konsekvenser – specielt hvis det skete i et tætbeholdt område, så vil katastrofen i princippet ikke være værre end andre, og langt mere almindelige, naturkatastrofer som f.eks. jordskælv og vulkanudbrud. Den kvalitative forskel på disse velkendte begivenheder og meteoritnedslag er imidlertid, at mens der er en øvre grænse for, hvor store energiudladninger de førstnævnte er i stand til at præstere, er der ikke en sådan for meteoritnedslag. Hvis blot meteoritten er stor nok, vil den

Kortlægning og afværgeforanstaltninger



Asteroiden Ida, som findes i hovedasteroide-bæltet mellem Mars og Jupiter. Ida er 56 km på længste led, men heldigvis ikke på kollisionskurs med Jorden.



Den berømte komet Halley, som besøger det indre solsystem hvert 76. år (næste gang i år 2061). Halley stammer – i lighed med mange andre kometer – fra det såkaldte Kuiper-bælte, som findes ved Solsystemets ydergrænse uden for planeten Neptun.

Det er anslået, at det findes knap 1.000 asteroider med en størrelse på mindst 1 km, som har som har en bane der ligger tæt ved eller krydser Jordens. I juni 2000 var der opdaget 410 sådanne NEA's (Near Earth Asteroids). Da målsætningen for NASA's såkaldte "Spaceguard Survey" er at opdage 90 % af disse inden for en tiårs periode, er man altså tæt ved halvvejs. Ingen af disse store asteroider er tilsyneladende på kollisionskurs med Jorden.

Når man leder efter asteroider er det, man i praksis måler på, det lys, asteroiden reflekterer. Denne lysstyrke kan så konverteres til en størrelse på asteroiden under antagelse af, at asteroiden har en given refleksivitet.

For at kortlægge himmelrummet

kunne forårsage en global katastrofe ved at forstyrre det globale økosystem. Problemet er ikke så meget selve eksplosionen, men snarere den enorme mængde støv, der vil blive spredt i atmosfæren, og som vil få Jorden til at henlægge i mørke og kulde.

Det er anslået, at den kritiske størrelse for en sådan civilisations-truende asteroide er et sted mellem ½ og 5 km – afhængig af type, hastighed og hvor den måtte ramme Jorden. Generelt er man blevet enige om at sætte grænsen ved 1 km. Det er derfor objekter med denne mindstestørrelse, som man meget gerne vil have kortlagt, for i det mindste at kunne afkræfte, at Jorden vil gå under i den nærmeste fremtid.

Er der noget på spil?

Der er ingen tvivl om, at meteoritnedslag *kan* være farlige for menneskeheden. Spørgsmålet er blot, hvor alvorligt vi bør tage netop denne trussel, når der i øvrigt er problemer nok at bekymre sig om. Godt nok er de civilisationstruende meteoritnedslag meget sjældne (ca. en begivenhed hver 500.000 år, hvis man skal tro kurven på figuren), men konsekvenserne taget i betragtning, så kan man selvfølgelig godt argumentere

for, at truslen skal tages alvorligt her og nu.

Det er kendetegnende for den efterhånden omfattende videnskabelige information på området, at man godt nok sædvanligvis fremhæver den ringe sandsynlighed for, at menneskeheden vil blive udryddet af et meteoritnedslag, men tonen kommer alligevel ofte til at virke lidt skinger, når omkostningerne til de foreslåede NEO-projekter hele tiden skal vurderes på baggrund af, at menneskehedens skæbne *kan* være på spil.

Derfor får man uundgåeligt den tanke, at der også er andet på spil end en filantropisk bekymring for menneskets fremtid på vor klode. Det kan f.eks. være den sædvanlige jagt på finansieringsmuligheder, der får de betrængte forskere til at trække problemstillingen lidt hårdt op. Og mon ikke, at også kommercielle kræfter har øjnet muligheder? Et faktum er det under alle omstændigheder, at flere forchromede amerikanske forsvarsprojekter har afløst hinanden gennem årene. Først var der Reagans såkaldte *Stjernekrigsprojekt*, dernæst tanker om et aktivt forsvar mod meteoritruslen og nu er det så det omdiskuterede *missilskjold*, der er på tegnebrættet. Man får let en

for farlige asteroider er det ikke nok blot at "opdage" dem. De enkelte asteroiders baner skal fastlægges ved en nøje registrering over en længere periode (gerne ti år eller mere). Til at opdage og registrere asteroider bruges teleskoper med lysfølsomme anordninger – såkaldte CCD'ere (Charge Coupled Devices).

Et er at opdage asteroider på kollisionkurs med Jorden, noget helt andet er aktivt at afværge kollisionen. Et aktivt forsvar mod en sådan trussel vil f.eks. være at detonere kraftige atomvåben i umiddelbar nærhed af, eller på asteroiden, så denne ændrer kurs (det er nemlig ingen god ide at sprænge asteroiden i stykker og dermed muligvis frembringe en lige så dødbringende sværm af mindre og radioaktive stykker). Et så-

dant projekt er lettere sagt end gjort. Selvom vi skulle beherske den fornødne teknologi, så skal afværge metoden tilpasses præcis det objekt, der nærmer sig - der er nemlig stor forskel på asteroider. For at illustrere problemet består asteroider bestående ofte af en bunke brokker, som kun holdes sammen af tyngdekraften. En sådan kilometerstor "grusbunke" kan ikke tilføres en særlig stor impulsforandring, uden at den sprænges i mange stykker. I teorien vil en sådan asteroide kun kunne tilføres en kursændring på ca. 1 m/s, hvorfor dette skal gøres i god tid. Så selvom asteroiden opdages i god tid, er dette måske alligevel ikke nok til at iværksætte de nødvendige afværgeforanstaltninger.

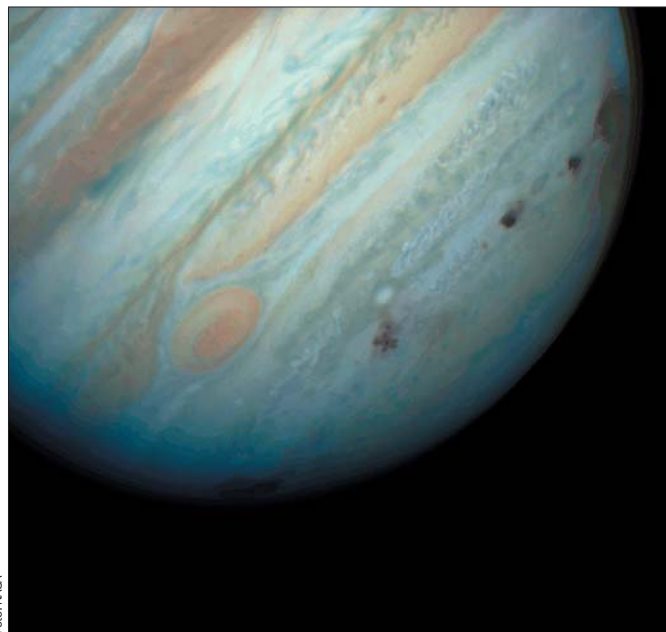


Foto: NASA

Foto af Jupiter fra perioden 16-21 juli 1994, hvor den blev ramt af 21 fragmenter af kometen Shoemaker-Levy (ses som de sorte pletter). Havde kometen ramt Jorden i stedet, ville dette ikke være skrevet!

Torino-skalaen

Begivenheder, som næppe vil have konsekvenser	0	Sandsynligheden for en kollision er 0, eller mindre end chancen for at et tilfældigt objekt af samme størrelse vil ramme Jorden inden for de næste ti år. Gælder også små objekter, der næppe vil kunne gennemtrænge atmosfæren
	1	Kollision er ekstremt usandsynlig
Begivenheder, som kræver grundig opfølgning	2	Et noget nært, men ikke ualmindeligt møde, hvor kollision er meget usandsynlig.
	3	Et nært møde, med sandsynlighed større end 1% for en kollision, med lokal ødelæggelse
	4	Et nært møde, med sandsynlighed større end 1% for en kollision, med regional ødelæggelse
Begivenheder, som bør vække bekymring	5	Et nært møde, med en signifikant fare for en kollision, som kan forårsage regional ødelæggelse
	6	Et nært møde, med en signifikant fare for en kollision, som kan forårsage en global katastrofe
	7	Et nært møde, med en meget stor fare for en kollision, som kan forårsage en global katastrofe
Faretruende begivenheder	8	En kollision, som kan forårsage lokale ødelæggelser
	9	En kollision, som kan forårsage regionale ødelæggelser
Kollision er sikker	10	En kollision, som kan forårsage en global klimatisk katastrofe.

Fordansket version af den såkaldte "Torino-skala". Hver gang en asteroide opdages, vil man i princippet kunne angive den på skalaen. Hvor asteroiden placeres afhænger dels af, hvor sandsynlig en kollision er, og dels af, hvor voldsomme effekterne af en kollision med det pågældende objekt vil være. Endnu er intet objekt blevet sat til en værdi større end 0.

mistanke om, at enhver hypotetisk ydre trussel bruges som påskud til at få stablet et vældigt højteknologisk forsvarsværk på benene.

Selvom der endnu ikke er konkrete planer om et aktivt forsvar mod vildfarne himmellegemer, så er det i høj grad lykkedes at få skabt opmærksomhed om "truslen". Således er NEO'er ved flere lejligheder blevet diskuteret i den amerikanske kongres, ligesom de har været på dagsordenen i både det engelske under- og overhus. Der har været afholdt talrige konferencer i både NASA- og FN-regi, og der er nedsat mange forskellige arbejdsgrupper til at interesse sig for sagen. NASA har – på baggrund af et direktiv fra kongressen – indarbejdet NEO-opfølgning i deres aktivi-

teter, og etableret et NEO-kontor, hvorfra aktiviteterne koordineres.

Også den europæiske rumfartsorganisation (ESA) er af deres komité for langtidstrategi blevet anbefalet at involvere sig i NEO-aktiviteter, ligesom den Internationale Astronomiske Union (IAU) har nedsat en NEO-arbejdsgruppe, som bl.a. har taget initiativ til en privat fond *The Spaceguard Foundation*, som arbejder for at fremme det internationale arbejde omkring NEO'er.

En kolos på lurfødder?

Ser man rent videnskabeligt på sagen, så er det tankevækkende, at bekymringen i meget høj grad tog fart, da teorien om et meteoritnedslag på Kridt/Tertiærgrænsen blev lanceret. Pro-

blemstillingen, og hele det begrebsapparat, der er opbygget til at beskrive truslen, er således i meget høj grad bygget på en begivenhed i fortiden, der muligvis *aldrig* har fundet sted.

Selvom der er bred videnskabelig konsensus om, at der skete et sådant meteoritnedslag for 65 millioner år siden, og at dette var ansvarlig for en omfattende masseuddøen – ja, så er det meget svært at *bevise*, at det faktisk var det, der skete. Man kan derfor betragte "truslen fra rummet" som et korthus, der ville ramle sammen i det øjeblik, man forkastede ideen om et meteoritnedslag på Kridt-Tertiærgrænsen.

Omvendt, hvis der nu faktisk *har* fundet et sådant katastrofalt meteoritnedslag sted for 65 millioner år siden, så er dette videnskabeligt set meget interessant (selvom det pga. tidsperspektivet ikke er noget, der bør få os til at ligge søvnløse om natten). For i så fald kan sådanne enkeltstående begivenheder gennem geologisk tid have haft megen stor indflydelse på livets udvikling. Faktisk er der nogle, der mener, at den primære årsag til de store episoder af uddøen, der har fundet sted gennem Jordens historie, er meteoritnedslag. For nylig er der således fremkommet indicier på, at den suverænt største episode af uddøen, som skete for 245 millioner år siden på grænsen mellem tidsperioderne Perm og Trias, skulle være forårsaget af netop et meteoritnedslag.

Rolig nu!

Men tilbage til bekymringen: status her i år 2001 – godt 20 år efter at meteorit-truslen for alvor blev sat på dagsordenen – er, at ikke et eneste af de objekter, man hidtil har opdaget tilsyneladende er på kollisionskurs med Jorden.

Set i det rette tidsperspektiv er risikoen for et voldsomt meteoritnedslag selvfølgelig reel nok – Jorden vil uden tvivl blive ramt af et stort objekt fra verdensrummet igen. Om der så vil være nogen mennesker til stede og bekymre sig om det på dette tidspunkt er imidlertid en anden sag. ☺

Om forfatteren

Carsten R. Kjaer

Aktuel Naturvidenskab

Tlf.: 8942 5555

E-post: red@aktuelnat.au.dk

Historisk oversigt

- 1694 Astronomen Emond Halley foreslår, at kometnedslag på Jorden kan forårsage globale katastrofer.
- 1898 Den første "Jord-nære" asteroide Eros opdages.
- 1932 De første to asteroider (Apollo og Adonis) med en Jord-krydsende bane, opdages.
- 1937 Den 800 m store asteroide Hermes passerer Jorden i en afstand af kun 670.000 km.
- 1960 Det bevises, at Barringer-krateret i Arizona er et meteoritkrater.
- 1980 Alvarez og kolleger lancerer ideen om, at et meteoritnedslag var årsagen til masseuddøen på Kridt-Tertiærgrænsen.
- 1981 NASA-konference med temaet: konsekvenser af en kollision med asteroider og kometer.
- 1990 Det amerikanske Institut for Aeronautik og Astronautik (AIAA) anbefaler kongressen, at tage truslen fra NEO'er alvorligt.
- 1991 Den amerikanske kongres dikterer NASA at: 1) foreslå et program, som kan forøge "opdagelses-raten" af farlige asteroider, og 2) undersøge mulighederne for teknologier, som kan ødelægge asteroider eller ændre deres baner.
- 1994 Den amerikanske kongres dikterer NASA til inden for en periode på 10 år at identificere og katalogisere alle asteroider og kometer større end 1 km, som krydser Jordens bane. Kometen Shoemaker-Levy 9 kolliderer med Jupiter.
- 1995 NASA's Near Earth Objects Survey Group udgiver en rapport med et program til kortlægning af NEO'er. FN er vært for en konference om NEO'er. IAU tager initiativ til "The Spaceguard Foundation", som skal fremme det internationale arbejde omkring NEO'er.
- 1996 Europaparlamentet vedtager en resolution omkring asteroider og kometer, som potentielt er farlige for menneskeheden.
- 1999 I en rapport anbefaler det Europæiske Rumagenturs komite for "langtids strategi", at agenturet involverer sig i NEO-aktiviteter. En rum-konference i FN-regi vedtager en resolution, hvori der foreslås en strategi for det internationale NEO-arbejde.

Videre læsning

To store videnskabelige bøger:

T. Gehrels, ed. 1994.

Hazards Due to Comets and Asteroids. University of Arizona Press.

John L. Remo, ed. Near-Earth Objects: The United Nations International Conference. Annals of the New York Academy of Sciences vol 822.

En god baggrundsartikel:

Chapman C.R. & Morrison, D. 1994. Impacts on Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. Nature vol 367, p. 33-40.

Internetsider:

NASAs NEO-sider:
<http://neo.jpl.nasa.gov/neo>

<http://impact.arc.nasa.gov/>

Officiel britisk NEO-side:
www.near-earth-objects.co.uk

The Spaceguard Foundation:
<http://spaceguard.ias.rm.cnr.it>

IAUs arbejdsgruppe om NEO
<http://web.mit.edu/rpb/wgneo/>