

Mytologi och meteoritforskning: Var störtade Faethon?

av Jerker Blomqvist

Frans Erik Wickmans hypotes

En välkänd grekisk myt handlar om Faethon, solguden Helios utomäktenskaplige son, och hans sorgliga öde. När han vuxit till sig, berättade hans mor vem hans verkliga far var. Faethon gick då till Helios och begärde att under en dag få köra den vagn som transporterade solen över himlavalvet, och det gick fadern med på. Men Faethon var inte mogen uppgiften. Hästarna lydde honom inte, utan kursen blev vinglig, och där solen kom för nära jorden, förtärde dess hetta allt levande. För att inte katastrofen skulle bli fullständig, slungade Zeus honom ur vagnen med sin blix, han föll ned i floden Eridanos och omkom. Hans sörjande systrar, Heliaderna, förvandlades till popplar på flodstranden, och deras tårar blev till bärnsten. Hans vän Kyknos, ligurnernas kung, sörjde också, tills han förvandlades till en svan; hans namn är det grekiska ordet för denna fågel.

Redan hos Platon framförs tanken att berättelsen om Faethon hade en verklighetsbakgrund och hade inspirerats av att en himlakropp hade råkat ur sin bana och störtat ned på jorden.¹ Samma förklaring av mytens ursprung återkommer sedan hos en lång rad auktoriteter, både antika och moderna.² För ett tjugotal år sedan blev jag kontaktad av en svensk geolog och meteoritforskare, Frans Erik Wickman. Han hävdade att utifrån hans vetenskapliga perspektiv var det inte bara sannolikt att Faethonmyten var inspirerad av en meteoritkrasch utan det var också möjligt att identifiera den meteorit som gett upphov till myten; det skulle vara den meteorit som slagit ner på den estniska ön Ösel (på estniska: Saaremaa) och där efterlämnat ett påtagligt spår i form av en krater som nu är sjön Kaalijärv.

Jag var skeptisk till en början, för jag har hört alltför många vilda fantasier om grekiska myter och deras ursprung för att utan vidare acceptera en sådan förklaring som den Wickman framförde. Men efter att vi träffats några gånger, var jag övertygad

1. Platon anger en egyptisk präst som den ursprungliga källan för uppgiften (*Timaios* 22d).

2. Blomqvist 1994, 1.

om att det fanns en god del substans i Wickmans hypotes, och det blev också klart för mig att han hade ett gediget gott rykte inom sin vetenskap. Det som gjorde speciellt intryck på mig var att Wickman kunde förklara en underlighet i Faethonmyten som alla andra gått bet på. I vissa antika källor påstås att Faethons vingliga färd och slutliga krasch inte bara medförde våldsamt hetta och förödande bränder utan att den också följdes av ett skyfall.³ Denna kombination av hetta och våldsamt regn har förbryllat kommentatorerna⁴ men är en naturlig följd av ett stort meteoritnedslag. En exploderande meteorit kastar upp stora mängder stoftpartiklar i atmosfären, och atmosfärens vattenånga kondenseras på dessa partiklar och faller till marken som regn.⁵ Samma fenomen kan uppträda vid vulkanutbrott och atombombsexplosioner. När Wickman och jag arbetade med Faethonmyten hade just vulkanen Pinatubo på ön Luzon i Filippinerna haft sitt förödande utbrott (1991), och då hade störtregn och därav orsakade slamlaviner (laharer) stått för en stor del av förstörelsen. Kaalijärvmeteoriten och dess stoftmoln kan således mycket väl ha gett upphov till ett uppseendeväckande kraftigt regn.

Resultatet av detta kanske något paradoxala samarbete mellan geologen och filologen blev ett par artiklar. Den ena skrev vi tillsammans på svenska; den är av populärvetenskapligt slag.⁶ Planen var att vi dessutom skulle skriva var sin mera vetenskaplig artikel där vi behandlade det eventuella sambandet mellan Kaalijärvmeteoriten och Faethonmyten utifrån våra respektive discipliners perspektiv. Av dem blev bara min artikel färdig.⁷ Wickmans hälsa var inte god, och han kunde inte slutföra sina planer.⁸ Detta får inte undanskymma det faktum att han var den egentlige idégivaren bakom allt vi skrev.

Vårt resonemang som ledde fram till slutsatsen att Kaalijärvkratern är ett spår efter det meteoritnedslag som gav upphov till Faethonmyten gick i tre steg:

3. Blomqvist 1994, 5–6, n. 23–24.

4. Jfr t.ex. Diggle 1970, 21: "Now, fire and flood are incompatible."

5. Blomqvist 1994, 5–6.

6. Blomqvist & Wickman 1994.

7. Blomqvist 1994.

8. Wickman avled 2003. Om hans insatser inom olika grenar av geovetenskapen, inklusive meteoritforskningen, se Boström 2004.

(i) I den antika Faethonmyten finns inslag som gör det sannolikt att den är inspirerad av ett meteoritnedslag.

(ii) I myten finns inslag som indikerar att händelsen utspelade sig långt norrut i Europa, mera precist inom eller i omedelbar närhet av ett område där bärnsten producerades.

(iii) Inom det aktuella geografiska området och inom det tidsspänn som kan vara aktuellt har – såvitt känt – endast ett större meteoritnedslag inträffat, nämligen det som skapade Kaalijärvratern.

Steg (i) är ett sannolikt antagande, och ingenting i myten talar emot det, men dess riktighet kan inte definitivt bevisas. Antagandet i steg (ii) bygger på klara indikationer i de antika källtexterna. Under förutsättning att antagandena (i) och (ii) är korrekta leder de fram till en helt säker slutsats i steg (iii): bara Kaalijärvmeteoriten kan komma i fråga som inspirationskälla till myten.⁹

Nu är det tjugo år sedan våra artiklar skrevs, och eftersom forskningen under mellantiden kan misstänkas ha tagit åtskilliga steg framåt – och möjligen ett och annat bakåttag – kan det finnas anledning att diskutera om resultatet av vår undersökning fortfarande är tillförlitligt. Detta tillbakablickande på något som har varit kan anses vara passande som bidrag till festskriften för en kollega med en egen mångårig forskningsverksamhet att blicka tillbaka på.

9. I Estland finns fler spår av meteoritnedslag, men inget av dem har inträffat vid en sådan tidpunkt att de kunnat påverka uppkomsten av en klassisk grekisk myt; se Plado 2012. Utom Kaalijärv räknar Plado med två säkert identifierade nedslag, Neugrund och Kärddla, men de beräknas ha inträffat för 535 resp. 455 miljoner år sedan. Bland Plados "possible impact structures" är tre från holocen men har betydligt äldre dateringar än Kaalijärv (Lasnamäe 20000–25000 år, Tsöörismäe minst 10000 år, Ilumetsa minst 6000–6500 år före nutid), medan Simunameteoriten slog ner den 1 juni 1937. Övriga större meteoritnedslag i det skandinavisk-baltiska området är miljontals år äldre; jfr genomgången hos Willman *Et al.* 2010, 27–77.

Lennart Meri och Kaalijärv

Den som går till Internet idag för att söka kopplingar mellan Faethon och Kaalijärvmeteoriten får en riklig skörd av träffar. Inom det som kallas för "bloggosfären" antas det allmänt att meteoriten har ett samband med myten, och man finner referenser till tryckta publikationer där sambandet också betraktas som ett faktum. Även turistnäringen på Ösel utnyttjar kopplingen, och vid guidade turer kring Kaalijärv tas detta mytologisk-geologiska tema upp.¹⁰ Den som anges ha upptäckt sambandet mellan myt och geologisk verklighet är nästan alltid den estnische författaren, filmskaparen och politikern Lennart Meri (1929–2006), som 1992 blev det fria Estlands andre president. I sina verk *Hõbevalge* (1976) och *Hõbevalgem* (1983) gjorde han gällande att den grekiske geografen Pytheas från Massalia skulle ha utsträckt sin forskningsresa också till länderna kring Östersjön, besökt Ösel någon gång i perioden 350–325 f.Kr. och där fått sig förevisat Kaalijärv, som av lokalbefolkningen sades vara "graven där solen föll ner död", samt att en passage i Apollonios Rhodios *Argonautika* ger belägg för att Kaalijärv av antikens greker även tolkades som platsen för Faethons förolyckande.

Hõbevalge utgör tillsammans med *Hõbevalgem* en romantiserad exposé över Estlands historia, och när det gäller Kaalijärv har Meri låtit fantasin flöda.¹¹ Hans hypotes om sambandet mellan Kaalijärv och Faethonmyten må vara i grunden riktig, men de båda passager från antika författare som han bygger sina påståenden på är grovt feltolkade. Frasen "de visade mig graven där solen föll ner död", eller i engelsk version "the barbarian showed me the grave where the Sun fell dead", påstås komma från Pytheas reseberättelse. Denna har inte bevarats i original, men den aktuella passagen citeras i Geminos astronomiska handbok från första århundradet f.Kr. Den

10. Turistnäringens intresse för Kaalijärv framgår bl.a. av två volymer i serien *Fostering geotourism on the Central Baltic Islands* som getts ut av *Central Baltic INTERREG IV A Programme 2007-2013* (Raukas & al. 2009, Willman & al. 2010; jfr projektets webbplats <http://www.centralbalticgeotourism.eu/index.html>).

11. Meris båda verk finns inte översatta till något annat språk än finska, och jag har inte kunnat ta del av texterna i deras helhet. Min information om verken bygger på de referat av de aktuella passagera som finns på webbplatser och i tryckta publikationer, t.ex. Veski & al. 2001, 1369, Veski & al. 2004, 197, Veski & al. 2007, 266 samt – med ännu mera fantasifulla "citat" från Pytheas och Apollonios – Willman & al. 2010, 37–38. Meri hänvisar också till estniska folktraditioner, i vilka Kaalijärv har en framträdande plats; härom utförligare i Haas, Peekna & Walker 2003, 56–70. Raukas & al. 2009 (s. 54), som daterar meteoritnedslaget till ca 5600 f.Kr., påpekar att denna datering gör det otänkbart att meteoriten har något samband med Faethonmyten eller med liknande estniska folksägnar, och Meris hypoteser betecknas som "delightful legends".

grekiska texten betyder i verkligheten “Barbarerna visade oss var solen går till vila”, och citatet fortsätter: “Det visade sig nämligen, att natten i dessa regioner blir helt kort, hos somliga två timmar, hos andra tre, så att solen efter solnedgången efter bara ett kort intervall strax går upp igen.”¹² Någon grav omtalas inte alls i den grekiska texten, och verbet *κοιμάται*, som är det ord som tolkats som “fell dead” resp. “föll ner död”, betyder bara “går till vila” eller “somnar”.¹³ Det är dessutom presens, så det avser något som pågår hela tiden eller upprepas gång på gång, som solnedgången, inte en isolerad händelse i förfluten tid, vilket *fell/föll* implicerar. Fortsättningen på citatet från Pytheas förklarar sammanhanget: det passagen handlar om är nattens korta varaktighet under sommaren på nordliga breddgrader. Platsen “där solen går till vila” är alltså den punkt på horisonten i nordnordväst där solen går ned under de kortaste sommarnätterna. Det var den punkten på himlen som “barbarerna” pekade ut för Pytheas, inte en specifik plats på jordytan, t.ex. på Ösel. Det är överhuvudtaget osannolikt att Pytheas alls kom in i Östersjön. Det Thule, som enligt Meris hypotes ska identifieras med den estniska ön, låg enligt Pytheas klara angivelser norr om Britannien.

Den text som Meri använde för att knyta Faethon till Ösel kommer från Apollonios Rhodios *Argonautika*. I den dikten finns faktiskt ett avsnitt som berättar hur argonauterna kommer till den plats där Faethon har störtat och där de kan se (och känna lukten av) spåren efter händelsen, men de befinner sig då i en helt annan del av Europa

-
12. Geminus, *Elementa astronomiae* 6.9 ἐδείκνυον ἡμῖν οἱ βάρβαροι, ὅπου ὁ ἥλιος κοιμάται· συνέβαινε γὰρ περὶ τοὺς τοὺς τόπους τὴν μὲν νύκτα παντελῶς μικρὰν γίνεσθαι ὥρων οἷς μὲν β΄, οἷς δὲ γ΄, ὥστε μετὰ τὴν δύσιν μικροῦ διαλείμματος γινομένου ἐπανατέλλειν εὐθέως τὸν ἥλιον. Utgivarna av Geminus (Manitius 1898, Aujac 1975) betraktar hela denna passage som ett citat från Pytheas. Utgivaren av Pytheasfragmenten (Mette 1952, frg. 9a) markerar däremot enbart orden ἐδείκνυον ἡμῖν οἱ βάρβαροι, ὅπου ὁ ἥλιος κοιμάται som direkt citat. Det finns dock en språklig detalj som tyder på att även den följande meningen är hämtad från Pytheas skrift. Vi väntar oss att partikeln μὲν i frasen τὴν μὲν νύκτα ska korrespondera med ett δέ (eller en annan adversativ partikel) i det följande, men något sådant δέ följer inte i Geminus text. Förklaringen är rimligen att Geminus har citerat meningen med frasen τὴν μὲν νύκτα ordagrant från Pytheas men inte funnit anledning att citera den mening i det följande som innehöll den adversativa partikeln.
 13. Se LSJ s.v. *κοιμάω*. De medial-passiva formerna av detta verb kan liksom vårt *insomna* metaforiskt användas i betydelsen ‘dö’, men då visar kontexten eller den yttre situationen att det är ett döende och inte ett insomnande som avses, t.ex. genom att verbet förses med en bestämning (som *χάλκεον ὕπνου* ‘sömnen av brons’ i *Iliaden* 11.241) eller genom att texten står på en gravsten.

än *Balticum*.¹⁴ Argonauterna är på hemväg efter att ha hämtat det gyllene skinnet i Kolchis. Färden har gått från Svarta havet, uppför Donau och därefter genom sydöstra Europa på en vindlande väg som bara har föga samband med en geografisk verklighet. Apollonios avser heller inte att ge en beskrivning av denna verklighet. Han diktar, och hans skildring kan inte användas som evidens för vad en besökare kunde se vare sig i Östersjöområdet eller någon annanstans i världen. Slutligen kommer argonauterna dock till Adriatiska havets för grekerna någorlunda välbekanta farvatten. De drivs åt nordväst genom detta hav av en storm som Zeus sänt, och "innerst i bukten" (*μύχατον*, v. 596) når de mynningen av floden Eridanos. När de rör uppför den, kommer de till den plats där Faethon har förolyckats.

Det är helt klart att Apollonios här inte talar om något som tilldragit sig i Östersjöområdet, utan han har identifierat floden Eridanos med Po, liksom hans samtid gärna gjorde. I de antika folkens föreställningsvärld verkar flodnamnet Eridanos alltid ha förknippats med bärnsten, medan däremot flodens geografiska lokalisering växlat.¹⁵ I tidiga versioner av Faethonmyten lokaliserades Eridanos till det fjärran, okända Nordeuropa. Senare, när Podalen blivit ett centrum för hanteringen av den norrifrån importerade bärnstenen, identifierades Eridanos med Po, och denna identifiering blev sedan allmänt accepterad.¹⁶ Till Podalen förlade också den tyske geologen Wolf von Engelhardt ett hypotetiskt meteoritnedslag, som enligt honom har gett upphov till Faethonmyten.¹⁷ Meteoriten ifråga ligger, antar han, begravd och oåtkomlig djupt nere i Poda-

14. Apollonios, *Argonautika* 4.596–599, 620–626: *ἐς δ' ἔβαλον μύχατον ῥόον Ἐριδανοῖο, / ἔνθα ποτ' αἰθαλόεντι τυπείς πρὸς στέρνα κεραυνῶ / ἡμιδαῆς Φαέθων πέσειν ἄρματος Ἡελίοιο / λίμνης ἐς προχοὰς πολυβενθέος / / ... ἀλλ' ἄρα τοίγε / ἡματα μὲν στρέγγοντο περιβληχρὸν βαρύθουτες / ὀδμη λευγαλέῃ τήν ῥ' ἄσχετον ἐξανίεσκον / τυφομένου Φαέθοντος ἐπιρροαὶ Ἐριδανοῖο, / νυκτὸς δ' αὖ γόου ὄξυν ὀδυρομένων ἐσάκουον / Ἡλιάδων λιγέως· τὰ δὲ δάκρυα μυρομένησιν / οἷον ἐλαιηραὶ στάγες ὕδασιν ἐμφορέοντο* 'de styrde upp i Eridanos flöde innerst i bukten, / där en gång, träffad i bröstet av den flammande blixten, / Faethon halvdöd föll från Helios vagn / ner i den bråddjupa sjöns utflöde / / ... men de / plågades under dagen intill vanmakt, ansatta / av den förfärliga stank som steg upp / från den rykande Faethon ur Eridanos ström. / Under natten åter hörde de skärande klagoljud / från de gällt jämrande Heliaderna, och de sörjandes tårar / flöt omkring på vattnet som droppar av olja.'

15. Ett vattendrag som heter Eridanos rinner också genom Athen, men detta har aldrig antagits vara identiskt med bärnstensfloden.

16. Jfr Blomqvist 1994, 9–12

17. Engelhardt 1979.

lens lösa jordmassor. Någon fysisk evidens för ett nedslag i Podalen finns således inte, medan Kaalijärv är ett ovedersägligt bevis för att ett nedslag faktiskt har skett.

Dateringsproblemet

En svårighet för Wickman och mig när vi skrev våra artiklar var dateringen av Kaalijärvmeteoritens nedslag. Ingen säker datering fanns, men i början av 1990-talet rådde bland geologerna en viss konsensus om att händelsen knappast kunnat inträffa före 2000 f.Kr. utan istället kanske så sent som ca 1900.¹⁸ Denna datering var inte helt problemfri för vår hypotes, för händelsen kan då tänkas ha inträffat alltför tidigt för att kunna införlivas med den grekiska mytologiska traditionen.¹⁹ Sedan dess har dateringen flitigt diskuterats, främst av estniska geologer, och flera nya förslag har framförts. Tre av dem framstår nu som vetenskapligt bättre underbyggda än de övriga.²⁰

Ett av dessa bygger på det faktum att meteoriter normalt innehåller en större halt av grundämnet iridium än jordskorpan beståndsdelar. Ett meteoritnedslag kan därför spåras genom en förhöjd halt av iridium i jord eller berg kring nedslagsplatsen. En grupp danska geologer har identifierat ett iridiumhaltigt lager i en torvmosse (Piila) 8 km nordväst om Kaalijärv. Torven och annat organiskt material i det iridiumhaltiga lagret har C^{14} -daterats till perioden 400–370 f.Kr., och meteoriten antas ha slagit ner någon gång under denna tid.²¹ Om denna datering är riktig, ger den en dödsstöt åt Faethonhypotesen. Myten kan beläggas i grekisk litteratur allra senast ca 460 f.Kr. (Aischylos, *Heliades*, *TrGF* 68–72 Radt).²² Om nedslaget inträffade först femtio eller hundra år senare, kan det inte ha gett upphov till myten. Estniska geologer har med

18. Blomqvist 1994, 14–15 med noter. Dateringarna anges där i år före nutid (before present/BP), inte f.Kr. som här. Jfr också Veski *Et al.* 2004, 198–199, Veski *Et al.* 2007, 268–269.

19. Det finns ingen säker kunskap om hur länge en historisk händelse kan bevaras i folkminnet, i form av en myt eller på annat sätt. De exempel som nämns i Blomqvist 1994 (4–5, 8) är osäkra; jfr också Haas, Peekna & Walker 2003, 70–71. Det förefaller rimligt att anta att minnet av en spektakulär händelse kan bevaras i åtminstone några århundraden men knappast genom årtusenden. Wickmans och min hypotes bygger på antagandet att berättelsen om Kaalijärvmeteoriten nått Grekland i sammanhang med bärnstensimporten under bronsåldern och där omformats till en mytisk berättelse som i likhet med andra bronsåldersmyter införlivats med grekernas myttradition och kunnat bevaras till klassisk tid.

20. Veski *Et al.* 2004, 202, Plado 2012, 1597–1598.

21. Rasmussen, Aaby & Gwozdz 2000.

22. Blomqvist 1994, 6–7

delvis andra metoder senare justerat dateringen av det iridiumhaltiga lagret till 800–400 f.Kr.²³ Andra har hävdats att resultaten inte är tillförlitliga.²⁴ En omständighet som talar mot en sen datering av nedslaget är att arkeologiska fynd visar på mänsklig aktivitet från ca 700 f.Kr. och framåt på sluttningarna av den ringvall som meteoriten kastade upp och som nu omger Kaalijärv.²⁵

En studie som gett en starkt avvikande datering utgår från en annan typ av fynd i samma mosse samt på några andra lokaler. Dessa fynd utgörs av förglasade bergartsfragment, s.k. impaktiter.²⁶ Vid ett större meteoritnedslag är det vanligt att temperaturen blir tillräckligt hög för att fragment av meteoriten själv eller av berggrunden på nedslagsplatsen skall övergå i flytande form. Små droppar från denna smälta kan slungas iväg betydande sträckor i meteoritens nedslagsriktning. När de avkylts är de glasartade och har dropp- eller klotform, och det är sådana mikroimpaktiter som har påträffats på Ösel och grannön Dagö (Hiiumaa). Organiskt material i torvlagren närmast dem har C¹⁴-daterats, och detta ger en datering av meteoritnedslaget till 6500–6270 f.Kr.²⁷ Forskarteamet bakom denna datering har också gjort dateringar med hjälp av termoluminiscens och optiskt stimulerad luminiscens²⁸ av material från Kaalijärvs kratervall samt de mindre kratrarna runt om.²⁹ Om händelsen inträffade så tidigt, är det osannolikt att minnet av den kunnat bevaras i en grekisk myt.

Båda dessa dateringar bygger nästan enbart på material som insamlats på ett visst avstånd från huvudkratern. Det tredje mera beaktansvärda dateringsförsöket använde organiskt material som hade samlats på botten av sjön Kaalijärv.³⁰ Det kan antas att detta material började ansamlas genast efter att kratern hade bildats och att nytt mate-

23. Veski *et al.* 2001.

24. Raukas *et al.* 2005, 350–352.

25. Veski *et al.* 2004, 201, Veski *et al.* 2007, 272.

26. Raukas *et al.* 1995, Raukas 2000.

27. Kalibrerat värde enligt Plado 2012, 1597.

28. Den kosmiska strålningen medför att mineral i jordskorpan kontinuerligt laddas med energi, så länge de inte utsätts för ljus. När sådana mineral utsätts för antingen värme eller ljus, avges energin i form av fotoner och kan mätas. Den avgivna energimängden är proportionell mot den tid som gått sedan energiuppladdningen startade, dvs. sedan mineralet sist utsattes för naturligt ljus.

29. Stankowski *et al.* 2007, Raukas & Stankowski 2011, Moora, Raukas & Stankowski 2012.

30. Veski *et al.* 2004. Även Saarse *et al.* 1991 hade tidigare gjort en datering av samma typ av material och med ungefär samma resultat.

rial har tillförts efter hand. Materialet närmast botten av sjön C^{14} -daterades till 1690–1510 f.Kr.

Det föreligger alltså tre från varandra starkt divergerande dateringar av Kaalijärv-meteoritens nedslag. Den exakthet och precision som åtminstone humanister brukar förknippa med naturvetenskaplig forskning lyser här med sin frånvaro, medan närvaron av (hittills) oidentifierade felkällor är uppenbar. Den sena dateringen till 400–370 f.Kr., baserad på iridiumhaltig torv, motsägs av att kratervallen måste ha existerat flera hundra år tidigare, eftersom människor kunnat etablera sig där då; här kan vi lita på den arkeologiska dateringen. De arkeologiska fynden gör också den “korrigerade” dateringen till ca 800–400 f.Kr. osäker.

C^{14} -dateringen av de nedersta bottensedimenten i sjön till 1690–1510 f.Kr. förefaller vara svår att motsäga. Iridiumlagret och de förglasade impaktiterna kan inte direkt knytas till kraterns uppkomst, och formationerna där de har påträffats kan ha blivit sekundärt omrörda. Materialet från sjöbotten ligger däremot på sin ursprungliga plats, och undersökningen avslöjade inga tecken på att det utsatts för senare störningar. Den forskargrupp, som står för den tidiga dateringen till 6500–6270 f.Kr., hävdar dock att kratern och sjön kunnat ligga öppen under de cirka fyratusen år som förflöt mellan detta datum och fram till mitten av andra årtusendet utan att sediment av något slag har samlats på dess botten.³¹ Detta förutsätter att naturförhållandena på platsen under hela denna tid varit radikalt annorlunda än de som råder nu och annorlunda än de som kan antas ha rått under hela tidsperioden från den senaste istidens slut. Även om frågetecknen kvarstår, bör därför dateringen till 1690–1510 f.Kr. betraktas som den bäst underbyggda.

En datering till mitten av andra årtusendet f.Kr. passar naturligtvis väl ihop med hypotesen att meteoritnedslaget avspeglas i en av grekernas myter. De tidigaste fynden av baltisk bärnsten i det egeiska området är från ca 1500 f.Kr. eller kanske snarare ett

31. Raukas & Stankowski 2011, 41, Moora, Raukas & Stankowski 2012, 263.

hundratals är tidigare,³² och denna datering innebär därför att nedslaget inträffade vid en tidpunkt då handelsförbindelser hade etablerats mellan Grekland och de bärnstensproducerande områdena i norr, så att berättelsen om ett spektakulärt naturfenomen på Ösel via handelsvägarna kunde föras söderut till bärnstenens avnämare i länderna kring Medelhavet. Denna nya datering gör således ett samband med Faethonmyten mera sannolikt än den datering som var accepterad 1994.

Problemet Tüttensee

När Wickman och jag skrev våra artiklar, var endast ett enda meteoritnedslag känt som skulle ha kunnat ge upphov till Faethonmyten, nämligen Kaalijärv; alla övriga kända föll utanför den geografiska eller kronologiska ramen. Sedan dess har ytterligare en kandidat anmälts. Ett forskarteam, som är knutet till ett privat *Institute for Interdisciplinary Sciences* i det bayerska Gilching-Geisenbrunn med inriktning på "paleoastronomy, archeoastronomy, ethnoastronomy, paleomathematics, ethnomathematics, and some other paleosciences" samt "geomythology",³³ har sedan 2000 hävdade att ett meteoritnedslag inträffat i regionen Chiemgau i sydöstligaste Bayern och att det är denna meteorit som inte bara är upphovet till Faethonmyten utan också anledningen till att de antika keltiska folken fått uppfattningen att himlen kunde störta ned över dem och levde i skräck för att detta skulle ske.³⁴ Det mest påtagliga spåret efter Chiemgaumeteo-

32. De tidigaste fynden av bärnsten i det grekiska området har gjorts i schaktgravarna i Mykene (Causey 2011, 89). Traditionellt har dessa daterats till slutet av 1500-talet f.Kr. eller till strax efter 1500 (Vermeule 1972, 82–110). C¹⁴-dateringar och dendrokronologi samt dateringen av Thera-vulkanens utbrott till andra hälften av 1600-talet förskjuter kronologin ett århundrade bakåt (Shelmerdine 2008, Manning 2010a, b). Fynden från Mykene och de flesta senare fynd i Medelhavsområdet utgörs av baltisk bärnsten, vilket sedan 1970-talet har kunnat visas genom spektroskopisk analys (se t.ex. Beck 1985; om ett fynd från Syrien: Mukherjee *Et al.* 2008).

33. Webbplats: <http://infis.org>.

34. Om kopplingen till kelternas rädsla för en störtande himmel se Rappenglück & Rappenglück 2006, 107–108, Ernstson *Et al.* 2010, 94. Anekdoten om den keltiske kungen som på Alexanders fråga om vad han var rädd för svarade att det enda han fruktade var att himlen skulle falla ned över honom återberättas av Strabon (*Geographica* 7.3.8) och i något annorlunda form av Arrianus (*Alexandri anabasis* 1.4.8); deras källa var Ptolemaios I:s historieverk (*FgrHist* 138 F 2). Yttrandet tolkas av CIRT-forskarna som belägg för att kelter mer eller mindre ständigt gick omkring och fruktade att himlen skulle falla ned över dem. Detta är visserligen den normala tolkningen (som också spritt sig till populärkulturen; hövdingen i Asterix by av okuvliga galler fruktar bara "une chose: c'est que le ciel lui tombe sur la tête"). Men vad den keltiske kungen ville säga var snarare att han inte var rädd för något överhuvudtaget, för himlen finns där den finns och kan naturligtvis inte störta ner på jorden.

riten anges vara sjön Tüttensee ca 30 km väster om Salzburg; den har samma approximativt runda form som t.ex. Kaalijärv men är större, 200 m i diameter mot Kaalijärvs ca 110 m. I trakten finns också flera andra, mindre vattensamlingar i fördjupningar som antas vara formade av fragment av samma meteorit.

Forskargruppen kallar sig "The Chiemgau Impact Research Team", förkortat "CIRT". Projektets hemsida³⁵ ger utförlig information om verksamheten. Teamets teser har fått stor uppmärksamhet i lokala och regionala medier, och även ett museum som ska hugfästa minnet av meteoritnedslaget och dess följdverkningar har inrättats. Forskarna har lagt fram sina teser vid ett antal kongresser, och kongressföredragen finns delvis publicerade, liksom några vetenskapliga artiklar.

CIRT-forskarna är fullt medvetna om Wickmans och min Kaalijärvhypotes. En av dem, historikern Barbara Rappenglück, tog kontakt med mig 2005 och sände mig ett av sina kongressföredrag.³⁶ Efter en första genomläsning av detta var jag närmast beredd att helt överge Kaalijärvhypotesen. Den byggde ju på något som var ett obestriddigt faktum 1994, nämligen att Kaalijärvmeteoriten var den enda som hade slagit ned i det aktuella, bärnstensproducerande området och inom ett rimligt tidsavstånd i förhållande till den grekiska mytens sannolika tillkomsttid. Tüttensee har visserligen inte samma naturliga, geografiska anknytning till bärnstensproduktionen som Kaalijärv, men de handelsvägar via vilka bärnstenen fördes till Medelhavsområdet kan ha gått genom Chiemgau eller inte alltför långt därifrån.³⁷ Berättelsen om ett meteoritnedslag i detta område skulle därför kunna tänkas ha nått Medelhavsområdet och i den grekiska myten kopplats samman med bärnstenen. Kaalijärv var således inte längre det enda tänkbara alternativet, och då framstod hypotesen som alltför svagt underbyggd för att vidare kunna försvaras.

Men CIRT-teamets Tüttenseehypotes är i verkligheten behäftad med väsentliga svagheter. Ett antal geologer av facket, knutna till tyska universitet, den geologiska avdelningen vid Bayerisches Landesamt für Umwelt och Museum für Naturkunde i Berlin tar helt avstånd från CIRT-teamets påstående att en meteorit slagit ner i Chiemgau och skapat Tüttensee. En artikel som CIRT-teamet publicerade i antiktid-

35. <http://www.chiemgau-impakt.de>.

36. Rappenglück & Rappenglück 2006.

37. Om bärnstensvägarna se Spekke 1957, Graziadio 1998.

skriften *Antiquity* 2010³⁸ blev utsatt för förödande kritik från fackgeologiskt håll i följande volym av tidskriften.³⁹ Kritikerna menar att man för att förklara ursprunget av Tüttensee, de övriga vattensamlingarna och andra formationer däromkring i första hand bör beakta att området delvis varit täckt av den alpina inlandsisen och att glaciärer gått fram över terrängen även en tid efter att landisens avsmältning hade inletts. Tüttensee är enligt detta förklaringsätt mest sannolikt en s.k. dödisgrop,⁴⁰ en typ av formation som är känd också från t.ex. slättområden i Sydkandinavien som isen en gång täckte. Ett stort stycke av inlandsisen eller av en glaciär har pressats ned i de lösa jordlagren och blivit kvar i fruset tillstånd efter att isen på jordytan runtom har smält. När isblocket så småningom smälter bort, kvarlämnar det en fördjupning i marken, oftast vattenfylld. Tüttensee är enligt geologerna en sådan bildning.

Kritikerna underkänner också giltigheten av de indikationer i terrängen som CIRT-forskarna har anfört som bevis för att Tüttensee är skapad av ett meteoritnedslag. Geologer brukar räkna med fyra kriterier som anses visa att ett meteoritnedslag har inträffat: en krater med en av meteoriten uppkastad ringvall runtom, fynd av impaktiter i kringliggande terräng, förekomst av s.k. chockad kvarts samt förhöjd iridiumhalt.

Kring delar av Tüttensees stränder finns jordvallar som av CIRT anses vara uppkastade av meteoriten. Kritikerna påpekar att dessa vallar inte har den regelbundna cirkel- eller ellipsform som normalt bildas vid meteoritnedslag och som t.ex. finns vid Kaalijärv; de är istället av växlande höjd och bredd, och vallar saknas i vissa sektorer av sjöns strandområde. Materialet som vallarna består av är sådan moränjord som inlandsisen förde med sig och som avsattes som sediment på jordytan när isen drog sig tillbaka. Vallarna bör alltså förklaras som istidsavlagringar, och det finns ingenting i deras struktur eller sammansättning som entydigt indikerar ett meteoritnedslag.

38. Rappenglück *et al.* 2010. En annan samtidig framställning av CIRT-teamets ställningstaganden är Ernstson *et al.* 2010. Teamets svar på kritiken i *Antiquity* (Rappenglück *et al.* 2011) övertygar inte.

39. Doppler *et al.* 2011. Andra exempel på geologers ställningstaganden: Doppler & Geiss 2005, Wünnemann, Reimold & Kenkmann 2007a–b, Darga & Wierer 2009.

40. Grafisk framställning av utvecklingen: Kroemer 2010b.

CIRT-forskarna har också i området kring Tüttensee gjort vissa fynd av bergartsfragment och mineraler som de anser vara bevis för ett meteoritnedslag; bland dem finns fragment av brecciatyp⁴¹ samt ett antal på ytan förglasade stenar som av CIRT-forskarna tolkas som impaktiter. Breccia är enligt kritikerna vanligt förekommande i området och är ett resultat av krafter som verkade då bergskedjeveckningen skapade Alperna. De påstådda impaktiterna är enligt kritikerna avfallsprodukter från den malmförädling, metallbearbetning, kalkbränning och andra verksamheter som försiggått i området under flera århundraden. CIRT-forskarna medger att en del av det material som de förknippat med en meteorit kan ha antropogent ursprung men hävdar att det förekommer i sådan mängd och på sådana lokaliteter att inte allt kan utgöras av spår av mänskliga aktiviteter. En viss typ av bildningar, små kulor huvudsakligen bestående av kol och upp till ett par millimeter i genomskärning ("carbonaceous spherules"), som CIRT-forskarna räknar som spår av en meteorit, påträffas enligt dem själva "in soils widespread across Europe".⁴² Detta material kan således inte betraktas som spår av något som hände just i trakten av Tüttensee, och kritikerna hänvisar till att likartade konglomerationer också kan uppstå t.ex. i koleldade ångpannor.⁴³ De bergartsfragment och mineral som CIRT hänvisar till utgör således inte bevis för att ett meteoritnedslag har inträffat.

CIRT-teamet uppger också att bergartsfragment som innehåller chockad kvarts har påträffats i området.⁴⁴ Kvarts (kiseldioxid, SiO₂) är ett av jordskorpanns vanligaste mineral. När det utsätts för extremt högt tryck, som vid meteoritnedslag, förändras dess kristallstruktur, så att ett mönster av tunna parallella linjer framträder på ett mikrofotografi. Chockad kvarts är för övrigt bara känd från lokaliteter där meteoritnedslag faktiskt har inträffat, och CIRT-folket konstaterar med tillfredsställelse⁴⁵ att

41. Breccia är en hopsmält eller hopkittad massa av olika bergartsfragment, där de ingående beståndsdelarna är någorlunda intakta och tämligen lätt kan identifieras. Breccia bildas vid låga temperaturer, medan impaktiternas struktur är åtminstone delvis glasartad, eftersom beståndsdelar i dem har varit helt genomsmälta och blandats med varandra i smält tillstånd.

42. Rappenglück *et al.* 2010, 430. Jfr också Rappenglück & Rappenglück 2006, 106, Ernstson *et al.* 2010, 86–87.

43. Doppler *et al.* 2011, 276.

44. Rappenglück *et al.* 2010, 432, fig. 3, Ernstson *et al.* 2010, 82–83, fig. 18–21.

45. Rappenglück *et al.* 2011, 279.

deras kritiker inte har presterat någon tillförlitlig alternativ förklaring av just dessa fynd.

Vid Tüttensee saknas således egentliga kratervallar, de påstådda impaktiterna kan sannolikt förklaras på annat sätt, och någon förhöjd iridiumhalt har inte rapporterats. De bergartsfragment med chockad kvarts som CIRT redovisar kommer från lösa stenar, inte från den fasta berggrunden, och man kan inte utesluta att dessa har förts till området sekundärt bland de moränmassor som avsattes av den alpina inlandsisen och av glaciärerna, men fynden av chockad kvarts gör det likväl nödvändigt att räkna med möjligheten av att det är en meteorit som har skapat Tüttensee. Något helt ovedersägligt bevis utgör de dock inte.

Men även om Tüttensee verkligen skapats av en meteorit, gör dateringen av händelsen CIRT:s övriga påståenden ohållbara. De försök till dateringar av meteoritnedslaget som CIRT har presenterat har varit osäkra och vaga. Sedan 2010 föreligger en tillförlitlig precisering av Tüttensees ålder som gjorts av en geolog vid Bayerisches Landesamt für Umwelt.⁴⁶ Den motbevisar visserligen inte definitivt hypotesen att en meteorit har skapat Tüttensee, men den gör det omöjligt att längre hävda att den eventuella meteoriten gett upphov till en grekisk myt eller till kelternas skräck för en nedstörtande himmel.

Den bayerske geologen har använt samma dateringsmetod som en av de estniska forskargrupperna har använt vid arbetet med Kaalijärv: han har C^{14} -daterat organiskt material i sediment från Tüttensees botten. Resultatet blir att det äldsta materialet i borrhärnan härrör från ca 10500 f.Kr. Den borrhärnan som togs upp för analysen visar inga tecken på att sedimentlagren rörts om eller utsatts för några väsentliga störningar efter denna tid. Borrhärnan innehåller torv och sjökalk (bleke, "Seekreide"), dvs. enbart material som ansamlats efter att sjön uppstått,⁴⁷ och ett meteoritnedslag i dess

46. Kroemer 2010.

47. CIRT hävdar felaktigt att borrhärnan togs upp i fast mark så långt från sjön att meteoritnedslaget inte kunnat ha någon effekt på platsen (Rappenglück *et al.* 2011, 279, fig. 1). Det kan noteras, att medan CIRT-teamet i Rappenglück *et al.* 2011 förnekar att meteoritkraschen hade någon effekt i jordlager några tiotal meter från Tüttensees strand, har ungefär samtidigt fyra av medförfattarna till denna artikel hävdat att meteoritnedslaget förorsakade utbredd markförvätskning ("widespread liquefaction"), nu manifesterad i form av upp till ett tusental slukhål ("sink-holes"), i ett område kring Kienberg norr om Chiemsee på ett avstånd av 15–20 kilometer från Tüttensee (Ernstson *et al.* 2011).

omedelbara närhet skulle ha lämnat spår efter sig i stratigrafien. Tüttensee är alltså minst 12500 år gammal, och något spår av meteoritnedslag från senare tid kan inte konstateras.

För 12500 år sedan befann sig området nära isranden; det var ett tundralandskap och inte lämpat för stadigvarande mänsklig bosättning. Där kan knappast ha funnits många människor som kunnat bevittna ett eventuellt meteoritnedslag. För att minnet av ett spektakulärt naturfenomen på en plats ska kunna bevaras genom så lång tid som flera tusen år – om detta överhuvudtaget är möjligt – krävs en kontinuerlig närvaro av en befolkning som kan bevara traditionen, föra över den till yngre generationer och eventuellt föra den vidare till andra grupper av människor som de kommer i kontakt med. Sådana förhållanden rådde inte i det tundralandskap som det nyligen från isen befriade Chiemgau utgjorde. Dateringen av Tüttensees tillkomst gör en anknytning till grekisk myt eller keltisk järnålder otänkbar.

Var står vi nu?

Chiemgaumeteoritens existens bör sannolikt ifrågasättas, och även om Tüttenseebäckenet mot förmodan verkligen skulle vara en gammal meteoritkrater, måste denna ha bildats så tidigt att den spektakulära händelse som förutsätts ha ägt rum inte kan ha bevarats i minnet tillräckligt länge för att påverka en grekisk myt. Försåvitt berättelsen om Faethons öde överhuvudtaget är den mytiska omklädnaden av ett meteoritnedslag (vilket är ett rimligt antagande) och om vi korrekt har lokaliserat denna händelse i tid och rum (vilket är sannolikt), då är fortfarande Kaalijärvmeteoritens nedslag, precis som Frans Erik Wickman menade, den enda kända händelse av detta slag som kan tänkas ha gett upphov till myten om Faethon.

Ett osäkerhetsmoment är dock att fler nord- eller centraleuropeiska meteoritnedslag av lämplig ålder kan komma att identifieras i framtiden. Ett sådant, som möjligen är intressant i denna kontext, kan ha inträffat i närheten av Morasko i Polen. Moraskometeoriten har tidigare ansetts vara yngre än 2000 år, men nyare dateringar pekar mot en högre ålder.⁴⁸

jerker.blomqvist@gmail.com

48. Stankowski *et al.* 2007, Stankowski & Muszyński 2008, Stankowski 2011.

Referenser

Hänvisningar till webbplatser avser förhållanden i mars 2013

Aujac 1975

Géminos, *Introduction aux phénomènes*. Texte établi et traduit par Germaine Aujac, Paris, 1975 (Collection des universités de France).

Beck 1985

Curt W. Beck, 'The role of the scientist – The amber trade, the chemical analysis of amber, and the determination of Baltic provenance', *Journal of Baltic Studies* 16, 1985, 191–199.

Blomqvist & Wickman 1994

Jerker Blomqvist & Frans Erik Wickman, 'Myten och verkligheten: Störtade Faethon på Ösel?', *Medusa* 15:1, 1994, 32–39.

Blomqvist 1994

Jerker Blomqvist, 'The fall of Phaethon and the Kaalijärv meteorite crater: is there a connexion?', *Eranos* 92, 1994, 1–16.

Boström 2004

Kurt Boström, 'Memorial of Frans Erik Wickman', *GFF* 126, 2004, 317–320.

Causey 2011

Faya Causey, *Amber and the Ancient World*, Los Angeles, 2011.

Cline 2010

The Oxford Handbook of the Bronze Age Aegean (ca. 3000–1000 BC). Edited by Eric H. Cline, Oxford & New York, 2010.

Darga & Wierer 2009

R. Darga & J.F. Wierer, 'Der Chiemgau-Impakt: eine Spekulationsblase; oder: der Tüttensee ist kein Kometenkrater', i: R. Darga & J.F. Wierer (ed.), *Auf den Spuren des Inn-Chiemsee-Gletschers: Exkursionen* München, 2009 (Wanderungen in die Erdgeschichte 27), 174–185 (<http://www.scribd.com/doc/26218026/Der-Chiemgau-Impakt-%E2%80%93-eine-Spekulationsblase-Oder-Der-Tuttensee-ist-KEIN-Kometenkrater>).

Diggle 1970

Euripides, *Phaethon*. Edited with prolegomena and commentary by James Diggle, Cambridge, 1970 (Cambridge Classical Texts and Commentaries)

Doppler & Geiss 2005

Gerhard Doppler & Erwin Geiss, *Der Tüttensee im Chiemgau – Toteiskessel statt Impaktkrater*. Bayerisches Geologisches Landesamt [2005] (<http://www.lfu.bayern.de/suchen/index.htm?q=Toteiskessel>).

Doppler *et al.* 2011

Gerhard Doppler, Erwin Geiss, Ernst Kroemer & Robert Traidl, 'Response to 'The fall of Phaethon: a Greco-Roman geomyth preserves the memory of a meteorite impact in Bavaria (south-east Germany)' by Rappenglück *et al.* (*Antiquity* 84)', *Antiquity* 85, 2011, 274–277.

Engelhardt 1979

Wolf von Engelhardt, *Phaetons Sturz, ein Naturereignis?*, Berlin, 1979 (Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse 1979:2).

Ernstson *et al.* 2010

Kord Ernstson, Werner Mayer, Andreas Neumair, Barbara Rappenglück, Michael A. Rappenglück, Dirk Sudhaus & Kurt W. Zeller, 'The Chiemgau Crater Strewn Field: Evidence of a Holocene Large Impact Event in Southeast Bavaria, Germany', *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies* 1, 2010:3, 72–103.

Ernstson *et al.* 2011

Kord Ernstson, Werner Mayer, Andreas Neumair & Dirk Sudhaus, 'The sinkhole enigma in the Alpine Foreland, Southeast Germany: Evidence of impact-induced rock liquefaction processes', *Central European Journal of Geosciences* 3:4, 2011, 385–397.

Graziadio 1998

G. Graziadio, 'Trade circuits and trade-routes in the Shaft Grave period', *Studi Micenei ed Egeo-Anatolici* 40:1, 1998, 29–76.

Haas, Peekna & Walker 2003

Ain Haas, Andres Peekna & Robert E. Walker, 'Echoes Of Ancient Cataclysms In The Baltic Sea', *Folklore. Electronic Journal of Folklore* 23, 2003, 49–85 (<http://www.folklore.ee/folklore/vol23/>).

Kroemer 2010a

Ernst Kroemer, *Sedimententnahme und Datierungen in der Verlandungszone des Tüttensees*. Bayerisches Landesamt für Umwelt (http://www.lfu.bayern.de/geologie/doc/tuettensee_datierungen_kurztext_kea_end.pdf).

Kroemer 2010b

Ernst Kroemer, *Entstehung des Tüttensees als Toteiskessel*. Bayerisches Landesamt für Umwelt (http://www.lfu.bayern.de/geologie/doc/blockbilder_entstehung_des_tuettensees.pdf).

Manitius 1898

Gemini Elementa astronomiae. Ad codicum fidem recensuit, Germanica interpretatione et commentariis instruxit Carolus Manitius, Lipsiae, 1898 (Bibliotheca scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana).

Manning 2010a

Sturt W. Manning, 'Chronology and terminology', i: Cline 2010, 11–28.

Manning 2010b

Sturt W. Manning, 'Eruption of Thera/Santorini', i: Cline 2010, 457–474.

Mette 1952

Pytheas von Massalia. Collegit Hans Joachim Mette, Berlin, 1952 (Kleine Texte für Vorlesungen und Übungen 175).

Moora, Raukas & Stankowski 2012

Tanel Moora, Anto Raukas & Wojciech T.J. Stankowski, 'Dating of the Reo site (Island of Saaremaa, Estonia) with silicate and iron microspherules points to an exact age of the fall of the Kaali meteorite', *Geochronometria* 39:4, 2012, 262–267.

Mukherjee *et al.* 2008

Anna J. Mukherjee, Elisa Roßberger, Matthew A. James, Peter Pfalzner, Catherine L. Higgitt, Raymond White, J David A. Peggie, Dany Azar & Richard P. Evershed, 'The Qatna lion: scientific confirmation of Baltic amber in late Bronze Age Syria', *Antiquity* 82, 2008, 49–59.

Plado 2012

Jüri Plado, 'Meteorite impact craters and possibly impact-related structures in Estonia', *Meteoritics & Planetary Science* 47:10, 2012, 1590–1605.

Rappenglück & Rappenglück 2006

Barbara & Michael Rappenglück, 'Does the myth of Phaethon reflect an impact? Revising the fall of Phaethon and considering a possible relation to the Chiemgau Impact', i: Ioannis Liritzis (ed.), *Proceedings of the International Conference on Archaeoastronomy. SEAC 14th 2006. 'Ancient watching of cosmic space and observation of astronomical phenomena. 6–10 April, 2006, Rhodes, Greece (=Mediterranean Archaeology and Archaeometry. Special issue 6:3, 2006)*, 101–109

Rappenglück *et al.* 2010

Barbara Rappenglück, Michael A. Rappenglück, Kord Ernstson, Werner Mayer, Andreas Neumair, Dirk Sudhaus & Ioannis Liritzis, 'The fall of Phaethon: a Greco-Roman geomyth preserves the memory of a meteorite impact in Bavaria (south-east Germany)', *Antiquity* 84, 2010, 428–439.

Rappenglück *et al.* 2011

Barbara Rappenglück, Michael A. Rappenglück, Kord Ernstson, Werner Mayer, Andreas Neumair, Dirk Sudhaus & Ioannis Liritzis, 'Reply to Doppler et al. 'Response to 'The fall of Phaethon: a Greco-Roman geomyth preserves the memory of a meteorite impact in Bavaria (south-east Germany) (*Antiquity* 84)', *Antiquity* 85, 2011, 278–280.

Rasmussen, Aaby & Gwozdz 2000

Kaare L. Rasmussen, Bent Aaby & Raymond Gwozdz, 'The age of the Kaalijärv meteorite craters', *Meteoritics & Planetary Science* 35:5, 2000, 1067–1071.

Raukas & Stankowski 2011

Anto Raukas & Wojciech Stankowski, 'On the age of the Kaali craters, Island of Saaremaa, Estonia', *Baltica* 24:1, 2011, 37–44.

Raukas *et al.* 1995

A. Raukas, R. Pirrus, R. Rajamäe, R. Tiirmaa, 'On the age of meteorite craters at Kaali (Saaremaa Island, Estonia)', *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology* 44, 1995, 177–183

Raukas *et al.* 2005

Anto Raukas, J.-M. Punning, T. Moora, Ü. Kestlane & A. Kraut, 'The Structure and Age of the Kaali Main Crater, Island of Saaremaa, Estonia', in: Christian Koeberl & Herbert Henkel (eds.), *Impact Tectonics*, Berlin & Heidelberg, 2005, 341–355.

Raukas *et al.* 2009

Anto Raukas, Heikki Bauert, Sebastian Willman, Elle Puurmann & Urve Ratas, *Geotourism Highlights of the Saaremaa and Hiiumaa Islands*. NGO GEOGuide Baltoscandia, Tallinn 2009
(<http://www.centralbalticgeotourism.eu/travelguides.html>).

Raukas 2000

Anto Raukas, 'Investigation of impact spherules — a new promising method for the correlation of Quaternary deposits', *Quaternary International* 68–71, 2000, 241–252.

Saarse *et al.* 1991

Leili Saarse, Raivo Rajamae, Atko Heinsalu, Jyri Vassiljev, 'The biostratigraphy of sediments deposited in the Lake Kaali meteorite impact structure, Saaremaa Island, Estonia', *Bulletin of the Geological Society of Finland* 63, 1991, 129—139

Shelmerdine 2008

Cynthia W. Shelmerdine, 'Relative and absolute chronology', in: C.W. Shelmerdine (ed.), *The Cambridge Companion to the Aegean Bronze Age*, Cambridge, 2008, 3–7.

Spekke 1957

Arnolds Spekke, *The Ancient Amber Routes and the Geographical Discovery of the Eastern Baltic*, Stockholm, 1957 (reprint Chicago, 1976).

Stankowski & Muszyński 2008

W.T.J. Stankowski & A. Muszyński, 'Time of fall and some properties of the Morasko meteorite', *Materials Science-Poland* 26:4, 2008, 897–902.

Stankowski *et al.* 2007

Wojciech T.J. Stankowski, Anto Raukas, Andrzej Bluszcz & Stanislaw Fedorowicz, 'Luminescence dating of the Morasko (Poland), Kaali, Ilumetsa and Tsõõrikmäe (Estonia) meteorite craters', *Geochronometria* 28, 2007, 25–29.

Stankowski 2011

Wojciech T.J. Stankowski, 'Luminescence and radiocarbon dating as tools for the recognition of extraterrestrial impacts', *Geochronometria* 38, 2011, 50–54.

Vermeule 1972

Emily Vermeule, *Greece in the Bronze Age*. Fifth Impression, Chicago, 1972.

Veski *et al.* 2001

Siim Veski, Atko Heinsalu, Kalle Kirsimäe, Anneli Poska & Leili Saarse, 'Ecological catastrophe in connection with the impact of the Kaali meteorite about 800–400 B.C. on the island of Saaremaa, Estonia', *Meteoritics & Planetary Science* 36, 2001, 1367–1375.

Veski *et al.* 2004

Siim Veski, Atko Heinsalu, Valter Lang, Ülo Kestlane & Göran Possnert, 'The age of the Kaali meteorite craters and the effect of the impact on the environment and man: evidence from inside the Kaali craters, island of Saaremaa, Estonia', *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 2004, 197–206.

Veski *et al.* 2007

Siim Veski, Atko Heinsalu, Anneli Poska, Leili Saarse & Jüri Vassiljev, 'The Physical and Social Effects of the Kaali Meteorite Impact – a Review', i: Peter T. Bobrowsky & Hans Rickman (eds.), *Comet/Asteroid Impacts and Human Society. An Interdisciplinary Approach*, Berlin, 2007, 265–275.

Willman *et al.* 2010

Sebastian Willman, Jüri Plado, Anto Raukas & Heikki Bauert, *Meteorite Impact Structures – Geotourism in the Central Baltic*. NGO GEOGuide Baltoscandia, Tallinn 2010 (<http://www.centralbalticgeotourism.eu/travelguides.html>).