



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

En tunn, halvsmält första skorpa: en modell där nedslag, inte inre värme, styrde hadeikum

Jordens första eon lämnade nästan inget bergartsarkiv. Med ett stokastiskt, avtagande nedslagsflöde och benchmarktestade simuleringar finner studien att nedslagsvärme skulle ha överstigit jordens inre värme med minst en storleksordning under större delen av hadeikum. Det gav enligt modellen en tunn skorpa under ~5 km, delvis smält bara några kilometer ned och för svag för plattetektonik. När nedslagen avtog efter ~3,9 Ga kunde varaktig kontinental skorpa bildas. Det är en stark, konservativ modell — inte en direkt observation av jordens barndom.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso
· AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Impact heating and the hidden Hadean*, Tim E. Johnson, Craig O'Neill, Simon Turner, Christopher L. Kirkland, Science (2026), 392:1408-1412 · DOI: [10.1126/science.aeb5402](https://doi.org/10.1126/science.aeb5402)

Kapitlet i jordens historia där nästan inga sidor finns kvar

Jorden är den enda planet vi känner till med kontinenter — den flytande, kiselrika mark vi lever på. Hur kontinenterna först bildades är ändå ett av geologins äldsta olösta problem, av ett brutalt skäl: nästan alla belägg är borta.

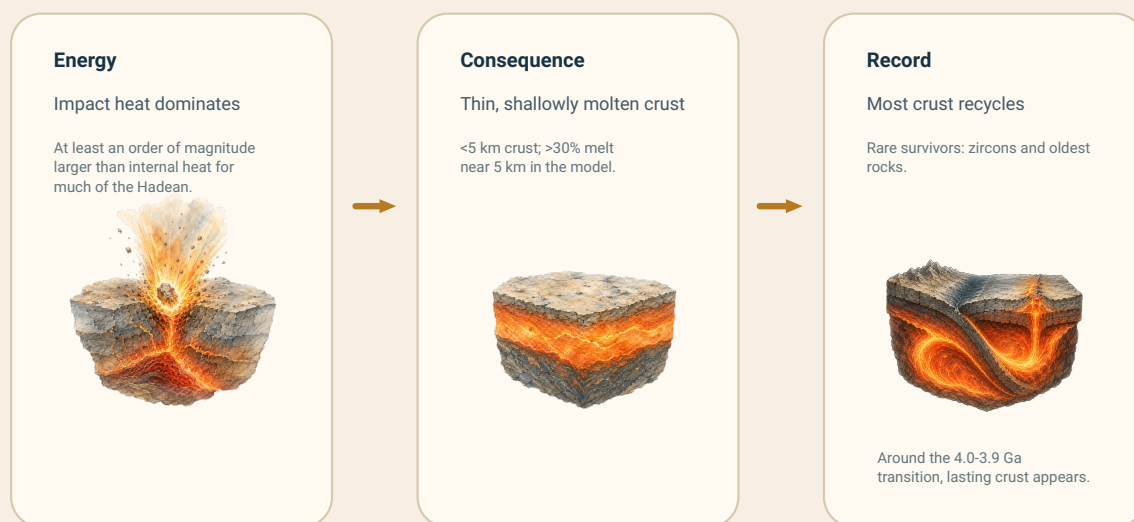
Jordens första eon, hadeikum, sträcker sig från planetens födelse till för omkring 4,03 miljarder år sedan (Ga). Nästan ingenting från den första halva miljarden år finns kvar. De äldsta intakta felsiska bergarterna är cirka 4,03 Ga gamla, några sällsynta basaltiska bergarter når ~4,2 Ga och de äldsta materialen är zirkonkristaller — framför allt från Jack Hills i västra Australien — daterade till 4,4 Ga. Det är hela arkivet från jordens barndom: några få platser och mineral i sandkornsstorlek.

Studien lägger inte till någon ny bergart i arkivet. Den bygger i stället en fysisk modell av hur den hadeiska jordskorpan skulle ha sett ut under dessa förhållanden och ställer en fråga som de flesta modeller av den tidiga jorden utelämnar: Vad händer om man inte längre ignorerar att jorden bombarderades?

Författarnas svar är slående. Under större delen av hadeikum skulle värmen från nedslag ha överträffat all jordens inre värme och lämnat en tunn, halvsmlt skorpa — enligt dem för svag för något som liknar modern plattetektonik. Det är en modell, inte ett minne. Men modellen försöker faktiskt räkna med våldsamheten i den era den beskriver.

A model of the Hadean, not a memory of it

The logic is thermal: impacts heat, crust melts, the archive erases itself.



Nedslagsvärme dominerar modellens energibudget, en tunn och ytligt smält skorpa återvinner sig själv och varaktig kontinental skorpa uppstår först kring övergången 4,0–3,9 Ga. Det är en modell av hadeikum, inte ett direkt minne av det.

Vad forskarna gjorde

Gruppen kombinerade tre beståndsdelar som vanligen hålls åtskilda.

Först en **stokastisk modell av nedslagsflödet** — asteroider och större kroppar som träffade det inre solsystemet under hadeikum och tidigt arkeikum. Det är inte den äldre idén om en enda topp av ”det sena tunga bombardemanget”, utan ett flöde som är starkt tidigt och **avtar med tiden**, med stora slumpmässiga nedslag. Modellen skalades från statistik för månen och det inre solsystemet och valdes för att stämma med zirkonernas åldersfördelning och tillgängliga paleomagnetiska belägg.

Sedan **geodynamiska simuleringar** av värmetransport genom skorpa och övre mantel. Forskarna använde den benchmarktestade lattice-Boltzmann-koden Planet_LB för både enkla endimensionella temperaturprofiler och fulla tvådimensionella ögonblicksbilder av mantelkonvektion vid 4,1 Ga. De tog med vanliga inre värmekällor och, viktigt nog, **magmatisk advektion**: värme som stigande smälta för uppåt och som de flesta termiska skorpmodeller utelämnar.

Slutligen gjorde de **fasjämviktsmodellering** av en realistisk tidig skorpa — en hydrerad hadeisk metabasalt från Nuvvuagittuq-grönstensbältet — för att avgöra vid vilken temperatur och vilket djup bergarten börjar smälta.

Ett metodval är centralt: författarna gjorde medvetet antaganden som *motverkar* den egna slutsatsen. De antog en ”icke-kondritisk” mantel med mindre än hälften av standardmodellens interna uppvärmning, använde konservativa uppvärmningshastigheter och bortsåg från tidvattenvärme från den unga, närbelägna månen. De beräknade temperaturerna är därför **minimivärden**. Den verkliga hadeiska jorden kan ha varit varmare.

Vad de fann

Nedslag, inte inre värme, dominerade hadeikums energibudget. Integrerat över tid överstiger nedslagsvärmen det inre bidraget med minst en storleksordning under större delen av hadeikum. I modellen driver nedslagsvärmen den tidiga tektoniken och blir en mindre faktor först efter cirka **3,9 Ga**.

Värmen höll skorpan tunn och smält nära ytan. Utan nedslag och smältadvektion blir skorpan delvis smält först under 10–15 km. Med nedslagsvärme stiger smältzonen till ungefär **2–5 km**. Vid cirka 5 km förutsäger modellerna mer än 30 % smälta, vilket gör bergarten för svag för en styv platta. Vid 5–10 km ger ~1000–1100 °C omfattande smältning nästan oavsett sammansättning. Den fasta skorpan skulle ha varit **tunn, under cirka 5 km**.

En halvsmält skorpa raderar sig själv. Omfattande smältning låter tätt järn- och magnesiumrikt material sjunka medan lättare, kiselrika smältor stiger. Skorpan utvecklas mot kiselrikare sammansättningar och kan bilda felsisk smälta där zirkon kristalliserar. Nästan hela den tunna skorpan skulle sedan ha återförts till den konvekterande manteln. I modellen är frånvaron av hadeiska bergarter inte en lucka utan en *förutsägelse*: bergarter från 4,2 Ga och zirkoner från 4,4 Ga är sällsynta överlevare.

Bombardemangets slut sammanfaller med de första varaktiga kontinenterna. När bombardemanget avtog under övergången 4,0–3,9 Ga kunde skorpan bli tjockare och bestå. De äldsta bevarade kontinentala bergarterna uppträder vid samma tid. Författarna uttrycker sig försiktigt: det är ”sannolikt ingen tillfällighet”.

Deras huvudslutsats är att **plattetektonik under hadeikum är osannolik** under dessa förhållanden.

De visar också varför tidigare studier kom fram till motsatsen. Tidigare stokastiska nedslagsmodeller fann att mindre än 2,5 % av skorpan var smält vid en given tidpunkt. De utelämnade de globala effekterna av stora nedslag på smältning djupt i manteln och värmetransporten uppåt med stigande magma. När båda tas med förändras den termiska bilden drastiskt.

Varför en modell inte är ett minne

Allt ovan är resultat från simuleringar, inte avläsningar av hadeiska bergarter. Det gör inte resultatet svagt, men bestämmer vilken sorts resultat det är.

Kedjan är en *modell* av nedslagsflödet som matar en *modell* av värmeflödet i mantel och skorpa, kontrollerad mot en *modell* av hur en viss bergart smälter. Varje länk är fysikaliskt motiverad och där det går benchmarktestad, men helheten är ett sammanhängande argument om hur hadeikum *måste* ha sett ut givet rimlig fysik, inte en mätning av hur det *faktiskt* såg ut.

De konservativa antagandena gör den kvalitativa slutsatsen — att skorpan var varm och svag — robust. Däremot låser de inte exakta geotermier, smältfraktioner eller skorpan tjocklek. Resultatets riktning är stark; decimalerna är preliminära.

Vad detta *inte* bevisar

- Det **observerar inte** den hadeiska skorpan direkt; det är ett modelleringsresultat.
- Det bygger **inte** på ett ”sent tungt bombardemang”, utan på ett avtagande, stokastiskt flöde.
- Det **avgör inte** debatten om plattetektonik. ”Osannolik” är en stark modellbaserad slutsats, men tektoniken är fortsatt omstridd.
- Det bevisar **inte** att nedslag *orsakade* kontinenterna kring 4,0–3,9 Ga. Tidssambandet är en övertygande korrelation, inte visad kausalitet.
- Zirkonerna från Jack Hills är **inte** bevarade kontinenter, utan sällsynta korn som visar att felsiskt material och vatten fanns tidigt.
- Det **rekonstruerar inte** hela den tidiga jordens historia. Simuleringarna är idealiserade endimensionella profiler och tvådimensionella ekvatoriella ögonblicksbilder.

Hur starka är beläggen?

För kärnpåståendet — att nedslagsvärme höll den hadeiska skorpan tunn och ytligt smält — är argumentet sammanhängande och konservativt. Det använder benchmarktestad kod, fysikaliskt rimliga indata och nedre gränser och tar med en värmekälla som tidigare modeller ofta ignorerat. Det förklarar dessutom både varför nästan ingen bergart äldre än ~4 Ga finns kvar och varför varaktig skorpa uppträder när bombardemanget avtar.



Jack Hills i västra Australien sedd med NASA:s ASTER-instrument. Zirkoner från området hör till det äldsta bevarade materialet från jordens tidiga skorpa, små ledtrådar från en eon vars bergarter nästan helt raderades.

NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, and U.S./Japan ASTER Science Team fair-use

Begränsningarna är lika tydliga: modeller byggs på modeller och förankras i ett mycket glest bergart-sarkiv. Slutsatsen att plattetektonik är osannolik är en inferens, inte en observation. Rätt hållning är att se detta som en stark, välmotiverad hypotes som omformulerar hadeikum och vars antaganden andra nu kan pröva.

Den mest användbara sammanfattningen är: givet rimlig, konservativ fysik skulle en tidig jord under kraftigt bombardemang haft en tunn, halvsmält och självåtervinnande skorpa — en idé som förklarar förvånansvärt mycket av det lilla vi faktiskt kan se.

Varför det spelar roll

Populära bilder av den tidiga jorden växlar mellan en lugn vattenvärld med plattetektonik och en helvetisk lavaplanet. Studien beskriver ett fysikaliskt motiverat mellanting: en tunn skorpa som återkommande smälte om från några kilometers djup, förstördes och byggdes upp på nytt, med nedslag snarare än inre värme som drivkraft.

Det ger en mekanism för två stora fakta: det nästan helt saknade bergartsarkivet och tidpunkten för de första varaktiga kontinenterna. Om modellen håller förändrar den hur vi resonerar om när jorden blev en planet med stabila kontinenter, och tanken kan överföras till andra stenplaneter som bildades under bombardemang.

Modellen behöver inte vara sista ordet, bara en tillräckligt bra hypotes att pröva. "Det dolda hadeikum" är just poängen: en era vi främst kan nå genom modeller, eftersom eran raderade sina egna belägg.

Ren sammanfattning

Jordens första eon, hadeikum före $\sim 4,03$ Ga, lämnade nästan inget bergartsarkiv. Denna modelleringsstudie lägger till en ofta utelämnad värmekälla: nedslag. Med ett stokastiskt, avtagande nedslagsflöde och benchmarktestade 1D- och 2D-simuleringar finner författarna att integrerad nedslagsvärme översteg jordens inre värme med minst en storleksordning under större delen av hadeikum. Följden är en skorpa under ~ 5 km som är delvis smält bara några kilometer ned och mer än 30 % smält vid ~ 5 km — för svag för plattetektonik enligt modellen. Skorpan skulle till stor del ha återvunnits i manteln. När nedslagen avtog kring 4,0–3,9 Ga kunde varaktig kontinental skorpa bildas samtidigt som de äldsta bevarade felsiska bergarterna uppträder. Den konservativa uppvärmningen gör den kvalitativa slutsatsen robust, men de exakta talen är inte låsta. Det är en stark modell av jordens barndom — inte en direkt observation.

Kontroll utan överdrifter

Vad studien visar: I fysikaliskt grundade simuleringar med nedslagsvärme och magmatisk värmetransport blir den hadeiska skorpan tunn, ytligt delvis smält, dominerad av nedslagsvärme och till stor del återvunnen i manteln — och kan enligt modellen inte bära plattetektonik.

Vad som är rimligt men inte bevisat: Att nedslag förklarar de varaktiga kontinenterna kring 3,9 Ga; att hadeikum hade ett stillastående eller mjukt lock snarare än plattetektonik; att smält återvinning specifikt förklarar det saknade bergartsarkivet.

Vad det inte visar: En direkt mätning av hadeisk skorpa; ett avgörande i plattetektonikdebatten; ett visat orsakssamband mellan avtagande bombardemang och kontinenter; att Jack Hills-zirkoner är bevarade kontinenter; en fullständig modell av den tidiga planeten.

Huvudsakliga begränsningar: Nästan obefintligt bergartsarkiv; modeller staplade på modeller; osäkert representativt nedslagsflöde; idealiserade 1D- och 2D-simuleringar. Konservativa nedre gränser stärker den kvalitativa slutsatsen men gör inte exakta geotermer säkra.

Hur stor tillit bör en allmän läsare ha? Hög tillit till att en kraftigt bombarderad tidig jord under rimlig fysik hade en varm, tunn, ytligt smält skorpa. Medelhög tillit till att detta gör plattetektonik osannolik och förklarar det saknade arkivet. Låg tillit till påståenden om att modellen *bevisar* hur eller exakt när kontinenterna bildades — den omformulerar hadeikum men observerar det inte direkt.

Källor

Johnson, O'Neill, Turner & Kirkland, Science 392:1408-1412 (2026)
<https://doi.org/10.1126/science.aeb5402>