



# The CLEAN PAPER

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

## En tynd, halvsmeltet første skorpe: en model, hvor nedslag, ikke indre varme, styrede hadeikum

*Jordens første æon efterlod næsten intet bjergartsarkiv. Med en stokastisk, aftagende nedslagsstrøm og benchmarktestede simuleringer finder studien, at nedslagsvarme ville have oversteget Jordens indre varme med mindst en størrelsesorden gennem det meste af hadeikum. Det gav ifølge modellen en tynd skorpe under ~5 km, delvist smeltet få kilometer nede og for svag til pladetektonik. Da nedslagene aftog efter ~3,9 Ga, kunne varig kontinental skorpe dannes. Det er en stærk, konservativ model — ikke en direkte observation af 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 historie, hvor næsten ingen sider er bevaret

Jorden er den eneste planet, vi kender, med kontinenter — det flydende, silicarige land, vi lever på. Hvordan kontinenterne først blev dannet, er alligevel et af geologiens ældste uløste problemer af en brutal grund: Næsten alle spor er væk.

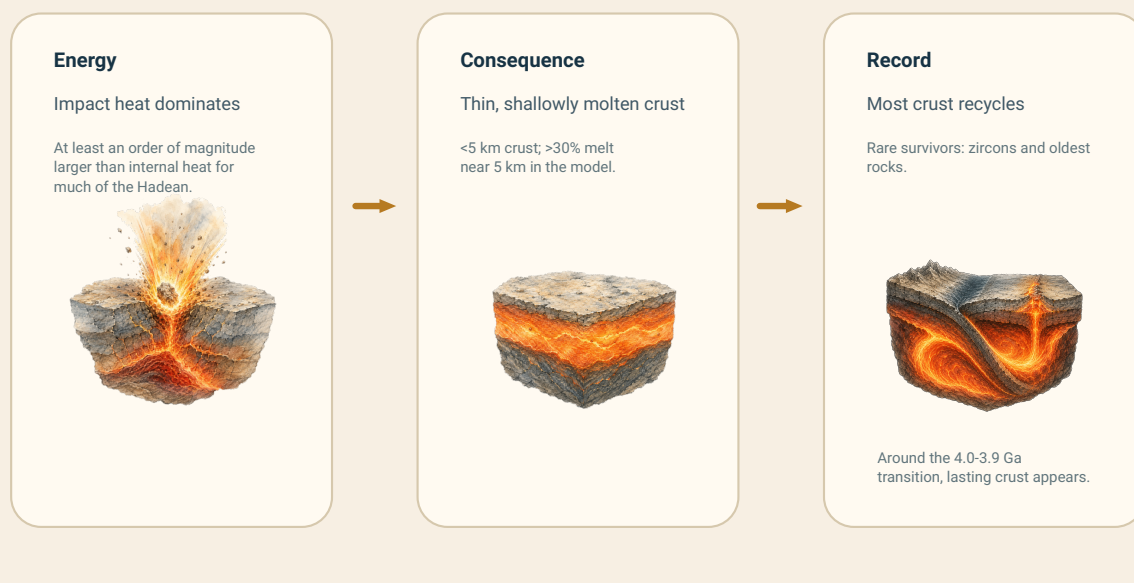
Jordens første æon, hadeikum, strækker sig fra planetens fødsel til for omkring 4,03 milliarder år siden (Ga). Næsten intet fra den første halve milliard år er bevaret. De ældste intakte felsiske bjergarter er cirka 4,03 Ga gamle, enkelte sjældne basalter når ~4,2 Ga, og de ældste materialer er zirkonkrystaller — især fra Jack Hills i Vesta i Australien — dateret til 4,4 Ga. Det er hele arkivet fra Jordens barndom.

Undersøgelsen føjer ikke en ny bjergart til arkivet. Den bygger en fysisk model af, hvordan den hadeiske skorpe ville have set ud under disse forhold, og spørger, hvad der sker, når man holder op med at ignorere, at den tidlige Jord blev bombarderet.

Svaret er slående. Gennem det meste af hadeikum ville varme fra nedslag have overvældet al Jordens indre varme og efterladt en tynd, halvsmeltet skorpe — efter forskernes vurdering for svag til noget, der ligner moderne pladetektonik. Det er en model, ikke et minde, men en model, der medregner den voldsomme æra, den beskriver.

## A model of the Hadean, not a memory of it

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



Nedslagsvarme dominerer modellens energibudget, en tynd og overfladenært smeltet skorpe genanvender sig selv, og varig kontinental skorpe opstår først omkring overgangen 4,0–3,9 Ga. Det er en model af hadeikum, ikke et direkte minde om det.

## Hvad forskerne gjorde

Holdet kombinerede tre dele, som normalt holdes adskilt.

Først en **stokastisk model af nedslagsstrømmen** — asteroider og større legemer, der ramte det indre solsystem gennem hadeikum og tidligt arkæikum. Det er ikke idéen om én top med et ”sent tungt bombardement”, men en strøm, der er stærk tidligt og **aftager med tiden**, med store tilfældige nedslag. Modellen blev skaleret fra statistik for Månen og det indre solsystem og valgt, så den stemmer med zirkonernes aldersfordeling og tilgængelig palæomagnetisk evidens.

Dernæst **geodynamiske simuleringer** af varmetransport gennem skorpen og den øvre kappe. Forskerne brugte den benchmarktestede lattice-Boltzmann-kode Planet\_LB til både simple endimensionale temperaturprofiler og todimensionale øjebliksbilleder af kappekonvektion ved 4,1 Ga. De medtog almindelige indre varmekilder og, afgørende, **magmatisk advektion**: varme, som stigende smelte fører opad, men som de fleste termiske skorpemodeller udelader.

Til sidst udførte de **faseligevægtsmodellering** af en realistisk tidlig skorpe — en hydreret hadeisk metabasalt fra Nuvvuagittuq-grønstensbæltet — for at bestemme, ved hvilken temperatur og dybde bjergarten begynder at smelte.

Ét metodevalg er centralt: Forfatterne valgte bevidst antagelser, der *modarbejder* deres egen konklusion. De brugte en ”ikke-kondritisk” kappe med mindre end halvdelen af standardmodellens indre opvarmning, konservative opvarmningsrater og ingen tidevandsvarme fra den unge, nære Måne. De beregnede temperaturer er derfor **minimumsværdier**. Den virkelige hadeiske Jord kan have været varmere.

## Hvad de fandt

**Nedslag, ikke indre varme, dominerede energibudgettet.** Integreret over tid overstiger nedslagsvarmen det indre bidrag med mindst en størrelsesorden gennem det meste af hadeikum. I modellen driver nedslagsvarme den tidlige tektonik og bliver først en mindre faktor efter cirka **3,9 Ga**.

**Varmen holdt skorpen tynd og smeltet nær overfladen.** Uden nedslag og smelteadvektion bliver skorpen først delvist smeltet under 10–15 km. Med nedslagsvarme stiger smeltezonen til cirka **2–5 km**. Ved omkring 5 km forudsiger modellerne mere end 30 % smelte, for svagt til en stiv plade. Ved 5–10 km giver ~1000–1100 °C omfattende smeltning næsten uanset sammensætning. Den faste skorpe ville være **tynd, under omkring 5 km**.

**En halvsmeltet skorpe udsletter sig selv.** Tæt jern- og magnesiumrigt materiale synker, mens lettere, silicarig smelte stiger. Skorpen udvikler sig mod mere silicarige sammensætninger og kan danne felsisk smelte, hvor zirkon krystalliserer. Næsten hele den tynde skorpe ville siden være blevet genan-

vendt i den konvekterende kappe. I modellen er manglen på hadeiske bjergarter ikke et hul, men en *forudsigelse*: Bjergarterne fra 4,2 Ga og zirkonerne fra 4,4 Ga er sjældne overlevende.

**Bombardementets ophør falder sammen med de første varige kontinenter.** Da bombardementet aftog gennem overgangen 4,0–3,9 Ga, kunne skorpen blive tykkere og bestå. De ældste bevarede kontinentale bjergarter optræder samtidig — ”sandsynligvis ikke tilfældigt”, skriver forfatterne forsigtigt.

Deres hovedslutning er, at **pladetektonik i hadeikum er usandsynlig** under disse forhold.

De viser også, hvorfor tidligere studier fandt en mindre virkning. Tidligere stokastiske nedslagsmodeller fandt, at mindre end 2,5 % af skorpen var smeltet på et givet tidspunkt. De udelod store nedslags globale effekt på dyb kappesmeltning og transporten af varmen opad med stigende magma. Når begge dele medtages, ændres varmebilledet drastisk.

## Hvorfor en model ikke er et minde

Alt ovenfor er resultater fra simuleringer, ikke aflæsninger af hadeiske bjergarter. Det gør ikke resultatet svagt, men bestemmer, hvilken slags resultat det er.

En *model* af nedslagsstrømmen føder en *model* af varmestrømmen i kappe og skorpe, kontrolleret mod en *model* af, hvordan en bestemt bjergart smelter. Hvert led er fysisk begrundet og så vidt muligt benchmarktestet, men helheden er et sammenhængende argument om, hvordan hadeikum *må* have set ud givet plausibel fysik, ikke en måling af, hvordan det *faktisk* så ud.

De konservative antagelser gør den kvalitative konklusion — en varm og svag skorpe — robust. De fastlåser ikke nøjagtige geotemer, smelteandele eller skorpetykkelse. Retningen er stærk; decimalerne er foreløbige.

## Hvad dette *ikke* beviser

- Det **observerer ikke** den hadeiske skorpe direkte; dette er modellering.
- Det bygger **ikke** på et ”sent tungt bombardement”, men på en aftagende, stokastisk strøm.
- Det **afgør ikke** debatten om pladetektonik. ”Usandsynlig” er en stærk modelbaseret slutning, men spørgsmålet er fortsat omstridt.
- Det beviser **ikke**, at nedslag *forårsagede* kontinenter omkring 4,0–3,9 Ga. Tidsmæssigt sammenfald er korrelation, ikke påvist årsag.
- Zirkonerne fra Jack Hills er **ikke** bevarede kontinenter, men sjældne korn, der viser, at felsisk materiale og vand fandtes tidligt.
- Det **rekonstruerer ikke** hele Jordens tidlige historie. Simuleringerne er idealiserede 1D-profiler og 2D-snit.

## Hvor stærk er evidensen?

For kernepåstanden — at nedslagsvarme holdt skorpen tynd og overfladenært smeltet — er argumentet sammenhængende og konservativt. Det bruger benchmarktestet kode, rimelige input og nedre grænser og inkluderer en varmekilde, tidligere modeller ofte overså. Det forklarer samtidig, hvorfor næsten ingen bjergart ældre end  $\sim 4$  Ga er bevaret, og hvorfor varig skorpe opstår, når bombardementet aftager.



Jack Hills i Vestaustralien set med NASA's ASTER-instrument. Zirkoner fra området er blandt de ældste bevarede materialer fra Jordens tidlige skorpe, små spor fra en æon, hvis bjergarter næsten blev udslettet.

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

Begrænsningerne er lige så tydelige: modeller oven på modeller, forankret i et meget sparsomt bjergartsarkiv. Påstanden om usandsynlig pladetektonik er en slutning, ikke en observation. Det bør læses som en stærk, velbegrundet hypotese, andre kan teste — især valget af nedslagsmodel — ikke som en afsluttet sag.

Den nyttigste opsummering er: Med plausibel, konservativ fysik ville en tidlig Jord under kraftigt bombardement have haft en tynd, halvsmeltet og selvgenanvendende skorpe — én idé, der forklarer overraskende meget af det lidt, vi faktisk kan se.

## Hvorfor det betyder noget

Populære billeder af den tidlige Jord skifter mellem en rolig vandverden med pladetektonik og en infernalsk lavaplanet. Studien skitserer et fysisk begrundet mellemstadium: en tynd skorpe, der gentagne gange smeltede om få kilometer nede, blev ødelagt og dannet på ny, styret af nedslag snarere end indre varme.

Det giver en mekanisme for to store kendsgerninger: det næsten manglende bjergartsarkiv og tidspunktet for de første varige kontinenter. Hvis modellen holder, ændrer den vores syn på, hvornår Jorden blev en planet med stabile kontinenter, og idéen kan overføres til andre klippeplaneter, der blev dannet under bombardement.

Modellen behøver ikke være sidste ord, kun en tilstrækkeligt god hypotese til at kunne testes. "Det skjulte hadeikum" er netop pointen: en æra, vi primært kan nå gennem modeller, fordi den slettede sin egen evidens.

## Ren opsummering

Jordens første æon, hadeikum før  $\sim 4,03$  Ga, efterlod næsten intet bjergartsarkiv. Denne studie tilføjer en ofte udeladt varmekilde: nedslag. Med en stokastisk, aftagende nedslagsstrøm og benchmarktestede 1D- og 2D-simuleringer finder forfatterne, at nedslagsvarme oversteg Jordens indre varme med mindst en størrelsesorden gennem det meste af hadeikum. Følgen er en skorpe under  $\sim 5$  km, som er delvist smeltet blot få kilometer nede og mere end 30 % smeltet ved  $\sim 5$  km — ifølge modellen for svag til pladetektonik. Skorpen ville i høj grad være blevet genanvendt i kappen. Da nedslagene aftog omkring 4,0–3,9 Ga, kunne varig kontinental skorpe dannes samtidig med de ældste bevarede felsiske bjergarter. De konservative antagelser gør den kvalitative konklusion robust, men de præcise tal er ikke fastlåst. Det er en stærk model af Jordens barndom — ikke en direkte observation.

## Tjek uden overdrivelser

**Hvad undersøgelsen viser:** I fysisk funderede simuleringer med nedslagsvarme og magmatisk varmetransport bliver den hadeiske skorpe tynd, overfladenært delvist smeltet, domineret af nedslagsvarme og i høj grad genanvendt i kappen — og kan ifølge modellen ikke bære pladetektonik.

**Hvad der er plausibelt, men ikke bevist:** At nedslag forklarer varige kontinenter omkring 3,9 Ga; at hadeikum havde et stillestående eller blødt låg frem for pladetektonik; at smeltegenanvendelse specifikt forklarer det manglende bjergartsarkiv.

**Hvad det ikke viser:** En direkte måling af hadeisk skorpe; en afgjort pladetektonikdebat; en påvist årsag mellem aftagende bombardement og kontinenter; at Jack Hills-zirkoner er bevarede kontinenter; en komplet model af den tidlige planet.

**Vigtigste begrænsninger:** Næsten intet bjergartsarkiv; modeller oven på modeller; usikker repræsentativ nedslagsstrøm; idealiserede 1D- og 2D-simuleringer. Konservative nedre grænser styrker den kvalitative konklusion, men gør ikke præcise geotermier sikre.

**Hvor stor tillid bør en almindelig læser have?** Høj tillid til, at en kraftigt bombarderet tidlig Jord under plausibel fysik havde en varm, tynd og overfladenært smeltet skorpe. Middel tillid til, at dette gør pladetektonik usandsynlig og forklarer det manglende arkiv. Lav tillid til påstande om, at modellen *beviser*, hvordan eller præcis hvornår kontinenterne blev dannet — den omformulerer hadeikum, men observerer det ikke direkte.

---

## Kilder

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