



The CLEAN PAPER

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

En tynn, halvsmeltet første skorpe: en modell der nedslag, ikke indre varme, styrte hadeikum

Jordens første eon etterlot nesten ikke noe bergartsarkiv. Med en stokastisk, avtagende nedslagsfluks og benchmarktestede simuleringer finner studien at nedslagsvarme ville ha oversteget jordens indre varme med minst én størrelsesorden gjennom det meste av hadeikum. Det ga ifølge modellen en tynn skorpe under ~5 km, delvis smeltet få kilometer nede og for svak for platetektonikk. Da nedslagene avtok etter ~3,9 Ga, kunne varig kontinental skorpe dannes. Det er en sterk, konservativ modell — ikke en direkte observasjon av jordens barndom.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · 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)

Kapittelet i jordens historie der nesten ingen sider er igjen

Jorden er den eneste planeten vi kjenner med kontinenter — det flytende, silikariske landet vi lever på. Hvordan kontinentene først ble dannet, er likevel et av geologiens eldste uløste problemer, av en brutal grunn: Nesten alle spor er borte.

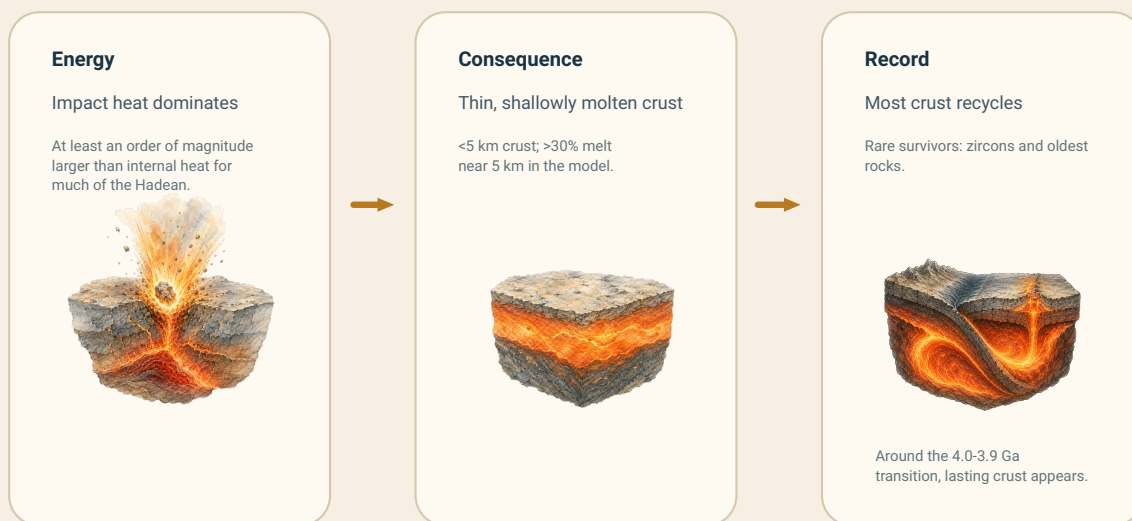
Jordens første eon, hadeikum, går fra planetens fødsel til for rundt 4,03 milliarder år siden (Ga). Nesten ingenting fra den første halve milliarden år er bevart. De eldste intakte felsiske bergartene er omtrent 4,03 Ga gamle, noen sjeldne basalter når ~4,2 Ga, og de eldste materialene er zirkonkrystaller — særlig fra Jack Hills i Vest-Australia — datert til 4,4 Ga. Det er hele arkivet fra jordens barndom.

Studien legger ikke en ny bergart til arkivet. Den bygger en fysisk modell av hvordan den hadeiske jordskorpen ville sett ut under disse forholdene og spør hva som skjer når man slutter å overse at den tidlige jorden ble bombardert.

Svaret er slående. Gjennom det meste av hadeikum ville varme fra nedslag ha overveldet all jordens indre varme og etterlatt en tynn, halvsmeltet skorpe — etter forskernes vurdering for svak for noe som ligner moderne platetektonikk. Det er en modell, ikke et minne, men en modell som tar periodens voldsomhet med i regnskapet.

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 energibudsjett, en tynn og grunt smeltet skorpe resirkulerer seg selv, og varig kontinental skorpe oppstår først rundt overgangen 4,0–3,9 Ga. Det er en modell av hadeikum, ikke et direkte minne om det.

Hva forfatterne gjorde

Gruppen kombinerte tre deler som vanligvis holdes fra hverandre.

Først en **stokastisk modell av nedslagsfluksen** — asteroider og større legemer som traff det indre solsystemet gjennom hadeikum og tidlig arkeikum. Dette er ikke ideen om én topp med «sent tungt bombardement», men en fluks som er sterk tidlig og **avtar over tid**, med store tilfeldige nedslag. Modellen ble skalert fra statistikk for månen og det indre solsystemet og valgt for å stemme med zirkonenes aldersfordeling og tilgjengelige paleomagnetiske spor.

Deretter **geodynamiske simuleringer** av varmetransport gjennom skorpen og øvre mantel. Forskerne brukte den benchmarktestede lattice-Boltzmann-koden Planet_LB til både enkle endimensjonale temperaturprofiler og todimensjonale øyeblikksbilder av mantelkonveksjon ved 4,1 Ga. De tok med vanlige indre varmekilder og, viktigst, **magmatisk adveksjon**: varme som stigende smelte fører oppover, men som de fleste termiske skorpemodeller utelater.

Til slutt gjorde de **faselikevektsmodellering** av en realistisk tidlig skorpe — en hydrert hadeisk metabasalt fra Nuvvuagittuq-grønnsteinsbeltet — for å finne temperaturen og dybden der bergarten begynner å smelte.

Ett metodevalg er avgjørende: Forfatterne valgte bevisst antakelser som *motarbeider* deres egen konklusjon. De brukte en «ikke-kondrittisk» mantel med mindre enn halvparten av standardmodellens indre oppvarming, konservative oppvarmingsrater og ingen tidevannsvarme fra den unge, nære månen. De beregnede temperaturene er dermed **minimumsverdier**. Den virkelige hadeiske jorden kan ha vært varmere.

Hva de fant

Nedslag, ikke indre varme, dominerte energibudsjettet. Integrert over tid overstiger nedslagsvarmen det indre bidraget med minst én størrelsesorden gjennom det meste av hadeikum. I modellen driver nedslagsvarme den tidlige tektonikken og blir en mindre faktor først etter omtrent **3,9 Ga**.

Varmen holdt skorpen tynn og smeltet nær overflaten. Uten nedslag og smelteadveksjon blir skorpen delvis smeltet først under 10–15 km. Med nedslagsvarme stiger smeltesonen til omtrent **2–5 km**. Ved cirka 5 km forutsier modellene mer enn 30 % smelte, for svakt til en stiv plate. Ved 5–10 km gir ~1000–1100 °C omfattende smelting nesten uansett sammensetning. Den faste skorpen ville vært **tynn, under omtrent 5 km**.

En halvsmeltet skorpe visker seg selv ut. Tett jern- og magnesiumrikt materiale synker mens lettere, silikarik smelte stiger. Skorpen utvikler seg mot mer silikarike sammensetninger og kan danne felsisk smelte der zirkon krystalliserer. Nesten hele den tynne skorpen ville så blitt resirkulert ned i mantelen. I modellen er mangelen på hadeiske bergarter ikke et hull, men en *forutsigelse*: Bergartene fra 4,2 Ga og zirkonene fra 4,4 Ga er sjeldne overlevende.

Slutten på bombardementet sammenfaller med de første varige kontinentene. Da bombarde-

mentet avtok gjennom overgangen 4,0–3,9 Ga, kunne skorpen bli tykkere og vare. De eldste bevarte kontinentale bergartene dukker opp samtidig — «sannsynligvis ikke tilfeldig», skriver forfatterne forsiktig.

Hovedslutningen deres er at **platetektonikk i hadeikum er usannsynlig** under disse forholdene.

De forklarer også hvorfor tidligere studier fant liten effekt. Tidligere stokastiske nedslagsmodeller fant at mindre enn 2,5 % av skorpen var smeltet på et gitt tidspunkt. De utelot den globale virkningen store nedslag har på dyp mantelsmelting, og transporten av denne varmen oppover med stigende magma. Når begge tas med, endres varmebildet kraftig.

Hvorfor en modell ikke er et minne

Alt ovenfor er resultat fra simuleringer, ikke avlesninger av hadeiske bergarter. Det gjør ikke resultatet svakt, men bestemmer hva slags resultat det er.

En *modell* av nedslagsfluksen mater en *modell* av varmestrømmen i mantel og skorpe, kontrollert mot en *modell* av hvordan en bestemt bergart smelter. Hvert ledd er fysisk begrunnet og der det er mulig benchmarktestet, men helheten er et sammenhengende argument om hvordan hadeikum *må* ha sett ut gitt plausibel fysikk, ikke en måling av hvordan det *faktisk* så ut.

De konservative antakelsene gjør den kvalitative konklusjonen — varm og svak skorpe — robust. De låser ikke nøyaktige geotemer, smelteandeler eller skorpetykkelse. Retningen er sterk; desimalene er foreløpige.

Hva dette ikke beviser

- Det **observerer ikke** den hadeiske skorpen direkte; dette er modellering.
- Det bygger **ikke** på et «sent tungt bombardement», men på en avtagende, stokastisk fluks.
- Det **avgjør ikke** debatten om platetektonikk. «Usannsynlig» er en sterk modellbasert slutning, men spørsmålet er fortsatt omstridt.
- Det beviser **ikke** at nedslag *forårsaket* kontinenter rundt 4,0–3,9 Ga. Tidsmessig samsvar er korrelasjon, ikke vist årsak.
- Zirkonene fra Jack Hills er **ikke** bevarte kontinenter, men sjeldne korn som viser at felsisk materiale og vann fantes tidlig.
- Det **rekonstruerer ikke** hele jordens tidlige historie. Simuleringene er idealiserte 1D-profiler og 2D-snitt.

Hvor sterke er bevisene?

For kjernepåstanden — at nedslagsvarme holdt skorpen tynn og grunt smeltet — er argumentet sammenhengende og konservativt. Det bruker benchmarktestet kode, rimelige inndata og nedre grenser og inkluderer en varmekilde tidligere modeller ofte overså. Det forklarer samtidig hvorfor nesten ingen bergart eldre enn ~ 4 Ga finnes, og hvorfor varig skorpe oppstår når bombardementet avtar.



Jack Hills i Vest-Australia sett med NASAs ASTER-instrument. Zirkoner fra området er blant de eldste bevarte materialene fra jordens tidlige skorpe, små spor fra en eon der bergartene nesten ble visket ut.

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

Begrensningene er like tydelige: modeller oppå modeller, forankret i et svært sparsomt bergartsarkiv. Påstanden om usannsynlig platetektonikk er en slutning, ikke en observasjon. Dette bør leses som en sterk, velbegrunnet hypotese andre kan teste, særlig valget av nedslagsmodell, ikke som en avsluttet sak.

Den nyttigste oppsummeringen er: Med plausibel, konservativ fysikk ville en tidlig jord under tungt bombardement hatt en tynn, halvsmeltet og selvresirkulerende skorpe — én idé som forklarer overraskende mye av det lille vi faktisk ser.

Hvorfor det er viktig

Populære bilder av den tidlige jorden veksler mellom en rolig vannverden med platetektonikk og en infernalsk lavaplanet. Studien skisserer et fysisk begrunnet mellomstadium: en tynn skorpe som gjentatte ganger smeltet om få kilometer nede, ble ødelagt og dannet på nytt, styrt av nedslag snarere enn indre varme.

Det gir en mekanisme for to store fakta: det nesten manglende bergartsarkivet og tidspunktet for de første varige kontinentene. Hvis modellen holder, endrer den hvordan vi tenker om når jorden ble en planet med stabile kontinenter, og ideen kan overføres til andre steinplaneter som ble dannet under bombardement.

Modellen trenger ikke være siste ord, bare en god nok hypotese til å testes. «Det skjulte hadeikum» er nettopp poenget: en epoke vi hovedsakelig kan nå gjennom modeller fordi den slettet sine egne spor.

Kort oppsummert

Jordens første eon, hadeikum før ~4,03 Ga, etterlot nesten ikke noe bergartsarkiv. Denne studien legger til en ofte utelatt varmekilde: nedslag. Med en stokastisk, avtagende nedslagsfluks og benchmark-testede 1D- og 2D-simuleringer finner forfatterne at nedslagsvarme oversteg jordens indre varme med minst én størrelsesorden gjennom det meste av hadeikum. Følgen er en skorpe under ~5 km som er delvis smeltet bare få kilometer nede og mer enn 30 % smeltet ved ~5 km — etter modellen for svak for platetektonikk. Skorpen ville i stor grad blitt resirkulert i mantelen. Da nedslagene avtok rundt 4,0–3,9 Ga, kunne varig kontinental skorpe dannes samtidig som de eldste bevarte felsiske bergartene dukker opp. De konservative antakelsene gjør den kvalitative konklusjonen robust, men de nøyaktige tallene er ikke fastlåst. Det er en sterk modell av jordens barndom — ikke en direkte observasjon.

Nøktern vurdering

Hva studien viser: I fysisk funderte simuleringer med nedslagsvarme og magmatisk varmetransport blir den hadeiske skorpen tynn, grunt delvis smeltet, dominert av nedslagsvarme og i stor grad resirkulert i mantelen — og kan ifølge modellen ikke bære platetektonikk.

Hva som er plausibelt, men ikke bevist: At nedslag forklarer varige kontinenter rundt 3,9 Ga; at hadeikum hadde et stillestående eller mykt lokk snarere enn platetektonikk; at smelteresirkulering spesifikt forklarer det manglende bergartsarkivet.

Hva det ikke viser: En direkte måling av hadeisk skorpe; et avgjort svar på platetektonikkdebatten; en vist årsak mellom avtagende bombardement og kontinenter; at Jack Hills-zirkoner er bevarte kontinenter; en fullstendig modell av den tidlige planeten.

Viktigste begrensninger: Nesten ikke-eksisterende bergartsarkiv; modeller oppå modeller; usikker representativ nedslagsfluks; idealiserte 1D- og 2D-simuleringer. Konservative nedre grenser styrker den kvalitative konklusjonen, men gjør ikke eksakte geotermer sikre.

Hvor stor tillit bør en allmenn Leser ha? Høy tillit til at en tungt bombardert tidlig jord under plausibel fysikk hadde varm, tynn og grunt smeltet skorpe. Middels tillit til at dette gjør platetektonikk usannsynlig og forklarer det manglende arkivet. Lav tillit til påstander om at modellen *beviser* hvordan eller nøyaktig når kontinentene ble 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>