

Black Beauty – Et blik ind i Mars’ fortid gennem 3D-mineralkortlægning

Martin Sæbye Carøe, DTU Compute

Observationer og modeller

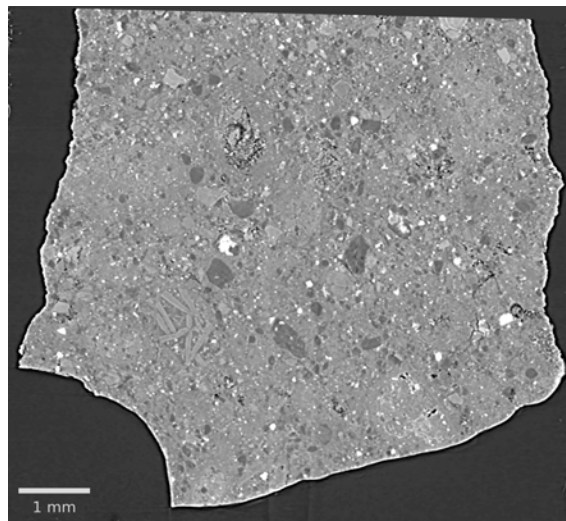
Færre end 400 meteoritter fra Mars er blevet fundet på jorden. Én af disse, som i litteraturen bliver refereret til som “Black Beauty”, har særlig interesse for forskere. Det skyldes, at meteoritten indeholder vand samt zirkonkrystaller, hvor de ældste er blevet dateret til at være mellem 4,3 og 4,5 milliarder år gamle, hvilket gør Black Beauty meteoritten unik [1]. Zirkonkrystaller er tidskapsler, som bevarer information om Mars helt tilbage til dannelsen af Mars, såsom vulkanisme, meteornedslag og tilstedeværelse af vand. Der er også andre mineraler i meteoritten, som bevarer information om Mars. Standardmetoder til at undersøge meteoritter er ofte destruktive, eller måler kun overfladen. For prøver så unikke som Black Beauty-meteoritten, er det bedst at undersøge så meget som muligt med ikke-destruktive metoder, før vi undersøger den destruktivt. Vores mål er at kortlægge 3D-strukturen af mineralkrystallerne i prøven, for at få et bedre indblik i de tidligere forhold på Mars og i sidste ende om Mars på et tidspunkt har været beboelig.



Figur 1. Et foto af hele Black Beauty-meteoritten. Foto: NASA.

I fremtiden skal geologiske prøver hentes tilbage fra Mars via Mars Sample Return-missionen, iværksat af NASA og ESA [2]. Missionen vil drastisk øge antallet af nøje udvalgte prøver fra Mars, som er tilgængelige på jorden, og derfor er det vigtigt, at systematiske metoder til at undersøge prøverne bliver udviklet. I den sammenhæng spiller Black Beauty-meteoritten en

dobbelrolle. Først og fremmest som en prøve, der i sig selv er enormt interessant, men også som en test, for hvad der er muligt at måle i meteoritter, som i fremtiden bliver hentet til Jorden i Mars Sample Return-missionen.



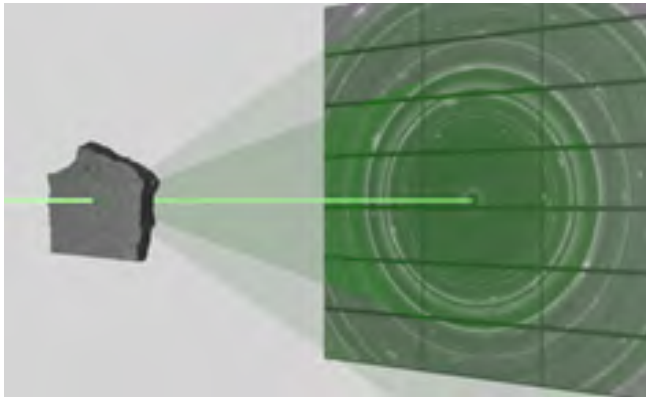
Figur 2. Et slice fra en 3D-rekonstruktion af meteoritens indre. Rekonstruktionen er lavet ved brug af data fra røntgen-CT, og er lavet fra et lille stykke af stenen i figur 1.

Én metode til at kortlægge 3D-strukturen af meteoritten, er ved at bruge røntgen-CT til at bestemme røntgenkontrasten i hvert punkt af stenen. Metoden foregår ved at tage røntgenbilleder af stenen fra forskellige retninger. Disse røntgenbilleder kan kombineres til et 3D-billede af stenens indre ved brug af en beregningsmetode kaldet tomografisk rekonstruktion. Denne metode har høj opløsning, og gør det muligt at detektere med stor præcision, hvor bestemte mineralkrystaller befinder sig. Dog har nogle mineraler omtrent samme røntgen-attenuering, og derfor har vi brug for andre metoder til at skelne mellem disse mineraler.

For at skelne mellem mineraler med ens røntgenkontrast, kan vi i stedet anvende neutron-CT, som måler neutron-attenueringen. Neutroner interagerer anderledes med atomkerner, og derfor er kontrasten mellem forskellige materialer helt anderledes. Især interagerer neutroner kraftigt med hydrogen, hvilket gør neutron-CT særligt velegnet til at detektere mineraler, der indeholder vand. Neutron-CT har dog lavere opløsning end røntgen-CT, og vi kan derfor ikke se mineralerne i lige så stor detaljegråd.

Røntgendiffraction er en metode, som kan identificere prøvens krystallinske struktur. Her måler vi spredningen af røntgenstråler, som passerer gennem prøven. Forskellige krystaller spreder røntgenstråler

på forskellig vis. Ligesom i røntgen- og neutron-CT kan vi også bruge tomografisk rekonstruktion, til at beregne røntgenspredningen inde i meteoritten. Røntgendiffraction giver os langt flere informationer, der kan bruges til at identificere mineraltypen, men dog har denne metode endnu lavere opløsning og giver således ikke information om den fine struktur i meteoritten.



Figur 3. En 3D-rendering af forsøgsopstillingen til røntgendiffraction.

Disse metoder har hver deres fordele, og ingen af dem giver det fulde billede af 3D-mineralstrukturen af stenen. Ved at kombinere metoderne, kan vi udnytte deres styrker og samtidig kompensere for deres individuelle begrænsninger. Til dette formål kan vi anvende værktøjer fra den matematiske disciplin optimering. Processen tager udgangspunkt i, at vi har en model, som kan forudsige hvordan måledata bør se ud, hvis meteoritten har en given røntgen- eller neutron-attenueringsprofil. Dernæst minimerer vi afstanden mellem de målte data, og de modellerede data i et såkaldt datafit-led.

Dette framework er fleksibelt, da vi blot kan tilføje flere datafit-led til optimeringsproblemet, således at vi inkorporerer information fra flere målemetoder. Det er også muligt at tilføje allerede kendt information om meteoritten i et såkaldt regulariseringsled. For eksempel ved vi at meteoritten består af omkring 15 forskellige

mineralfaser – denne information kan bruges til at begrænse antallet af mulige løsninger til optimeringsproblemet, således at vi hurtigere, og i større overensstemmelse med virkeligheden, kan kortlægge meteorittens 3D-struktur. Til at implementere dette framework har vi anvendt Core Imaging Library (CIL) – et open source Python-bibliotek udviklet til optimeringsbaseret tomografisk rekonstruktion [3].

Ny udvikling i form af mere præcise metoder til at måle meteoritten, samt øget beregningskraft i form af GPU'er, gør det muligt at komme et skridt tættere på et kunne se ind i meteoritter, og i sidste ende at kunne se tilbage i tiden til kort efter Mars blev dannet. For at løse denne udfordring har vi sammensat et team bestående af folk med kendskab til geologi, fysik og matematik. Kun ved at kombinere viden fra mange videnskabelige felter, kan vi løse mysteriet om liv på Mars.

Litteratur

- [1] A. Goodwin m.fl. (2022) “A Review of the ‘Black Beauty’ Martian Regolith Breccia and Its Martian Habitability Record”, *Astrobiology*, bind **22**, side 755–67.
- [2] “Mars Sample Return”, NASA Science, science.nasa.gov/mission/mars-sample-return. (Tilgået 14. maj 2025).
- [3] J.S. Jørgensen m.fl. (2021) “Core Imaging Library - Part I: A Versatile Python Framework for Tomographic Imaging,” *Philos. Trans. R. Soc. A.*, bind **379**, side 20200192. doi.org/10.1098/rsta.2020.0192



Martin Sæbye Carøe er ph.d.-studerende på DTU Compute og DDSA Fellow (Danish Data Science Academy).

Kvant-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson, KVANT

ALICE's alkymi

PARTIKELFYSIK. På ALICE i CERN har forskere i ægte alkymistil lavet bly om til guld. Det har de gjort i kollisioner mellem højenergi blykerner, som genererer intense elektromagnetiske felter, der kan slå protoner ud og omdanne en blykerne til en guldkerne.

ALICE er en detektor i CERN's Large Hadron Collider (LHC). ALICE studerer højenergikollisioner

mellem kerner med det formål at forstå universet som det var lige efter Big Bang.

At omdanne bly til guld er en ældgammel drøm, der stammer fra middelalderen, og idéen stammer fra opdagelsen af, at bly har en densitet, som minder om gulds densitet. Senere blev det tydeligt, at bly og guld er forskellige grundstoffer, og at det ikke er muligt at omdanne den ene til den anden vha. kemiske processer.