

Hvad skal kalken bruges til?

Fra en brønd på en jysk mark til borekerner i kælderens under Aarhus Universitet: 55 millioner år gammel vulkansk aske kan måske hjælpe med at gøre CO₂ til sten. Samtidig forsøger dansk industri at vende kalkens gamle kulstofkredsløb på hovedet.

Tekst: Isaac Appelquist Løge^{1,2},
Anna Buhl Pedersen³,
Emil Rynkeby Kristensen³
og David Lundbek Egholm⁴
Fotos: David Bering/Montgomery

¹ Department of Chemical Engineering,
Norwegian University of Science and
Technology (NTNU) og DTU Kemiteknik

² Department of Chemical Engineering,
Technical University of Denmark

³ Department of Geoscience,
Aarhus University

⁴ Sunstones ApS

Grusvejen ender ude på en mark, og der er ikke meget at se. Et plastikrør, der stikker op af jorden, og et låg. David Lundbek Egholm, direktør i Sunstones, tager låget af, og røret forsvinder ned i mørket.

Det er en brønd. Uanselig fra overfladen, men en forbindelse til fortiden. Et par hundrede meter nede i den jyske undergrund ligger lag af vulkansk aske, aflejret dengang Danmark lå under havet, og vulkaner omkring det nyåbnede Nordatlanten sendte enorme askeskyer ud over Nordeuropa. I dag arbejder Egholm og virksomheden Sunstones på at bruge netop de lag til at fjerne CO₂ fra atmosfærens kulstofkredsløb og binde det som faste mineraler under jorden. Blandt andet som kalk.

I den første artikel i denne serie stod vi ved molerklinterne på Fur og så de mørke askelag som en geologisk stregkode. Dengang sluttede historien med en bemærkning om, at calciumholdige mineraler i asken en dag kunne vise sig at blive vigtige. Nu er vi nået til den dag.

En brønd ned til en gammel askesky

Det, David viser os på marken, er en idé, der begyndte som et forskningsprojekt på Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet. C:ASH – Carbon-fixing



Figur 1. Jord- og sedimentprøver fra den danske undergrund. De forskellige lag kan aflæses som en geologisk tidslinje, hvor skift i farve, kornstørrelse og sammensætning viser, hvordan undergrunden er bygget op. Anna Buhl Pedersen bruger prøverne til at identificere de vulkanske askelag og undersøge, hvilke lag der kan være egnede til CO₂-mineralisering.

by Volcanic Ash – undersøger, om de vulkanske askelag under det vestlige Danmark kan bruges til såkaldt karbonatmineralisering: en proces, hvor CO₂ reagerer med mineraler og ender som

faste karbonater. Sunstones er siden vokset ud af forskningsmiljøet som en virksomhed, der forsøger at bringe processen fra laboratoriet til praktisk anvendelse.

Under Danmark ligger mange forholdsvist tynde lag af vulkansk aske, som blev spredt over havet under den intense vulkanske aktivitet, der fulgte åbningen af Nordatlanten. I Nordvestjylland kan lagene blandt andet ses ved Fur (husker du dem fra artikel 1? Ellers er den værd at læse). Længere mod syd ligger de typisk et par hundrede meter under jordoverfladen. Lagde man dem oven på hinanden, ville de tilsammen kun måle 2 til 4 meter.

Det lyder ikke af meget. Men askens styrke er ikke tykkelsen. Det er overfladen. Kornene er så små og så uregelmæssige, at et enkelt gram aske kan have en overflade på i størrelsesordenen 86 kvadratmeter, og det er dér, kemien skal foregå.

Regnestykket bliver derfor hurtigt stort. Forskerne bag C-ASH har anslået, at askelagene alene i Skive, Morsø og Thisted kommuner i princippet kan binde omkring 2 gigaton CO_2 . Det svarer til Danmarks samlede udledninger over 40 til 50 år.

Og det er netop askens vulkanske oprindelse, der gør den interessant. Asken indeholder silikatminerale med blandt andet calcium, magnesium og jern. Når CO_2 opløses i vand, bliver vandet svagt surt. Det kan reagere med silikatminerale og frigive de positivt ladede metalioner. Senere kan de reagere med det opløste kulstof og danne karbonatminerale. Hvis calcium er involveret, kan slutproduktet være calciumcarbonat. Altså kalk.

Sunstones' koncept er at opløse CO_2 i salt grundvand og føre det CO_2 -rige vand ned til askelagene. Her skal vandet bevæge sig gennem porerne, mens mineralerne langsomt opløses og nye karbonatminerale dannes. Virksomheden beskriver det som en slags underjordisk dansk vand: CO_2 'en er allerede opløst, før vandet sendes ned.

Idéen er afprøvet før. Ved Hellisheiði syd for Reykjavík har det islandske projekt Carbfix siden 2012 pumpet CO_2 -mættet vand ned i basalt, og målinger viste, at omkring 95 procent af kulstoffet var blevet til calcit inden for to år. Den danske aske er finkornet og mere reaktiv end islandsk basalt, og forventningen er derfor, at reaktionen her kan gå hurtigere: måske måneder frem for år.

Brønden på marken er forbindelsen mellem en proces, som forskerne kan beskrive på papir, og den virkelige undergrund, hvor vand, mineraler, sprækker og askelag ikke nødvendigvis opfører sig så pænt som i en laboratoriebeholder.

Men før man kan pumpe vand med

CO_2 ned i undergrunden, skal man vide præcis, hvad der er dernede.

Kælderen under Geoscience

David tager os med til Institut for Geoscience, hvor vi møder Anna Buhl Pedersen og Emil Rynkeby Kristensen.

Kaffe. Introduktion. Og ned i kælderen. Her ligger undergrunden som geologisk historie på hylderne i form af borekerner. Anna og Emil hiver nogle stykker undergrund ned.

En borekerne er en søjle af undergrund, hentet op fra dybet og bevaret i præcis den orden, den lå i. Og den gør noget meget abstrakt meget konkret, fordi en boring gennem undergrunden i princippet er en lodret tidslinje: Hver prøve har en bestemt dybde og dermed en bestemt placering i lagserien. Farve, kornstørrelse, mineralindhold og overgangen fra ét materiale til et andet fortæller, hvad der blev aflejret, og hvad der siden er sket med sedimentet. Man står altså med et stykke materiale i hånden, der er skåret ud af et ganske bestemt niveau flere hundrede meter under jorden. Og i vores tilfælde den jyske mark historien startede ved.

Anna Buhl Pedersen fortæller, hvordan asken er sammensat, og om den overhovedet er den rigtige at lagre CO_2 i. Hun arbejder med karbonatmineralisering, borekerner, petrografi og geokemiske analyser og undersøger sammen med kolleger, hvordan askens sammensætning, tekstur og senere omdannelse påvirker dens evne til at reagere med CO_2 .

For ikke alle askelag er ens. Nogle er blevet omdannet så meget siden aflejringsen, at de reaktive mineraler reelt er brugt op. Skal processen virke, skal asken stadig indeholde tilstrækkeligt mange mineraler, der kan frigive calcium, magnesium eller jern. Samtidig skal forskerne kunne genkende lagene i nye boringer, og derfor bruges blandt andet røntgenfluorescens, XRF, og elektronmikroskopiske analyser til at kortlægge deres kemiske fingeraftryk.

Når man ser prøverne ligge ved siden af hinanden i kælderen, bliver det tydeligt, hvorfor denne del af arbejdet er nødvendig. En mark ved overfladen fortæller næsten ingenting om, hvad der ligger 200 meter længere nede. Før en lagringsteknologi kan skaleres op, skal undergrunden læses lag for lag.

Når undergrunden flyttes ind i laboratoriet

Hvis borekernerne skal fortælle Anna hvor, stiller Emils laboratorieopstilling et andet spørgsmål: nemlig hvordan? Og hvor hurtigt?

Han viser os en opstilling, hvor processen kan studeres under kontrollerede forhold. Her kan vulkansk aske, vand og CO_2 bringes sammen i miniature, så forskerne kan undersøge den kemi, der i den virkelige verden skal foregå dybt under en mark.

Det afgørende sker i flere trin, og hvert trin kan svigte. Først skal CO_2 'en over i vandet. Så skal det svagt sure vand angribe askens silikatminerale. Så skal mineralerne frigive calcium, magnesium eller jern hurtigt nok. Og til sidst skal kulstoffet udfældes igen som et fast karbonat frem for at blive siddende opløst eller blive ført videre med strømmen. Emils opstilling gør det muligt at forstå processen og undersøge, hvad der sker under hvilke betingelser.

Det er en proces, naturen allerede kender. Regnvand optager CO_2 fra luften og jorden, reagerer med bjergarter og fører opløste stoffer mod floder og hav. Over geologiske tidsrum er sådanne forvittringsprocesser en del af Jordens naturlige regulering af atmosfærens CO_2 . Det nye består derfor ikke så meget i selve kemien som i at forsøge at gøre den hurtigere, mere målrettet og mere målbar.

På den måde bliver opstillingen i kælderen en miniatureudgave af marken. Fra bord til mark. På bordet kan man kontrollere materialerne og følge reaktionerne. Ude i marken skal samme

■ Artikelserie om kalk

I løbet af 2026 bringer Dansk Kemi en artikelserie om mineralet kalk. Artiklerne er skrevet af postdoc Isaac Appelquist Løge fra Kemiteknik, DTU, på baggrund af en bevilling fra Carlsbergfondet. Artiklerne vil have følgende temaer:

- Artikel 1: Hvorfor har vi så meget kalk i Danmark: Danmarks undergrund og fortid (bragt i Dansk Kemi nr. 3, 2026)
- Artikel 2: Hvordan har danskere tidligere brugt kalk som et mineral? (bragt i Dansk Kemi nr. 4, 2026)
- Artikel 3: Hvad er kalks potentiale i klimakampen?
- Artikel 4: En forskers råd til at blive fri for kalk.



Figur 2. Et stykke vulkansk aske udsættes for vand mættet med CO₂. Når det svagt sure vand reagerer med mineralerne i asken, frigives blandt andet calcium, der bindes sammen sidenhen med kulstoffet i nye karbonatmineraller. På den måde kan CO₂ i princippet gå fra at være opløst i vand til at blive bundet som fast kalksten.

kemi en dag fungerer i en undergrund, som er flere millioner gange større og langt mindre velordnet.

Kan CO₂ blive til nyt kalkpulver?

En anden dansk idé arbejder videre med kalkens kredsløb. Projektet IKKA-TECH arbejder på at tage CO₂ fra industriel røggas og omdanne den til kalk.

Processen er inspireret af mineralet ikait, som blandt andet danner de karakteristiske undersøiske søjler i Ikkafjorden i Grønland: et calciumcarbonat med vand bundet i krystalgitteret, som kun er stabilt ved lave temperaturer. I den udviklede proces optages CO₂ fra røggassen og udfældes først som ikait under kontrollerede forhold. Derefter omdannes mineralet til stabilt calciumcarbonat.

Det interessante er, at slutproduktet ikke bare skal gemmes væk. Det calciumcarbonat, der produceres, skal kunne bruges som råmateriale og fyldstof i blandt andet maling, plast, papir og byggematerialer.

Dermed vender vi tilbage til endnu en

rolle fra den forrige artikel. Der beskrev vi, hvordan fint formålet kridt bruges som fyldstof, fordi det kan give produkter volumen, hvidhed og bestemte materialegenskaber. I fremtiden kan en del af sådanne karbonatmaterialer måske i stedet fremstilles med CO₂ som en af råvarerne.

Sunstones og Ikkaton forsøger altså grundlæggende noget beslægtet på to helt forskellige måder. Det ene projekt vil lade geologien gøre arbejdet under en mark og acceptere, at det tager tid. Det andet vil kontrollere udfældningen i et industrielt anlæg, hvor alt kan måles, og betaler til gengæld med energi og udstyr. Fælles for dem er, at CO₂'en bliver fjernet. Med hjælp fra kalk.

Fra kalkens fortid til dens fremtid

I den første artikel fulgte vi kalken baglæns i tid. Vi rejste millioner af år tilbage og så, hvordan mikroskopiske organismer, havvand og geologisk tid byggede den danske undergrund.

I den anden fulgte vi kalken ud af jorden, ind i samfundet og nutiden. Den

er blevet til cement, mørtel, jordforbedring, industrimateriale og kalkmaleri.

Denne gang peger tidens pil fremad.

Hos Ikkaton forsøger man at omdanne industriens CO₂ til nyt calciumcarbonat. Og under de jyske marker håber Sunstones og forskerne fra Aarhus Universitet, at 55 millioner år gammel vulkansk aske kan hjælpe med at føre CO₂ hele vejen tilbage til undergrunden.

Det betyder ikke, at kalk pludselig løser klimakrisen. Begge teknologier skal fungere i stor skala, bruge rimelige mængder energi og vand og kunne dokumentere, at det lagrede kulstof faktisk bliver, hvor det skal.

Men kalken viser noget interessant om den opgave, vi står med. Kulstof bevæger sig hele tiden mellem luft, vand, levende organismer og sten. Det har det gjort gennem hele Jordens historie. Vores problem er, at vi på få hundrede år har flyttet enorme mængder kulstof den ene vej: fra undergrunden og ud i atmosfæren. Teknologier som dem, der udvikles i Danmark nu, er forsøg på at få en del af bevægelsen til at gå den anden vej.

Og nu er vi tilbage på marken. Et rør der kigger op på os på en solrig dag. CO₂ skal ned. CO₂'en skal blive til kalk.

Taksigelser

Projektet KALK: En fortælling om et misforstået mineral er gjort muligt gennem støtte fra Carlsbergfondets Mindelegat. Billederne er taget af David Bering fra Montgomery.

E-mail:

Isaac Appelquist Løge: isacl@kt.dtu.dk

Kilder og videre læsning

Pedersen, A.B., Schovsbo, N.H., Bodin, S. et al. (2025): Geochemical characterisation of the Danish subsurface ash series for carbon mineralisation potential. Bulletin of the Geological Society of Denmark, 74, 227–250.

DOI: 10.37570/bgssd-2025-74-13.

Egholm, D.L. et al. (2024): Vulkansk aske kan binde enorme mængder CO₂. Aktuell Naturvidenskab, nr. 2.

Aarhus Universitet, Institut for Geoscience: CO₂ kan omdannes til kalksten – om C-ASH-projektet.

Aarhus Universitet, CAPS: CO₂ removal by carbonate mineralisation: Can we use the volcanic ash in Denmark?

Klimafonden Skive: C-ASH – CO₂-fiksering med naturens teknologi i ny sammenhæng. Sunstones: How CO₂ mineralization works og virksomhedsbeskrivelse.

Energistyrelsen (2025): Godkendelse af efterforskningsboring, Sunstones A/S, Salling.

TechSavvy (2026): Bevilling på 25 millioner skal få ny CO₂-teknologi ud i fuld skala.

Carbfix: Projektbeskrivelse og resultater fra Helliheiði, Island.

Innovationsfonden (2026): Danish Technology Converts Industrial CO₂ into Calcium Carbonate – IKKA-TECH.