Hvordan slipper man af med kalken?

Fra kalkgrubernes dryppende lofter til den hvide bund i en elkedel: I seriens sidste artikel følger vi kalken helt ind i hverdagen. Her er den samme kemi, som bygger sten og kan binde CO_2, også forklaringen på, hvorfor vi må finde afkalkningsmidlet frem.

Tekst: Michael Bache[1] og Isaac Appelquist Løge[1,2]
[1] Department of Chemical Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
[2] DTU Kemiteknik
Fotos: David Bering fra Montgomery

Elkedlen begynder at brumme. Vandet bevæger sig først dovent. Så hektisk. Og lidt efter slår kontakten fra. Løfter man låget, kan man se et hvidligt lag på bunden. Enkelte flager har løsnet sig og ligger i vandet. Pas på du ikke får et lille stykke geologi i morgenkaffen.

Vi er langt fra Mønsteds mørke gange, Aalborg Portlands kridtgrave og borekernerne i kælderen under Aarhus Universitet. Og alligevel er forbindelsen kortere, end den ser ud. Gennem tre artikler har vi fulgt kalken fra et gammelt hav til dansk industri, kulturhistorie og forsøg på at lagre CO_2. Nu er vi hjemme igen. Her har kalken ikke fået et bedre ry, bare fordi vi har skrevet pænt om den.

Glasset er stadig skjoldet. Vandhanen har stadig en hvid rand. Og elkedlen skal stadig afkalkes.

Så i denne sidste artikel vender vi spørgsmålet om. Hvordan slipper man af med det mineral, vi indtil nu har forsøgt at forsvare?

Fra undergrund til vandhane

Når man fylder et glas ved vandhanen, er vandet normalt klart. Der flyder ikke små stykker kridt rundt i det. Det, vi kalder kalk i vandet, er især opløste calcium- og magnesiumioner, og deres koncentration bestemmer vandets hårdhed [1].

Vandet har fået en del af sin kemi på vejen gennem jorden. Regnvand optager CO_2 fra luften og fra jordens biologiske aktivitet og bliver svagt surt. Møder det kalkholdige lag, kan det opløse noget af mineralet og føre calcium videre med sig. Derfor sætter undergrunden sit præg på det vand, der ender i vores haner. For calciumcarbonat kan opløsningen beskrives med en samlet ligevægt:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2\ HCO_3^-$$

Til venstre står den faste kalk sammen med kuldioxid og vand. Til højre er calcium og hydrogencarbonat opløst i vandet. Den dobbelte pil er vigtig. Ligevægten er vigtig. Kalken kan gå i opløsning, men den kan også komme tilbage.

Det er det, der sker i elkedlen. Når vandet varmes op og afgiver CO_2, forskydes ligevægtene, så calciumcarbonat kan udfælde. Temperaturen er med til at gøre de varmeste overflader særligt udsatte.

I den første artikel så vi, hvordan opløsning og udfældning kunne bidrage til at omdanne kalkslam til sten. Nu foregår beslægtet kemi på køkkenbordet. Her behøver vi ikke vente millioner af år for at få øje på resultatet. *Desværre* sker det hver dag.

Så hvad kan vi gøre for at undgå det?

En flaske syre og lidt varme

Kommer et surt afkalkningsmiddel i kontakt med calciumcarbonat, reagerer syrens positive hydrogenioner med de negative karbonat-ioner. Calcium går i opløsning, og der dannes vand og CO_2. Gasboblerne, man nogle gange kan se, hvis det går vildt for sig (se figur 1), er altså et lille tegn på, at mineralet er ved at blive opløst. Reaktionen kan skrives:

$$CaCO_3 + 2\ H^+ \rightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2$$

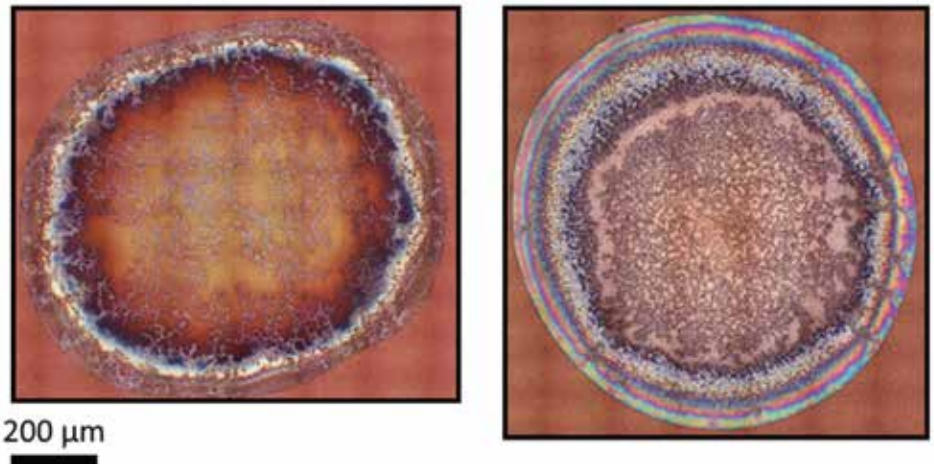
Vi har faktisk mødt den kemi før. I artiklen om kalkens brug beskrev vi, hvordan landmanden tilfører kalk til sur jord. Her vil man forbruge syren og hæve jordens pH. Ved køkkenvasken vil man forbruge kalken og få en ren overflade.



Figur 1. CO_2 der afgasser. Når væsken indeholder mere opløst CO_2, end der er ligevægt med i den omgivende luft, afgives gassen som bobler. Hvis en syre reagerer kraftigt med kalk, kan der dannes bobler, hvilket er CO_2, der afgasser. Fotoet viser afgasning, ikke opløsning af kalk.

Temperaturen spiller også en rolle. I en sur opløsning kan kalken normalt opløses hurtigere, når væsken er varm. Både reaktionen ved mineralets overflade og transporten af stoffer til og fra den spiller ind [2]. Det giver elkedlen en dobbeltrolle: Varmen, der er med til at danne belægningen i almindeligt vand, kan også hjælpe os med at fjerne den, når vi tilsætter syre.

Et praktisk eksempel er afkalkning med husholdningseddike og varmt vand. For en række elkedler beskriver Philips en fremgangsmåde, hvor vandet først



Figur 2. Lysmikroskopibilleder af rester efter vanddråber tørret ind på et Raman-substrat. Til venstre ubehandlet postevand; til højre vand behandlet i én time med AMTech-apparatet. Den behandlede prøve viser et mere ensartet mønster af faste rester. Billederne viser en forskel i aflejringsmønsteret, men dokumenterer ikke i sig selv mindre kalkbelægning i et anlæg [5].

koges, og eddiken derefter tilsættes den slukkede kedel og får tid til at virke [3]. Det er altså ikke nødvendigt at holde eddikeblandingen kogende. Temperaturen er en hjælp til kemien.

Og væsken behøver ikke være færdig med at arbejde, når elkedlen er ren. Er der stadig syre tilbage, kan blandingen bruges til at løsne kalk et andet sted, eksempelvis på et bruseglas, der tåler behandlingen. Lad den først køle til lun temperatur, og undgå at få kalkflager og andet bundfald med over på overfladen. Hvor meget mere den kan opløse, afhænger af, hvor meget syre der allerede er brugt i kedlen.

Kalklaget er heller ikke nødvendigvis rent calciumcarbonat. Den ru belægning kan fastholde partikler, snavs og biofilm og blive en slags mineralsk skelet omkring det. Når syren opløser kalken, kan den derfor også løsne noget af det, der sad fast i laget. Man fjerner ikke kun mineralet, men også en del af det underlag, som andet snavs hænger ved. Bagefter kan de løse rester fjernes med en blød børste eller klud, og overfladen skylles ren. Kemien og det mekaniske arbejde hjælper hinanden. Fedt og sæberester kan stadig kræve deres egen rengøring, men det er lettere at komme til, når kalklaget er væk.

At flytte udfældningen

Når kalken er væk, begynder historien forfra, næste gang der kommer vand. På badeværelset kan man afbryde en del af den med en skraber og en klud. Fjerner man dråberne, før de tørrer ind, fjerner man samtidig de opløste stoffer, de ellers ville efterlade.

På vandværket kan man gå et skridt længere. Hofor bruger den såkaldte pelletmetode, hvor vandet behandles med natriumhydroxid og små, desinficerede sandkorn. Den højere pH fremmer udfældningen af calciumcarbonat på kornene. Efterhånden vokser de til små kalkpellets, som kan tages ud af vandet [4]. For at undgå, at kalken udfælder hos forbrugeren, får man den til at udfælde på vandværket. Her kan processen styres, og det faste materiale samles op. Hofor sigter mod en hårdhed på 10-12 °dH, altså middelhårdt vand. Der er stadig mineraler tilbage, men mindre calcium til at bygge nye kalkbelægninger med.

Det er altså muligt at flytte arbejdet fra elkedlen til vandbehandlingen. Men forskellen mellem et anlæg, der fjerner hårdhed, og et produkt, der lover mindre fastsiddende kalk, er vigtig.

Kan lyd ændre kalkens vej?

Den danske virksomhed AMTech Aqua Miljø arbejder med en anden tilgang: at behandle vandet med lydimpulser. Her er hensigten at påvirke, hvordan kalken udkrystalliseres og sætter sig, uden at fjerne calcium og magnesium. Vandet bliver altså ikke blødere som ved ionbytning. Spørgsmålet er, om mineralerne kan fås til at udfældes anderledes.

Det spørgsmål har jeg selv arbejdet med sammen med Michael Bache på DTU Kemiteknik. I et projekt undersøgte vi vand behandlet med et lyd-emitterapparat fra AMTech, og resultaterne blev beskrevet i et bidrag til konferencen Heat Exchanger Fouling and Cleaning i 2024 [5] og en dyberegående rapport [6].

Vi tog udgangspunkt i postevand fra DTU i Lyngby med en hårdhed på omkring 19 °dH. Under mikroskopet efterlod det behandlede vand et mere ensartet mønster af faste rester fra de inddampede vanddråber. Vi kunne altså se strukturelle forskelle i den kalk, der blev fældet ud, når vandet var væk (se figur 2). Denne effekt kunne også observeres med det blotte øje ved at inddampe 2 liter vand i en gryde. Vandet, som var behandlet med apparatet fra AMTech, havde en meget mere homogen udfældning af kalk i forhold til ubehandlet vand.

Det interessante er, at behandlingen satte målbare spor i laboratoriet, men samtidig efterlod den os med mange åbne spørgsmål. Vi målte en forskel i de opløste partiklers ladning, men ikke om det giver færre gener med kalk. Vi målte gennem nær-infrarød spektroskopi, at vandet interagerede med sig selv. Og som beskrevet målte vi, at kalken havde et andet udfældningsmønster. Det store spørgsmål vi stod tilbage med, er, hvad disse effekter betyder i et anlæg. Et mere ensartet mønster efter en tørret dråbe fortæller ikke i sig selv, om der efter måneder sidder mindre kalk på et varmelegeme. Det kræver forsøg, der måler netop aflejringerne under drift.

Tilbage ved vandet

Vi begyndte denne serie med vand, der dryppede i mørket under Mønsted. Siden fulgte vi kalken ud i lyset: til kridtgravene, cementovnene, markerne og kirkens malede hvælv. På Fur og under de jyske marker mødte vi mineraler, som måske kan hjælpe os med at føre noget af atmosfærens kulstof tilbage til undergrunden.

Nu står vi med en elkedel.

Forskellen i størrelse er stor, men gennem hele rejsen har vandet og mineralerne været i bevægelse. Stof går i opløsning, føres videre og bliver fast igen. Vi bygger anlæg for at få det til at ske og køber rengøringsmidler for at gøre det om. Vi vil bevare kalken på en kirkevæg, danne den under en mark og fjerne den fra bruseglasset.

Så svaret på artiklens spørgsmål er forholdsvis jordnært: Brug et egnet surt middel, hvor materialet tåler det. Fjern vandet fra overfladerne, før det tørrer ind. Og skal selve hårdheden ned, må noget af det opløste calcium og magnesium fjernes. At forstå kalken gør det lettere at vælge, hvad man faktisk har brug for.

Løfter man låget efter afkalkningen, er bunden synlig igen. Kalken er gået i opløsning, og med vandet bevæger den sig videre.

Det er et passende sted at slutte fortællingen om et misforstået mineral. Man behøver ikke beholde kalken i elkedlen for at få øje på det fascinerende i den. Men næste gang den hvide belægning dukker op, ved man lidt mere om, hvor den kommer fra. Og hvor meget andet den kan blive til.

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

1. GEUS (2024): "Se, hvor hårdt dit drikkevand er". https://www.geus.dk/om-geus/nyheder/nyhedsarkiv/2024/sep/opdateret-kort-se-hvor-haardt-dit-drikkevand-er.
2. Sjöberg, E.L. & Rickard, D.T. (1984): "Temperature dependence of calcite dissolution kinetics between 1 and 62°C at pH 2.7 to 8.4 in aqueous solutions". Geochimica et Cosmochimica Acta, 48(3), 485–493. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90276-X.
3. Philips: "Min Philips-elkedel er beskidt med små pletter indeni". Afkalkningsvejledning for de modeller, der er angivet på siden. https://www.philips.dk/c-t/XC000015706/min-philips-elkedel-er-beskidt-med-små-pletter-indeni.
4. Hofor: "Spørgsmål og svar om blødt vand". https://www.hofor.dk/baeredygtige-byer/udviklingsprojekter/bloedere-vand/spoergsmaal-og-svar-om-bloedt-vand/.
5. Bache, M. & Løge, I. A. (2024): "Can Sound Stop Scaling: A NIR Spectroscopy Study of Ultrasound Treated Water". Proceedings of the International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning – 2024, Lissabon, 21.-26. april 2024. H. U. Zettler & E. M. Ishiyama (red.), s. 167–170. ISBN 978-0-9984188-3-4.
6. Bache, M., & Løge, I. A. (2025). CLEAN Project CHALKGUS AMTech/Kalkknuser: Analysis of anti-limescale technology (Technical Report). Technical University of Denmark, Department of Chemical Engineering & CLEAN Cluster.

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? (bragt i Dansk Kemi nr. 5, 2026)
- Artikel 4: En forskers råd til at blive fri for kalk.

