

2015

# geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 02



**Kviksølv**

# Kviksølvs egenskaber og anvendelse

Kviksølv har været brugt over tre tusinde år tilbage i tiden til medicinske formål fx til at helbrede sygdomme som syfilis, til forgyldning af kunstgenstande og kupler på russiske kirker. Desværre er kviksølv meget giftigt, men til trods herfor er kviksølv stadig et uundværligt grundstof i vores hverdag. Hvert eneste lysstofrør og de fleste lavenergilyspærer indeholder lidt kviksølv. Det bruges stadig i industrien, men metallet er på grund af dets ekstreme giftighed ved at blive faset ud de fleste steder.

**Peter W. U. Appel**  
Adjungeret Seniorforsker, GEUS  
pa@geus.dk

**Rasmus Jakobsen**  
Seniorforsker, GEUS  
raj@geus.dk

**Jørgen Kystol**  
Civilingeniør, GEUS  
jk@geus.dk

**Rasmus Køster-Rasmussen**  
Læge, Institut for Folkesundhed  
Københavns Universitet  
rakra@sund.ku.dk

**Jane Frølund Thomsen**  
Overlæge, Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling  
Bispebjerg Universitetshospital  
Jane.Froelund.Thomsen@regionh.dk

## Hvad brugte man kviksølv til i gamle dage?

Selvom kviksølv er meget giftigt, har det før i tiden været anvendt i lægekunsten, ja faktisk så sent som indtil for godt hundrede år siden. Egypterne og romerne benyttede kviksølv til fremstilling af maskara. Senere blev det brugt til at helbrede kønssygdommen syfilis, samt mod en række andre sygdomme. Så sent som i forrige århundrede blev kviksølv brugt på børn, der havde børneorm. Det blev, og bliver faktisk stadig, brugt til fyldning af huller i tænderne, hvor caries er blevet fjernet. Kviksølv blandet med sølvstøv danner et sølvamalgam, der presses ned i huller i tænderne. Efter kort tid bliver amalgamet helt hårdt og beskytter derved tanden for bakterieangreb, se foto nedenfor. Kviksølvet i amalgamet er meget hårdt bundet til sølvet og udgør derfor kun en minimal fare for helbredet.

*Kviksølvorm fra Almaden i Spanien. Det flotte røde mineral er cinnober, der består af kviksølv og svovl (HgS). Derudover er der nogle meget små dråber af metallisk kviksølv. De er for små til at kunne ses på billedet. Prøven er 10 cm lang.*

*Foto: Peter Warn-Moors, GEUS.*

Kviksølv er det eneste metal, der er flydende ved stuetemperatur (smeltepunkt  $-38,8^{\circ}\text{C}$ ) og det har derfor gennem generationer fortryllet folk. Kviksølv fordampes meget hurtigt selv ved stuetemperatur. Det kemiske symbol er Hg, der står for hydragyrum. Det er græsk og betyder flydende sølv. Kviksølv findes i fast fjeld i form som flydende metal og i det smukt røde mineral cinnober (HgS), se billedet ovenfor. I kviksølvminerne udvinder man det kviksølv, der løber ud af klipperne, når man knuser dem. Man opvarmer desuden cinnober, hvorved mineralet nedbrydes til svovl og kviksølv-damp. Kviksølvet kan så opfanges ved nedkøling af dampen.

Egypterne brugte kviksølv for mere end 3500 år siden. I romertiden blev kviksølv udvundet i Almaden (i Spanien), hvor en af de mest kendte kviksølvforekomster findes. Romerne lod dødsdømte fange udvinde det giftige kviksølv, hvilket betød, at fangerne hurtigt døde. Almaden-minen er nu lukket. I dag brydes det meste kviksølv i Kina, Kirgisistan og Marokko.

*Amalgam-fyldning i tand.*

*Foto: Tandlæge Jørgen Hørmann.*



Kviksølv blev før i tiden brugt til fremstilling af en bestemt form for hatte. Hattemagerne blev syge af kviksølvdampene. I bogen *Alice i Eventyrland* er der en gal hattemager; han blev tosset i hovedet ved at indånde kviksølvdampe. Spejle i gamle dage var lavet af kviksølv, som i et tyndt lag virker som det perfekte spejl.

En anden anvendelse var forgyldning af for eksempel de flotte løgformede kupler på russiske kirker. Det foregik på følgende måde. Guldstøv blev opløst i kviksølv og dannede et guldamalgalam. Det flydende guldamalgalam blev smurt ud på taget af kuplerne. Derefter varmede man amalgalam op med en

blæselampe, hvorved kviksølvet fordampede og guldets lag lå som et tyndt lag på taget.

### Hvad bruger man kviksølv til i nyere tid?

En almindelig kendt anvendelse af kviksølv er i termometre, men disse er ved at blive erstattet af batteridrevne termometre uden kviksølv. Kviksølv har også været anvendt i stor stil til meget små batterier til fx kameras. De små flade batterier bestod af kviksølv og zink og havde den egenskab, at spændingen holdt sig meget konstant gennem batteriets levetid i modsætning til andre batterier, der langsomt taber spændingen. Kviksølv er

en vigtig komponent i lysstofrør. Brugen af lysstofrør på Jorden stiger hastigt. Der er derfor lagt et stort pres på producenterne af lysstofrør for at finde alternativer til kviksølv. Det er desværre ikke lykkedes endnu, men det er lykkedes producenterne at reducere mængden af kviksølv i de enkelte rør, men helt uden kviksølv fungerer rørene ikke. Kviksølv blev og bliver flere steder stadig brugt industrielt bl.a. i fremstilling af forskellige former for gødning. Det er forbudt i Europa, men bliver stadig benyttet andre steder på Jorden.



# Den globale kviksølvforurening

Vores planet bliver kraftigt forurenede med kviksølv, hvilket har alvorlige helbreds-mæssige konsekvenser for Jordens befolkning. Der er mange kilder til forurening, fx vulkanudbrud, afbrænding af kul i kraftværker og småskala-guldminedrift. De naturlige kilder til forurening har ikke ændret sig over tid, hvorimod de menneskeskabte leder større og større mængder kviksølv ud i miljøet. Kulafbrænding og guldminedrift er langt de værste syndere. Den første kan ændres men det koster mange penge. Den anden kan også ændres men det vil kræve, at de millioner af minearbejdere, der bruger kviksølv til guldudvinding i store dele af den tredje verden, holder op med at bruge kviksølvet. Og for at ændre minearbejdernes adfærd skal der omfattende undervisningsprogrammer til om sundhedsfaren ved kviksølv og alternative sundere metoder.

Vores Jord er godt på vej til at blive stærkt forurenede med kviksølv, så meget at Jordens befolkning har fået alvorlige problemer med helbredet. Mange andre organismer har naturligvis også fået tilsvarende problemer. Hvorfra kommer alt det kviksølv, der truer vores helbred? Der findes flere kilder både naturlige og menneskeskabte.

### Er kviksølvforureningen et nyt fænomen, eller har kviksølv altid forurenede vores planet?

Borekerner gennem store iskapper er en af metoderne til at spore kviksølvforureningen

tilbage gennem historien, fordi luftforureningen via snefaldet er indkapslet i isen. I Wyoming i USA har man boret igennem en større iskappe og har efterfølgende analyseret, hvor meget kviksølv, der blev udfældet tilbage i tiden. Borekernen giver et godt billede af kviksølvforureningen over USA i perioden fra 1700 til 2000, se figuren side 4. Perioden er en vigtig del af Jordens nyere historie:

- Fra slutningen af 1800-tallet steg den menneskeskabte kviksølvforurening markant i takt med industrialiseringen.
- Omkring 1850 steg kviksølvindholdet

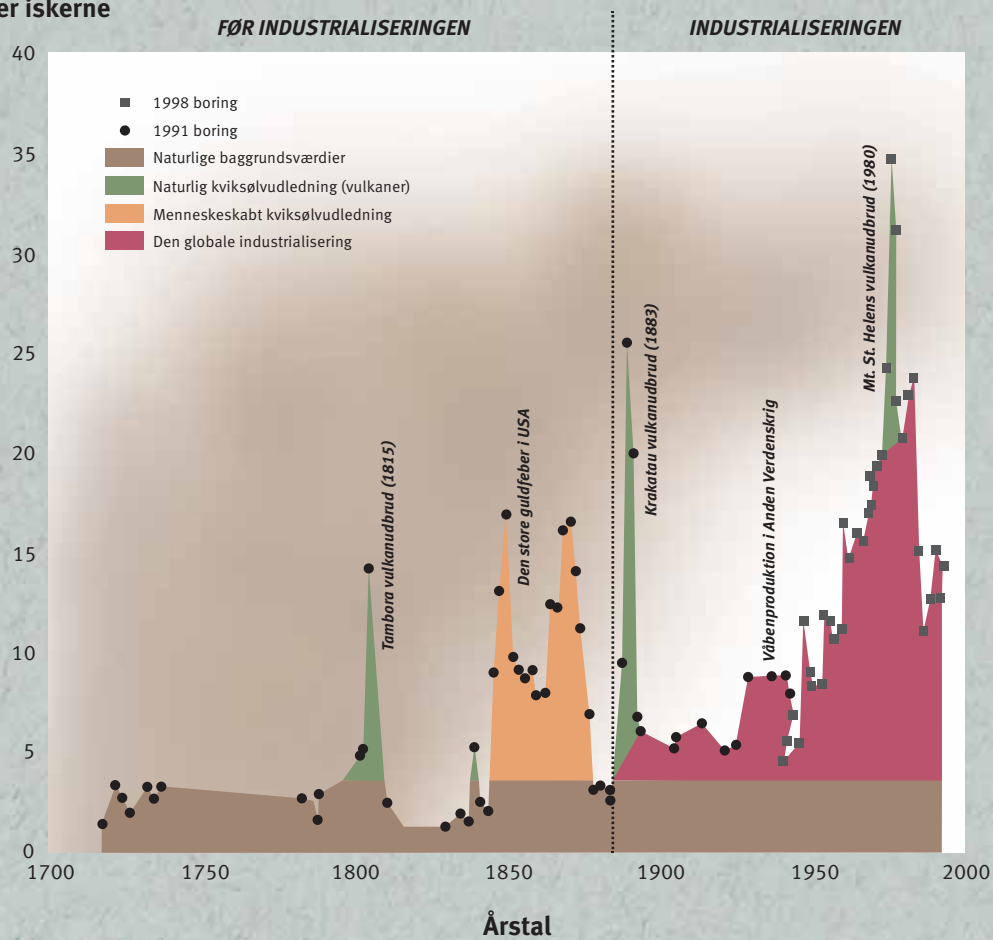
voldsomt over en periode. Det var dengang, den store guldfeber rasede i USA.

- Der har i løbet af den 300 år lange periode været tre meget store vulkanudbrud, der helt tydeligt har bidraget til kviksølvforureningen. Mest markant var det store, eksplosive udbrud i 1883 fra vulkanen Krakatau, der ligger i Indonesien. Udbruddet skabte en omfattende forurening med kviksølv så langt væk som i USA.
- Under Anden Verdenskrig, hvor industrien kørte på højtryk for at fremstille våben, steg kviksølvindholdet i atmosfæren stærkt.
- Fra omkring 1950 og frem til nu er det gået virkelig stærkt. I den periode blev lysstofrør, batterier og termometre fremstillet i millionvis med markant stigning af Jordens kviksølvforurening til følge.

Naturlig udledning af kviksølv kommer fra to kilder, hhv. vulkaner og forvitring af kviksølvholdige bjergarter.

Fra vulkaner udledes mange forskellige stoffer, heriblandt kviksølv. Som eksempel

## Kviksølv mængde i nannogram pr. liter iskerne



Kviksølvindhold i iskerner fra en iskappe i Wyoming, USA. Kurven viser dels naturlig kviksølvudledning, dels menneskeskabt kviksølvudledning til atmosfæren.

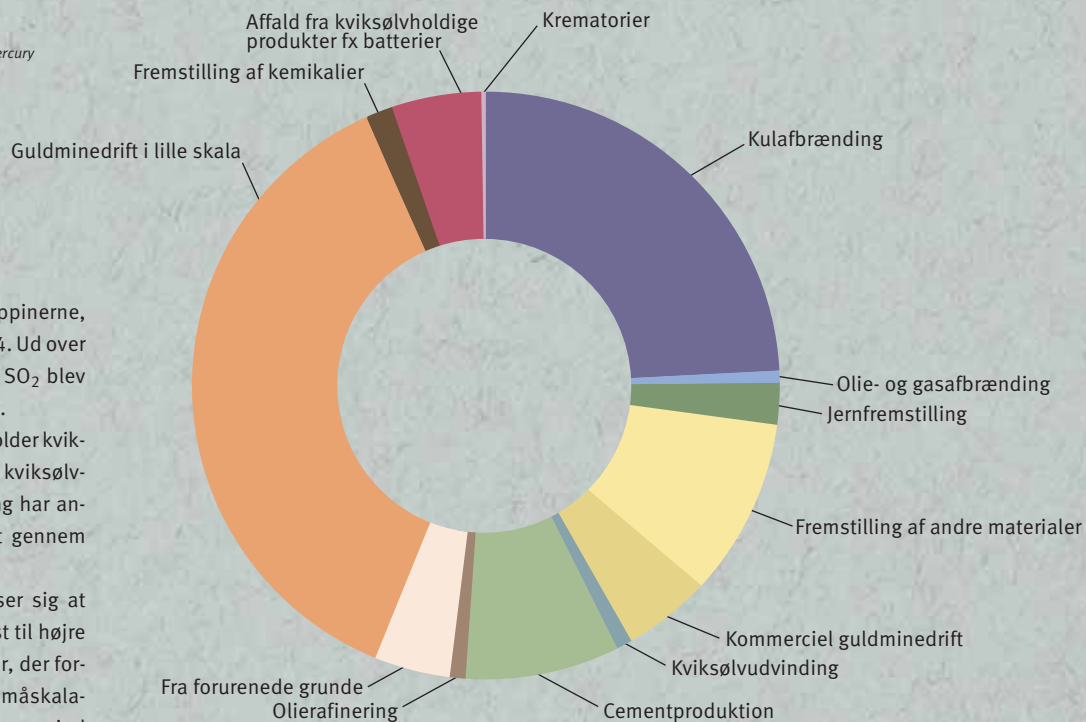
Kilde: AMAP/UNEP, 2013. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013.

Pinatubo under det seneste udbrud i 1991.  
Vulkanen ligger på øen Luzon i Filippinerne.

Foto: US Geological Survey.

Udledning af kviksølv fra en række menneskeskabte kilder.

Kilde: AMAP/UNEP, 2013. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013.



kan nævnes vulkanen Pinatubo i Filippinerne, der gik i udbrud i 1991, se foto side 4. Ud over store mængder aske, vand, CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> blev der her udledt ca. 800 tons kviksølv.

Forvitring af bjergarter, der indeholder kviksølv, er også en kilde til den globale kviksølvforurening. Denne kviksølvudledning har antagelig været nogenlunde konstant gennem Jordens historie.

Langt den værste forurening viser sig at være menneskeskabt. Figuren øverst til højre viser hvilke menneskelige aktiviteter, der forurener vores Jord. Man kan se, at småskalaguldminedrift og kulafbrænding kommer ind som henholdsvis nr. 1 og 2. Andre betydningsfulde menneskeskabte udledninger af kviksølv til miljøet omfatter fremstilling af cement og produktion af en række metaller som aluminium, kobber, bly og zink. En ikke uvæsentlig 'kilde' er manglende genbrug af produkter, der indeholder kviksølv, fx batterier og lysstofrør. Som et kuriosum kan nævnes at kremering også bidrager til Jordens kviksølvforurening pga. amalgam.

## Kulafbrænding

I kul er der ofte små mængder kviksølv, der ved brænding af kullet bliver ledt ud i miljøet. I gamle dage, hvor der ikke var så mange mennesker på Jorden, betød den mængde kviksølv, der blev ledt ud i miljøet via kulafbrænding ikke meget. I dag er situationen desværre ændret meget. I takt med, at der bliver flere og flere mennesker på Jorden, bliver der brændt mere og mere kul af. Nogle steder har man alternative energikilder som atom-, vand- og vindkraft, men i store nationer som Kina og Indien, hvor der tilsammen bor over 2,5 milliarder mennesker, der bl.a. for at få mad på bordet hver dag bruger elektricitet, er kul en vigtig energikilde. Det anslås, at kulafbrænding i Kina udleder i størrelsesordenen 1000 tons kviksølv til miljøet om året. Indien udleder også meget store mængder kviksølv til miljøet. Samlet anslås det, at kulafbrænding udgør knap 25 % af den samlede menneskeskabte kviksølvforurening på Jorden, se figurerne her på siden.

Udledning af røg fra industrivirksomheder ved Lillebælt, Fredericia.

Foto: Peter Warnemoors, GEUS.





Filippinsk minearbejder bryder  
guld dybt nede i jorden.

Foto: Peter W.U. Appel.



Den brudte guldmalm hamres i mindre stykker.

Foto: Peter W.U. Appel.



Guldmalmen formales sammen med kviksølv.

Foto: Peter W.U. Appel.



Guld udvundet ved hjælp af kviksølv, der er fordampet ved opvarmningen. Bemærk den lyse farve gullet har. Det skyldes, at gullet indeholder omkring 10 % kviksølv. Det sidste kviksølv bliver fjernet af guldhandlerne.

Foto: Peter W.U. Appel.

## Småskala guldminedrift

Som det fremgår af figuren side 5, er guldminedrift i lille skala ubetinget den menneskelige aktivitet, der forurener vores Jord mest med kviksølv.

Hvad forstår man så ved småskala guldminedrift? Populært sagt er det tre mand og en trillebør, der uden eller med få tekniske hjælpemidler udvinder guld af fast fjeld eller af flodsand. Flere millioner mennesker på globalt plan, hovedsageligt i Asien, Afrika, Syd- og Mellemamerika arbejder med småskala minedrift. Det er mennesker, der ikke har andre muligheder for at tjene penge til dagen og vejen.

Guldudvinding i fast fjeld starter i skakter, der kan være 70 til 80 meter dybe, hvorfra der går tunneller i flere retninger for at følge guldmalmen. Malmen bliver hugget ud med hammer og mejsel, se foto til venstre, i sjældnere tilfælde med hjælp af dynamit. Den brudte malm hejses op til overfladen, hvor den hamres til mindre stykker, se foto ovenfor. Den knuste malm formales i tromler sammen med kviksølv, se foto øverst til højre. Grunden til at minearbejderne bruger kviksølv er, at det kan amalgamere med guld, hvilket er specielt. Amalgamering er populært sagt en opløsning

af gullet i kviksølv. De millimeter-store guld-korn i malmen bliver under formalingen 'opløst' i kviksølvet. Derefter kan man samle kviksølvet sammen. Ved at varme kviksølvet op fordampes det, og gullet ligger tilbage, se foto ovenfor. Det er en meget nem proces, der kan klares med ganske få hjælpemidler. Problemet med processen er naturligvis, at den udleder meget store mængder kviksølv til miljøet. For hvert gram guld, der bliver udvundet, bliver der udledt mange gram kviksølv. Det lyder måske ikke af så meget, men når man tager det antal guldminearbejdere, der findes på Jorden i betragtning, bliver regnestykket skræmmende. Eksempelvis udleder guldminearbejderne i Indonesien omkring 600 tons kviksølv om året.

## Kviksølvmel

Der er desværre en ekstra lille krølle ved brugen af kviksølv til guldudvinding. Når kviksølv formales sammen med guldmalm i tromlerne, bliver kviksølvet delvist hamret i stykker til millimeter-store kviksølverler, kaldet kviksølvmel. Disse perler har mistet evnen til at samles igen, og fordi de er så små, kan de dels flyde på vandet, dels er de umulige at indfan-

ge i den knuste malm. De tusindvis af kviksølverler flyder væk og ender i affaldet fra produktionen og videre ude i miljøet. Det giver to problemer: 1) kviksølvmellet forurener vores Jord kraftigt, og 2) i kviksølvmellet er der en hel del guld, som så går tabt. Tabet af guld i Filippinerne skønnes at være flere tons om året. Det er meget kedeligt, dels for minearbejderne og dels for landet at miste så meget guld.

## Minamata katastrofen

Den største kviksølvkatastrofe i Jordens historie fandt sted i sidste halvdel af forrige århundrede. En japansk fabrik brugte kviksølv som katalysator til fabrikation af kunstgødning. Gennem en periode på 30 år udledte fabrikken omkring 600 tons kviksølv til en flod, der mandede ud i Minamata bugten. Resultatet var, at tusinde af mennesker døde og mange børn blev født med alvorlige mentale og/eller fysiske handicaps, se foto side 11.

I 2014 underskrev en lang række lande den såkaldte Minamata konvention, der blandt andet forbyder al handel med kviksølv bortset fra kviksølv til enkelte formål som fx fremstilling af lysstofrør.



# Kviksølv i din middagsmad

Livet på Jorden er tilpasset et miljø med et meget lavt indhold af kviksølv i et kredsløb, der er i ligevægt. Kredsløbet har en konstant lille tilførsel af kviksølv, der fordamper fra bjergarter; hertil kommer kortvarige, aperiodiske tilførsler fra vulkaner. Tilsvarende fjernes kviksølv fra kredsløbet, når det begravnes i bundsedimenter. Men kredsløbet har ændret sig. Vi udleder så store mængder af kviksølv, at koncentrationen af kviksølv på landjorden, i vandet og i luften er støt stigende. Kviksølv optræder i flere former. En af dem er metylkviksølv, som i vandmiljøet overføres til og ophobes i biosfæren, som vi spiser af. Spiser du meget fisk, så hold dig til de små fisk og varier tilbehøret.

## Kviksølvs kredsløb

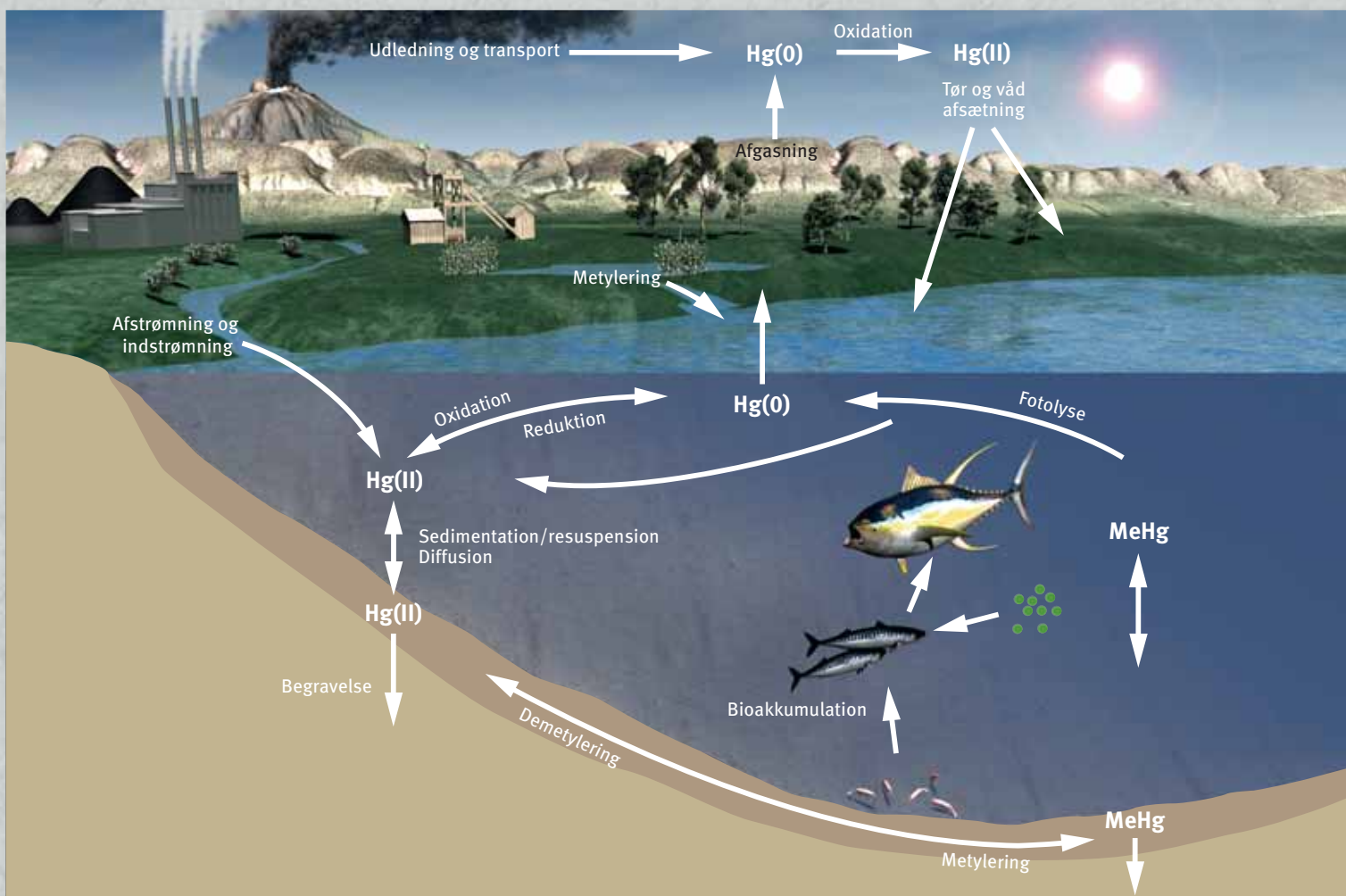
Kviksølv bevæger sig gennem atmosfæren, hydrosfæren, litosfæren og ikke mindst biosfæren i et kredsløb med flere indlejrede sløjfer, som vist i figuren nedenfor. Mennesket påvirker kredsløbet og mængden af kviksølv i alle dele af kredsløbet og på globalt plan gennem udledninger til atmosfæren. Når

vi brænder kul af, vil den lille smule kviksølv, der er i kullet, frigives som frit kviksølv,  $\text{Hg}(0)$ . På grund af den høje temperatur, der er i røggassen, vil kviksølvet primært findes i gasform, som kviksølvsdamp og bundet til partikler. Opholdstiden i atmosfæren er relativt lang, omkring et år, så udledninger til atmosfæren kan nå langt omkring.



Opskåret tun på et fiskemarked i Filippinerne.

Foto: Peter W.U. Appel.



*Kviksølvs kredsløb. Kviksølv udledes som  $\text{Hg}(0)$  naturligt fra bjergarter, men også fra kulkraftværker og guldudvinding. I dampform spredes  $\text{Hg}(0)$  over store afstande.  $\text{Hg}(0)$  omdannes til  $\text{Hg}(II)$ , der afsættes i vand og på land. I vandet og i sedimenterne er der mikroorganismer, der omdanner  $\text{Hg}(II)$  til  $\text{MeHg}$ , som optages og ophobes i fødekæden, så store gamle tunfisk har høje koncentrationer af  $\text{MeHg}$ . Kviksølvet, der begravnes i sedimenterne, indgår igen i den geologiske del af kredsløbet.*

*Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.  
Efter oplæg fra forfatterne.*

## Kviksølvets oxidation og reduktion

Frit kviksølv Hg(0) er i sig selv ikke særlig reaktivt, hvilket er en del af grunden til, at Hg(0) kan anvendes i termometre, elektriske kontakter og flydende elektroder i industrien. Men Hg(0) kan iltes til Hg(II) af nogle af de reaktive stoffer, der dannes i atmosfæren under påvirkning af sollyset, se boksen til højre. Hg(0) er ikke opløseligt i vand, men det er Hg(II), så når det regner, vil Hg(II) opløses i regnen eller bindes til sne og ende på planter, jord-, sne-, is- og vandoverflader sammen med det kviksølv, der er bundet til partikler i atmosfæren. En stor del af det kviksølv, der kommer ned med nedbøren som Hg(II), bliver hurtigt reduceret til Hg(0). Det meste sker ved fotokemiske processer, og vender tilbage til atmosfæren – en sløjfe i det overordnede kredsløb. En del af det Hg(II), der falder på jordoverflader, bliver bundet til både organisk stof og overfladerne på mineraler i jorden. Et øget input af kviksølv vil betyde at koncentrationen stiger i jorden, i have og i søer, fordi inputtet er blevet større end det, der fjernes ved sedimentation, se figuren side 8.

Kviksølv udledes også lokalt direkte til vandmiljøet i form af spildevand fra industrier eller fra guldminedrift. Industrispildevand kan indeholde både Hg(0) og Hg(II), mens spildevand fra guldudvinding primært er Hg(0). I vandet kan Hg(0) oxideres til Hg(II) og også her er fotokemiske processer vigtige. Ligesom biler lavet af Fe(0) rustner hurtigere med vejsalt (natriumklorid, NaCl), så går oxidationen af Hg(0) til Hg(II) hurtigere i havvand, hvor der er en høj kloridkoncentration. Vandmiljøet bliver også tilført Hg(II) fra de sedimentpartikler, der bliver flyttet med vand og vind ud i søer og have.

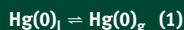
Hg(0) er uopløseligt i vand og Hg(II) binder sig til sedimentpartikler og organisk stof, så derfor er koncentrationen af kviksølv i de to former meget lav i selve vandet, og de to former for kviksølv kan heller ikke optages direkte gennem fordøjelsessystemet. Så hvordan kommer der kviksølv i maden?

## Metylkviksølv og faktorer der styrer niveauet

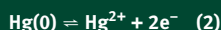
Kviksølv er et af de metaller, der kan danne organometalforbindelser, hvoraf flere fx B<sub>12</sub> vitamin, som indeholder kobolt, har mange vigtige funktioner i kroppen. Derimod er orga-

## Kviksølv på flere måder

Som andre metalliske grundstoffer optræder kviksølv, Hg, i sin grundtilstand, som vi betegner Hg(0), hvor (0)'et viser, at grundstoffet er uden elektrisk ladning. Over flydende kviksølv er der kviksølvsdamp:



hvor l og g henviser til flydende (liquid) og gasformig Hg(0). Tegnet  $\rightleftharpoons$  fortæller, at reaktionen er en ligevægt, der kan gå begge veje og fx vil forskydes til højre ved højere temperatur. Metaller afgiver gerne elektroner, for Hg kan det være en, men helst to:



– en halvreaktion, der kræver en anden halvreaktion, der modtager de to elektroner. Hg(0) oxideres til Hg(II), der som vist kan optræde som kationen Hg<sup>2+</sup>. I atmosfæren kan oxidationen ske med Br<sub>2</sub>, ozon, og •HO dannet ved fotokemiske processer, hvor der tilføres energi i form af lys, her sollys. En reaktion, hvor Br<sub>2</sub> modtager elektroner og reduceres kunne være:



Hg(II) kan methyleres og danne et meget simpelt og meget giftigt organometal, metyalkviksølv, der kan skrives MeHg, som betyder, at Hg sidder sammen med en metylgruppe -CH<sub>3</sub>, som er overført fra et større organisk molekyle. Her er princippet vist med en simpel eddikesyreion:



Det er kun en lille del af MeHg, der findes på ionform det meste findes bundet til OH<sup>-</sup> ioner eller, især i havvand, til Cl<sup>-</sup> ioner, hvilket vil sige, at ligevægtene nedenfor i det naturlige miljø er forskudt langt mod højre:



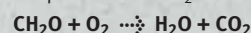
MeHg kan tilføres endnu en metylgruppe, så der dannes dimetylkviksølv; det er endnu giftigere end MeHg, men heldigvis er det også ret flygtigt, så det ender hurtigt i atmosfæren, hvor det omdannes til Hg(0).

nometalforbindelsen metyalkviksølv, MeHg, en uønsket og stærk nervegift som kan optages gennem tarmsystemet og overføres til hjernen henover blod-hjerne-barrieren. MeHg dannes ved metylering ud fra opløst Hg(II) og ud fra Hg(II) bundet til partikler i vandmasserne, eller som bundsediment i vådområder, rismarker, søer og have, se figuren side 8. Processen bliver, i hvert fald i sedimenter, udført af bakterier, som nok danner MeHg for at kunne transportere Hg(II) ud af cellen inden det ødelægger noget. Metylering bliver udført af fritlevende bakterier, men også af bakterier, der lever i tarmsystemet hos fx regnorme, fisk og pattedyr.

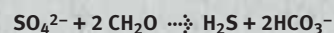
Hvor meget MeHg der dannes, afhænger af hvor meget frit Hg(II), der er til rådighed for metyleringen, og det er en funktion af flere faktorer, der også indbyrdes påvirker hinanden. Surhedsgraden spiller en rolle, fordi bin-

dingen af Hg(II) til organisk stof og mineraler sker i konkurrence med H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ioner og dem bliver der flere af, når miljøet er surt og pH er lav (pH = -log[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>])). Surhedsgraden er påvirket af mange faktorer; sur regn er et eksempel på menneskeskabt forurening. Metylering går relativt hurtigt i miljøer uden ilt (anaerobe). I anaerobe miljøer lever nogle af de bakterier, der er gode til at udføre metyleringen. De lever af at omdanne (reducere) sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) til sulfid (H<sub>2</sub>S) ved at bruge (oxidere) organisk stof (meget simplificeret: CH<sub>2</sub>O). Processen, sulfatreduktion, er en form for respiration, som når vi forbrænder sukker med den ilt (O<sub>2</sub>) vi indånder:

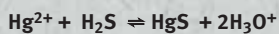
Respiration med O<sub>2</sub>:



sulfatreduktion:



Men den sulfid, der dannes, kan faktisk medføre en hæmning af metyleringen. Det sker fordi mineralet cinnober, med den kemiske formel HgS, er et meget stabilt mineral, så når der dannes H<sub>2</sub>S, vil Hg(II) blive bundet som HgS som cinnober og ikke være til rådighed for metyleringen:



Hvor meget H<sub>2</sub>S der dannes er både afhængig af hvor meget sulfat og hvor meget organisk stof, der er til rådighed, men også om der er andre metaller, der binder sulfid. Der er en del sulfat til rådighed i havvand, så i havbunds-sedimenter er der ofte en del sulfid. I ferske systemer, som fx en vandmættet rismark, er der anaerobe forhold, kun lidt sulfat og altså gode betingelser for dannelse af MeHg, hvis der er kviksølv tilstede. En del MeHg kan optages i risplanterne og overføres til risgrøden, så ris fra en mark med meget kviksølv kan indeholde en del MeHg. Udover vandets pH og sulfidindhold er der mange andre faktorer, der spiller ind på, hvor meget MeHg der er i vandet. Tilgængeligheden af lys er en af de faktorer, der spiller ind på omdannelsen af

MeHg til Hg(0), som kan gå tilbage til atmosfæren og dermed lukke en af sløjferne i kredsløbet, se figuren side 8. Med de mange faktorer, der spiller ind på dannelsen og omdannelsen af MeHg, er det svært at forudsige, hvor høj en koncentration af MeHg, der vil være i vandet i et givet system.

### Kviksølv i maden

Hvad vi desværre ved med stor sikkerhed er, at det MeHg, der er til stede i vandet, opløst eller bundet til partikler, bliver optaget af alle de organismer, der lever i vandet. Kun en lille del af det MeHg, der kommer ind i organismen, udskilles umiddelbart; det meste optages i vævet, hvorfra det kun langsomt udskilles igen. Når kviksølvet kommer ind i organismen som MeHg, har det derfor en tendens til at hobe sig op i organismen, fordi udskillelsen er langsommere end optaget – der sker en bioakkumulation. Mindre organismer som plankton og muslingelarver bliver spist af større organismer som fisk. Små fisk bliver spist af større fisk, der bliver spist af kæmpefisk, sæler og tandhvaler. Generelt lever større organismer længere end små, så gennem deres levetid når store rovfisk at spi-

se rigtig mange af de små organismer – der allesammen indeholder en smule kviksølv, bundet som MeHg i vævet – der sker en biomagnifikation. Ligesom de små organismer udskiller de store fisk også MeHg relativt langsomt i forhold til, hvor meget de får ind med føden. Kombinationen af bioakkumulation på grund af den langsommere udskillelse end optagelse og biomagnifikationen op i gennem fødekæden betyder, at store og gamle fisk og hvaler i toppen af fødekæden kan have et indhold af MeHg, der er 1 million gange højere end koncentrationen i vandet. Så hvis der er kviksølv i din middagsmad, er det fordi du spiser fisk, der ligger højt oppe i fødekæden og derfor har akkumuleret MeHg fra deres mad gennem et langt liv. Spiser du ris til? Så får du måske en lille smule ekstra derfra. Mennesket befinder sig i toppen af fødekæden og er derfor meget udsat, når fødevarerne forurennes.

Ulve, der lever langs kysten i Alaska og stiller sulten med alt godt fra havet, har mere kviksølv i kroppen end ulve inde i landet. Så de fiskende ulve burde ind i mellem flytte ind i landet og leve af vilde bær....



# Kviksølv er en nervegift

At kviksølv er giftigt for mennesker har man vidst i flere hundrede år. Fra tossede hattemagere i viktoriatidens England til de store forureningskatastrofer i Irak og Japan har man observeret, hvordan kviksølv er en potent nervegift. Men det er jo længe siden og langt væk, og nogle vil nok tænke – hvad vedkommer det mig? Men kvik-sølvforurening kender hverken tid eller landegrænser og fortidens og nutidens syn-der i fjerne egne resulterer i små hjerneskader – hos os alle. Kviksølvforurening gør simpelthen os alle sammen dummere, end vi burde være.

Metallisk kviksølv fordamper ved stuetempe-ratur, og inhaleres sådanne kvik-sølvdampe absorberes de næsten fuldkommen i den menneskelige organisme. Derfor er det en god ide at skynde sig bort, hvis et gammel-dags kvik-sølvtermometer falder på gulvet og knuses. Det samme gør sig gældende for al-mindelige sparepærer – kvik-sølvindholdet i disse er dog ganske beskedent.

Guld kan opløses i kviksølv, og en meget stor del af verdens guld er udvundet ved hjælp af kviksølv. Når en guldgraver vasker guld med sin vaskepande, skylles alt det lette materia-le bort med vandet og kun de tunge mineraler og metaller – deriblandt guld – ligger tilbage i vaskepanden. Guldet kan nu skilles fra re-sten ved at blande kviksølv i, hvilket danner et amalgam med guldet. Amalgamet kan nu

opvarmes med en benzin- eller gasbrænder, således at kviksølvet fordamper og guldet lig-ger tilbage. De guldminearbejdere, som ud-fører denne opgave, udsættes i særlig grad for forgiftning med metallisk kviksølv. Hoste er et almindeligt symptom, men i de grelleste tilfælde kan dampene medføre akut kemisk lungebetændelse og død.

Langt den mest almindelige lidelse blandt guldminearbejdere er dog en kronisk forgift-ningstilstand præget af den klassiske triade af eretisme, tremor og tandkødsbetændelse. Ere-tisme er personlighedsforandringer som ag-gressivitet, irritabilitet eller generthed. Andre psykiatriske symptomer som psykose, angst,

depression og hukommelsestab er også velkendte. Tremor betyder rysten. Dette er ofte mest synligt som rysten på hænderne. Metalisk kviksølvforgiftning kan medføre en generel svækkelse af kroppens motoriske funktioner, således at det fx er svært at knappe sine bukser. Kviksølv påvirker også nerverne i tandkødet og rundt om munden, hvilket kan give tandkødsbetændelse og følelseløshed på læberne. De fleste af disse symptomer er reversible hvis eksponeringen for kviksølv stoppes, men langvarig eksponering kan resultere i permanente skader.

Kviksølv er ikke kun giftigt for mennesker, men er også en god gift mod mugsvamp. I viktoriatidens England brugte hattemagerne kviksølv til at behandle skind og filt med, hvilket efter sigende resulterede i psykiatriske personlighedsforandringer, hukommelsestab og tremor hos mange hattemagere, som derfor blev kendt for at være splittergale. Dette er historien bag den gale hattemager om *Alice i Eventyrland* som tidligere omtalt.

I guldgraverbyerne i Filippinerne og andre steder foregår guldproduktionen typisk midt i landsbyen blandt høns, vasketøj og legende børn. Det er således de lokale beboere, der

primært udsættes for forgiftning med metalisk kviksølv. Med tiden blæser dampene væk, og kviksølvet i sandaffaldsdyngerne udvaskes til havet, hvor der dannes metylkviksølv og andre organiske kviksølvforbindelser.

Set fra et globalt sundhedsperspektiv er forureningen med metylkviksølv langt det største problem. Metylkviksølv optages gennem kosten, men påvirker også fostre, da det nemt passerer gennem moderkagen.

Den metylkviksølv-forgiftning, som voksne danskere påvirkes af gennem en almindelig kost, giver næppe symptomer, som er mål-bare med det nuværende forureningsniveau. Men fra to af de store forureningskatastrofer med metylkviksølv i Irak og i Minamata i Japan ved vi, at voksne kan få neurologiske symptomer i form af tunnelsyn, føleforstyrrelser, hovedpine, tremor, gangbesvær, talebesvær, høretab og andre hjerneskader, som i svære tilfælde er dødelige.

Det egentlige problem er, at metylkviksølv ophobes i fostre. Fostres blod har en meget høj affinitet for metylkviksølv, og man kan direkte måle, at kviksølvkoncentrationen falder hos kvinder gennem en graviditet og samtidig opkoncentreres i fosteret. Dette kan resultere

i hjerneskade hos barnet og kan i svære tilfælde medføre epilepsi, spastisk lammelse, døvhed, blindhed og dødfødsel. Således så man mange uhyggelige tilfælde af medfødte misdannelser hos børn født af kvinder fra området omkring Minamata Bay, se også foto nedenfor. En så omfattende forurening hører dog til sjældenhederne, og i de fleste tilfælde resulterer kviksølvforgiftning i en let reduceret intelligens og forsinket motorisk udvikling. En befolkningsundersøgelse fra Færøerne viste, at der var sammenhæng mellem gravide kvinders indhold af kviksølv i kroppen og deres børns intellektuelle og motoriske udvikling som 7-årige, således at børnene af de mødre, der havde et relativt højt indhold af kviksølv i kroppen, klarede sig dårligere i en lang række neuropsykologiske tests. Kvinderne havde næsten alle en kviksølvkoncentration under den tilladte grænseværdi, hvilket førte til, at man – efter studiet blev kendt – sænkede grænseværdierne. Men den tunge konklusion på studiet fra Færøerne er, at der er et lineært forhold mellem dosis og respons, således at selv små koncentrationer af metylkviksølv formentlig giver små hjerneskader – hos os alle.



Et stærkt handicappet offer for kviksølvforgiftning i Minamata-bugten, Japan. Forureningen fandt sted i løbet af 1950'erne. Kviksølvforureningen stammede fra en kemisk virksomhed, som udledte urensset, kviksølvholdigt spildevand i bugten.

Foto: POLFOTO.

# Kan man bremse kviksølvforureningen fra guldminedrift?

Det er muligt at rense røg fra kulfyrede kraftværker for kviksølv, men det er dyrt og desværre bliver det ikke gjort i tilstrækkeligt omfang i nogle lande med mange kraftværker, fx Kina. Det store udslip af kviksølv fra guldminedrift er ikke så omkostningsfuldt at nedbringe. Der kan oven i købet være en økonomisk gevinst for minearbejderne. Det er imidlertid ofte svært at overbevise en gruppe minearbejdere midt i junglen om, at de skal ændre deres arbejdsvaner. De har brugt kviksølv i mange år, så de er ikke glade for at skifte til nye metoder. Hvis man kan demonstrere, at de kan udvinde op til 75 % mere guld uden store investeringer i nyt udstyr og uden væsentligt mere arbejde, så bliver de mere interesserede.

## De mest kviksølvforurenende menneskelige aktiviteter:

- Afbrænding af kul i kraftværker og i kulbækkener til madlavning
- Småskala guldminedrift.

## Kan vi begrænse/stoppe kviksølvudslippet fra afbrænding af kul?

Der findes rensningsmetoder, som i kraftværkerne kan rense røgen for kviksølvdampe. Det er kostbart at installere disse rensningsanlæg, og dette er formentlig grunden til, at titusindvis af kulfyrede kraftværker i udviklingslandene, og specielt i Kina, ikke renses røgen for kviksølv.

I Indien og flere andre lande bruger flere hundrede millioner mennesker små kulfyrede bækkener til madlavning og opvarmning. Forståeligt nok er det ikke muligt at rense røgen fra alle disse kulbækkener, ligesom de pågældende lande ikke har penge til at etablere alternative opvarmningskilder som fx elektricitet eller gas.

Rent umiddelbart ser det altså ikke ud til, at vi inden for en overskuelig tid kan reducere den kviksølvforurening, der stammer fra kulafbrænding.

## Er det muligt at reducere kviksølvforureningen fra småskala guldminedriften eller stoppe den helt?

Der er faktisk flere muligheder. Gennem mange år har forskellige internationale grupper forsøgt at introducere alternative udvindingsmetoder for småskala guldminedrift. De fleste har virket fint, men har haft det problem, at de kræver dyrt, avanceret udstyr og eventuelt adgang til elektricitet. De fleste småskala minearbejdere er spredt ud over meget store om-

råder uden adgang til elektricitet eller andre energikilder. Minearbejderne er desuden sjældent i stand til at foretage større investeringer eller holde avanceret udstyr ved lige.

Det er imidlertid så heldigt, at en kvik minearbejder i Filippinerne for 30 år siden opdagede en rigtig god metode til guldudvinding i lille skala. I løbet af de ca. 30 år bredte

metoden sig til en del af Filippinerne således, at der nu er omkring 25.000 minearbejdere, der bruger metoden.

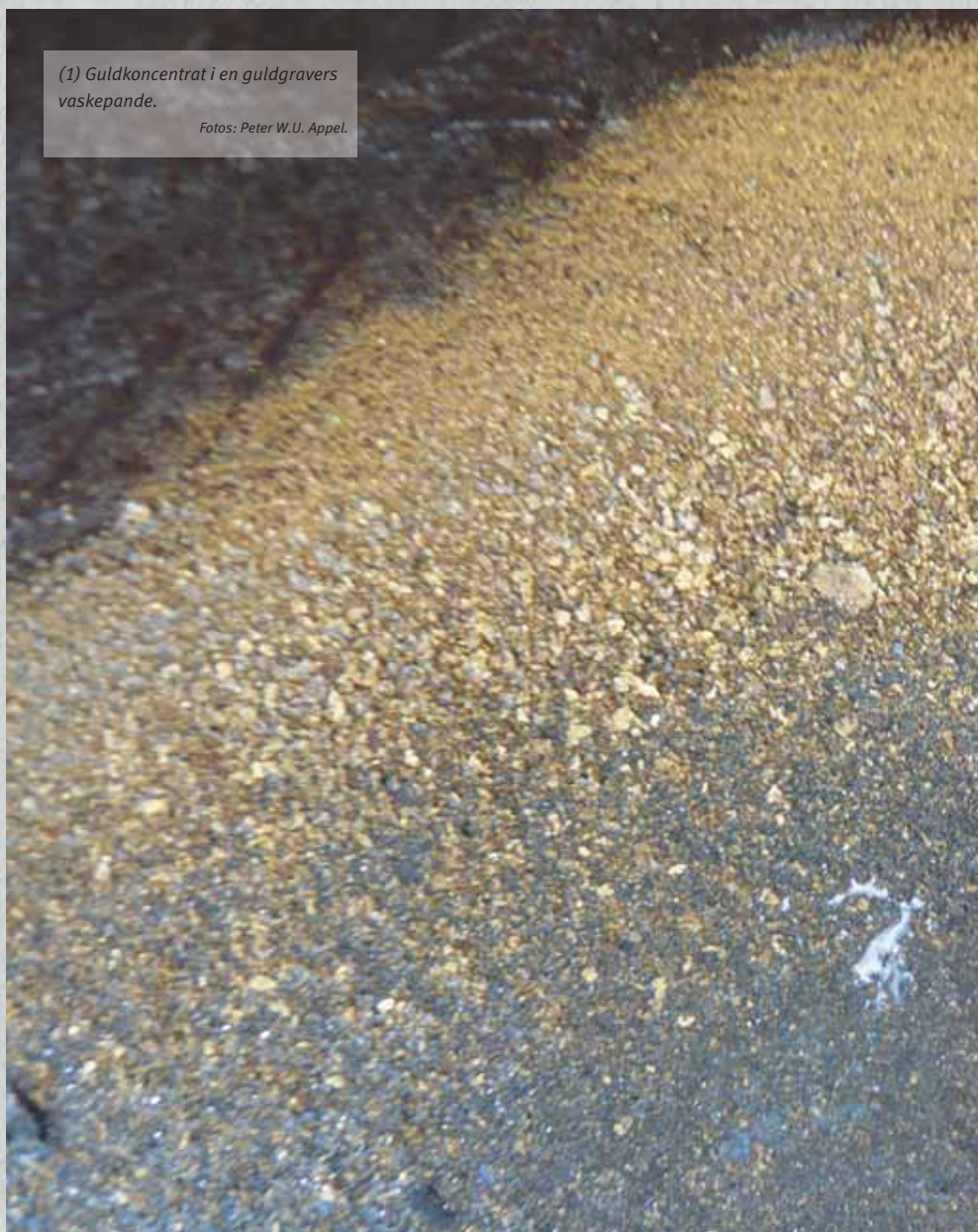
Metoden har flere positive sider:

1. Den kræver ikke investering i nyt udstyr
2. Der skal ikke bruges kviksølv, som er både dyrt og giftigt
3. Minearbejderen udvinder mere guld med den.

Det er, hvad man kan kalde en win-win-metode. Metoden kaldes kviksølv-fri guldudvinding med boraks til guldudsmeltning eller i den korte version: Boraksmetoden.

(1) Guldkoncentrat i en guldgravers vaskepande.

Fotos: Peter W.U. Appel.



### Boraksmetoden trin for trin

De første trin i denne metode ligner kviksølv-metoden. Det er stort set det samme udstyr, man skal bruge til boraksmetoden som ved udvinding med kviksølv. Guldmalmen brydes, knuses og formales i tromler, men denne

gang uden tilsætning af kviksølv. Derefter koncentrerer de tunge mineraler – herunder guld. Det sker rent mekanisk fx i en guldgraver-vaskepande. Når et godt guldkoncentrat er produceret, se foto (1), bliver det samlet i en stump plastic eller et større blad (fx et ba-

nanpalme- eller et tobaksplanteblad), hvor det bliver blandet med nogle gram boraks og lidt vand (2). Blandingen lægges i en lerskål sammen med lidt boraks (3). Det hele opvarmes med en benzin- eller gasflamme. Ved kraftig blæsning stiger temperaturen, så alle mineralerne smelter. De indgår i en form for boraksglas, medens gulddråberne samler sig i bunden af lerskålen til en lille gulddrøbe (4). Den kan tages op med spidsen af en kniv og køles ned (5).

(2) Guldkoncentratet blandes med boraks og lidt vand.

(3) Blandingen fra plastikposen lægges i en lerskål med trækul og varmes kraftigt op.

(4) Gullet har samlet sig i bunden af lerskålen.

(5) Gulddrøben er kølet ned. Den vejer ca. 3 gram.



## Hvad er boraks og hvordan bidrager det til bedre guld-udsmeltning?

Boraks er et borholdigt mineral ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), der findes i naturen i saltaflejringer. Det er et hvidt pulver, der blandt andet bliver brugt i forbindelse med fremstilling af emaljer og blev tidligere benyttet i vaskepulver – oftest modificeret som perborat (blegemiddel). Boraks er på EU's liste over giftige stoffer og kunne synes uegnet til at udvinde guld med. Et tysk institut har fodret rotter med boraks og set at de fik reduceret fertilitet. Det ville jo ikke være godt hvis mennesker fik nedsat fertilitet. Imidlertid har et dansk-kinesisk forskerhold undersøgt kinesiske minearbejdere, der arbejder i en boraksmine. Ingen af minearbejderne havde nedsat fertilitet eller andre helbredsgener. I lande som Kina og Indonesien bliver boraks benyttet til fremstilling af nudler og som tilsætning til kødboller. Nudlerne bliver mere elastiske og kødbollerne holder sig længere friske med boraks. Begge lande har en stor befolkningstilvækst, hvilket ikke tyder på nedsat fertilitet.

### Hvilken rolle spiller boraks i udsmeltningen af guld?

Boraks smelter ved  $743^\circ\text{C}$  og reagerer i smeltet tilstand som en fluks, der kan få en blanding af mineraler til at smelte sammen ved en lavere temperatur, end hvis man ikke brugte det. Det har specielt betydning for guldminearbejdere, der ikke har det tekniske udstyr til at smelte guld (smeltepunkt  $1063^\circ\text{C}$ ) uden boraks. Samtidig har boraks en 'rensende' effekt, der gør at urenheder ikke hæmmer sammensmeltningen af mineralkorn og ikke mindst gør, at de meget små guldkorn kan samles til større dråber, som synker til bunds i smelten.

Ved brug af kviksølv vil guldklumperne altid indeholde større eller mindre mængder kviksølv, som giver lavere priser, når guldet skal sælges til en guldhandler. Det undgår man selvfølgelig med boraks.

*Øverst ses en oplysningsplakat om kviksølv; i midten en kvinde med sit vaskefad og nederst ses to af forfatterne til dette nummer af Geoviden i færd med at undervise de lokale guldgravere i brugen af boraksmetoden.*

*Fotos: Rasmus Køster-Rasmussen.*

## Undervisning i boraksmetoden

I artiklen side 7 blev dannelsen af kviksølvmel beskrevet som et stort problem, da det dels forurenar miljøet med kviksølv, dels resulterer i et stort tab af guld. Hvis minearbejderen erstatter brugen af kviksølv med boraks, vil han udvinde mere guld, og derved tjene flere penge uden at belaste miljøet.

For omkring 10 år siden blev GEUS opmærksom på boraksmetoden. Siden da har GEUS – ofte i samarbejde med læger fra den danske NGO Dialogos – gennemført en lang række undervisningsprogrammer i flere dele af verden: Filippinerne, Indonesien, Mongoliet, Etiopien, Bolivia og Peru. Og flere projekter er planlagt. Der er fremstillet en undervisningsvideo på fire sprog, hvor hele processen er beskrevet. Den findes på Youtube.com

(søg på borax gold). Linket viser hen til den engelske version.

Man kunne tro, at minearbejderne ville være begejstrede for den nye metode, men det er de nu ikke altid. Ofte skyldes det tradition. Nu har de brugt kviksølvmetoden i mange år, så hvorfor skifte til noget nyt? Helbredsargumentet er ikke altid nok til at få dem til at skifte til den nye metode. Det er derimod den økonomiske gevinst. Når undervisningen starter op et nyt sted, forklarer vi minearbejderne, hvilke fordele den nye metode har. Der lægges vægt på, at de kan udvinde mere guld. Det skal vi naturligvis kunne bevise for minearbejderne.

Det gøres på følgende måde. Et antal sække med guldmalm vælges tilfældigt ud, knuses og formales. Ved den ene halvdel af guldmal-

men udvinder minearbejderne guldet ved hjælp af kviksølv, mens guldet udvindes af den anden halvdel ved hjælp af boraks. Den kviksølvfri udvinding gennemføres af vores undervisningshold, der består af en geolog fra GEUS og en eller to minearbejdere fra Filippinerne. Når begge hold er færdige, vejes det guld, der blev udvundet ved de to metoder. Første gang vi underviste på denne måde i Filippinerne, udvandt de lokale minearbejdere 7,2 gram guld ved brug af kviksølv og underviserne 22,3 gram guld ved brug af boraks. Denne forskel var tilstrækkelig til at overbevise 1800 minearbejdere om den økonomiske gevinst ved at skifte til boraks.



# Er boraks et sundt alternativ til kviksølv?

**Boraksmetoden til udvinding af guld har nogle tekniske fordele sammenlignet med kviksølvmetoden, idet man får renere guld, samtidig med at boraks er billigere end kviksølv. Internationalt er de fleste lande enige om at begrænse eller helt stoppe brugen af kviksølv. Men boraks er kommet på EU's varslingsliste over mulige farlige stoffer, så er det nu også klogt at udskifte ét giftigt kemikalie med et andet?**

På grund af kviksølvs giftige virkninger på både mennesker og miljø har man søgt alternativer til brugen af kviksølv i forskellige sammenhænge. Apparatur, der anvender kviksølv, fx termometre og blodtryksapparater, er i vid udstrækning blevet erstattet af anden teknologi og man anvender ikke længere, eller kun sjældent, kviksølv til plomber i tænderne. I dag er småskala guldminedrift den største enkeltstående kilde til menneskeskabt kviksølvforurening.

Guldgravere i Benguet i Filippinerne har i årevis udvundet guld uden brug af kviksølv. I disse områder blander man de tunge mineraler (som man har opkoncentreret i sin vaskepande) med boraks og opvarmer det med en gasbrænder, hvorved guldet isoleres. Men er boraks ugiftigt? Det korte svar er: Ja, i hvert fald i den form for boraks, som anvendes af guldgraverne.

Boraks (disodium tetraborat decahydrat) er et salt af grundstoffet bor, som findes udbredt i naturen, bl.a. i drikkevand, frugt og grøntsager. Bor og dets forskellige kemiske forbindelser anvendes i mange forskellige artede produkter, fx i glasfremstilling, brandhæmmere, rengøringsmidler, kosmetik, hudplejemidler mm. Bor er et essentielt stof for visse plantetyper og kan derfor være tilsat i kunstgødning. Man har antaget, at bor var stort set ugiftigt, men en grundlæggende læresætning inden for læren om giftstoffer er, at alle stoffer er giftige, hvis man udsættes for tilpas store mængder af det. Eksempelvis

kan en tilpas stor dosis køkkensalt slå et menneske ihjel. Der skal meget høje doser af boraks til, før der ses symptomer på forgiftning. Bor optages nemt fra mave-tarmsystemet ved almindelig indtagelse, fx gennem maden. Der kan også ske en optagelse af stoffet, hvis man indånder borholdigt støv, mens der ikke sker nogen optagelse gennem intakt hud. Der er beskrevet forgiftningssymptomer hos personer, der har spist borholdige væsker eller stoffer. Ved indtagelse af en høj dosis bor kan man få kvalme og opkastninger. Tilsvarende er ikke beskrevet efter indånding af borholdigt støv, selvom der findes studier af borminearbejdere, der arbejder i høje støvkonzentrationer. Imidlertid har laboratorieforsøg med store mængder bor tilsat føden til mus, kaniner og rotter vist en skadelig effekt på både sædcelleproduktionen og afkom. Man kender ikke mekanismen bag dette. Man har også udført tilsvarende studier af forsøgsdyr, hvor dyrene har indåndet borholdigt støv. Dette er dårligere belyst, men i de studier, der foreligger, er der ikke set reproduktionsskader på trods af meget høje doser. Samlet set har resultaterne

vedrørende forplantningsevnen betydet, at bor for et par år siden blev sat på EU's varslingsliste over mulige farlige stoffer. Når et stof befinder sig på denne liste, skal der søges specifikt om tilladelse til at bruge stoffet. Der skal desuden arbejdes på, at stoffet udskiftes med et andet og mindre farligt stof. Siden boraks kom på EU's liste, er der imidlertid kommet resultater fra nogle større studier af mandlige kinesiske borminearbejdere, der er udsat for meget høje koncentrationer af borholdigt støv. Man undersøgte indholdet af bor i deres indåndingsluft og i blodet og sammenholdt dette med deres sædkvalitet og øvrig reproduktionsevne, men kunne ikke påvise nogen skader relateret til mængden af bor i kroppen.

Til sammenligning med borminearbejderen udsættes guldminearbejderen for en meget lille mængde boraks. Boraks tilsættes til slut i udvindingprocessen i form af 2–3 spiseskefulde saltlignende granulat. Selve processen støver ikke. Der er derfor ingen mistanke om, at guldgraverne i denne proces udsættes for borforgiftning.



*Et ca. håndstort stykke borakskrystaller.*

*Kilde: Wikipedia, the free encyclopedia.*

# En succeshistorie

**Kviksølv bruges i mange lande til udvinding af guld. Under processen udledes store mængder kviksølv i naturen. Der findes forskellige metoder, hvormed man kan mindske kviksølvforureningen fra guldminedrift. En af metoderne er den såkaldte boraksmetode, som en dansk NGO i samarbejde med GEUS har arbejdet med at implementere blandt guldminearbejdere i Filippinerne. Metoden har vist sig at være anvendelig, og ca. 1800 guldminearbejdere bruger nu ikke længere kviksølv. Men erfaringerne har også vist, at der er brug for en meget bred indsats, hvor mange forskellige aktører inddrages, hvis metoden skal udbredes yderligere.**

Man kan andetsteds i dette blad læse om, hvordan guldminearbejdere rundt omkring i verden bruger kviksølv, når de skal udvinde guld. Og man kan læse om et alternativ, den såkaldte boraksmetode, hvor kviksølvet erstattes af et langt mindre giftigt stof. Det er godt for miljøet, og det er godt for guldminearbejdernes helbred, at de ikke dagligt bliver udsat for de giftige kviksølvdampe. Og oven i købet er det godt for guldminearbejdernes økonomi, fordi de kan udvinde mere guld af den samme mængde malm. Så det burde vel være lige til højrebænet at få minearbejderne overbevist om at skifte til den nye metode. Eller er det alligevel ikke helt så nemt?

Den danske udviklingsorganisation Diálogos har siden 2011 samarbejdet med GEUS om at indføre boraksmetoden blandt guldminearbejdere på Filippinerne. Lokalt udføres arbejdet af en filippinsk NGO, Bantoxics! (Bantox). Helt konkret går arbejdet selvfølgelig ud på at undervise guldminearbejderne i den nye teknik. For uden viden og uden at de har haft lejlighed til at øve sig på teknikken og se den virke i praksis, kan man naturligvis ikke forvente, at guldminearbejderne dropper den velafprøvede kviksølvmetode, som igennem mange år har medvirket til, at de får mad på bordet. Undervisningen af guldminearbejderne foregår som workshops i projektområderne, hvor minearbejdere fra Benguet – det område i Filippinerne hvor boraksmetoden har været brugt i mange år – demonstrerer den nye teknik.

Typisk mestrer guldminearbejderne den nye teknik i løbet af få kursusdage. Men al begyndelse er svær, så når kurset er slut, kan det være vanskeligt for dem at finde incitamentet til at fortsætte med den nye teknik, som for den utrænede kan forekomme mere besværlig end den gamle metode. På det tidspunkt dukker der også ofte overvejelser op om, om kviksølv nu også er så farligt. Symptomerne på kviksølvforgiftning ligner mange andre syg-

domme, og det er ikke det første lægerne tænker på, når en patient møder på hospitalet med hovedpine eller depression. Langtidsvirkninger af kviksølv i miljøet er det endnu vanskeligere at forholde sig til.

Der kan altså være mange grunde til, at guldminearbejderne fortsætter med at bruge kviksølvmetoden, selvom de har lært den nye teknik.

En af måderne at understøtte en blivende ændring på er at sørge for, at informationen om kviksølvs farlighed spredes til andre grupper i projektområderne. Man har derfor i projektet fokuseret på at undervise skolelærere og det lokale sundhedspersonale, som er en væsentlig kilde til sundhedsinformation for projektområdets beboere. Skolebørn er blevet undervist, og i mange tilfælde har de bagefter talt om kviksølv derhjemme og har dermed været fortalere for den ønskede adfædsændring hos de voksne. Sidst men ikke mindst har man i projektet forsøgt at indgå samarbejde med lokale myndigheder, så de kan understøtte ændringerne bl.a. gennem håndhævelse af gældende lovgivning, som faktisk allerede forbyder brugen af kviksølv i guldminedrift.

Konkret har projektet arbejdet i to områder, Kalinga og Camarines Norte. I Kalinga har sundhedsarbejdere og skolelærere med stor iver deltaget i undervisningsforløb, og de lokale myndigheder har fra starten været positivt indstillede overfor projektet og har blandt andet indført kontrolbesøg for at finde illegalt kviksølv i området. I Camarines Norte har det været vanskeligere. Minearbejderne er dårligt organiserede, det politiske klima er betændt med rivalisering mellem forskellige politiske fraktioner, og nogle politikere har ønsket helt at eliminere småskala minedrift, fordi de selv har aktier i stordriftminer (som ikke bruger kviksølv, men andre giftige stoffer som fx cyanid).



*Indtryk fra den lille by Gaang i Kalinga, Filippinerne, der ligger højt oppe og svært tilgængeligt i bjergene, hvor småskala guldminedriften er baseret på boraksmetoden og energien leveres af det stærkt strømmende vand. Alt – inklusive byggematerialerne – skal bæres derop.*

*Fotos: Rasmus Køster-Rasmussen.*

Resultaterne er forudsigelige: I Kalinga er 1800 guldminearbejdere nu overgået til kviksølvfri guldminedrift, og de er selv de vigtigste fortalere for at ændringen skal bibeholdes. I Camarines Norte har enkelte forsøgt sig med den nye metode, men det har været for vanskeligt for dem at bibeholde ændringerne. Alt håb er dog ikke ude. Rammerne for kviksølvfri guldminedrift diskuteres nu i byrådene, og for nylig afleverede de unge i en af projektbyerne et brev til borgmesteren, hvori de bad om, at man tog kviksølvproblemet alvorligt – for deres fremtids skyld.

Alt i alt er det altså lykkedes at spare miljøet i Kalinga for store mængder kviksølv allerede, og vi har en forhåbning om, at erfaringerne vil sprede sig som ringe i vandet. Rygterne om projektet går allerede; projektets chefræner har været i Bolivia for at undervise bolivianske guldminearbejdere i teknikken og vi ved, at undervisningsfilmen, som blev produceret i projektet, har været brugt til workshops i fx Zimbabwe. Bantox får jævnligt henvendelser fra andre dele af Filippinerne, som ønsker at blive indrulleret i projektet. Efter et sådan lokalt initiativ, opstartede GEUS, Diálogos og Bantox et nyt projektområde i september 2014 i South Cotabato på øen Mindanao.





# Kan man rydde op efter fortidens synder?

Kviksølv udledt fra kulafbrænding har spredt sig over hele Jorden. Den store spredning gør det naturligvis umuligt at oprense. Affaldsdyngerne fra guldminedrift i lille skala ligger spredt ud over Asien, Afrika, Syd- og Mellemamerika. Disse dynger er fulde af kviksølv, der fordampes eller skylles ud i rismarker eller i havet. Det er lykkedes GEUS at lave en opstilling, der kan udvinde op til 60 % af kviksølvet i affaldsdyngerne. I løbet af de næste par år skal der eksperimenteres videre med denne opstilling for at forbedre den og gøre den så stor, så man kan udvinde kviksølv af tusindvis af tons affald.

## De to største syndere i kviksølvforureningen af vores Jord:

1. Kulafbrænding
2. Guldminedrift i lille skala.

### Kulafbrænding

I generationer har menneskeheden brændt kul for at få energi i form af elektricitet, damp og varme. De store mængder af kviksølv, der bliver udledt til atmosfæren ved afbrænding af kul, bliver spredt over hele Jorden. Det er forståeligtvis ikke muligt at rydde op efter den forurening. Det bliver klaret af Jorden selv, idet kviksølvet langsomt, men sikkert vil ende på bunden af verdenshavene. Det er en proces, der vil tage meget lang tid, så den vil ikke hjælpe menneskeheden i en overskuelig fremtid.

### Guldminedrift i lille skala

Det kviksølv, der gennem tiden er blevet og stadig bliver brændt af under guldudvindingen kan naturligvis ikke indfanges. Anderledes er det med kviksølvmel. I millioner af affaldsdynger fra guldminedrift i lille skala ligger der meget store mængder kviksølvmel, se foto nederst til højre. Derfra fordampes noget af kviksølvet medens det meste bliver langsomt udvasket af regn og transporteret med bække og floder til rismarkerne og videre ud i havet. Spørgsmålet er om man kan opsamle kviksølvet fra affaldsdyngerne, også kaldet tailings.

GEUS har i samarbejde med filippinske minearbejdere eksperimenteret med en metode kaldet Peter Plates, der er baseret på et apparat konstrueret af den australske regering omkring 1850. Her bliver tailings med kviksølvmel skyllet ned over en række kobberplader belagt med kobberamalgam, se foto midt på siden. Kobberamalgam er kobber 'opløst' i kviksølv.

Eksperimenter har vist, at op til 60 % af kviksølvmålet kan opsamles, se stort foto. Der starter nu projekter i både Filippinerne og Peru for at videreudvikle Peter Plates eller finde andre metoder til opsamling af kviksølvmålet.

Hvis det kan lykkes i industriel skala vil det være en miljøvenlig oprensning, der vil spare verden for meget kviksølvforurening i miljøet. Det er desuden nok den eneste miljøforbedring, der umiddelbart vil tjene sig ind mange gange. Det skønnes, at der vil kunne udvindes op til 20 tons guld ved rensning af tailings i Filippinerne alene.



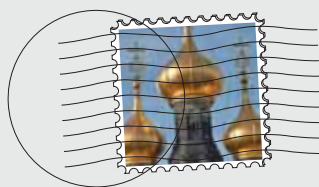
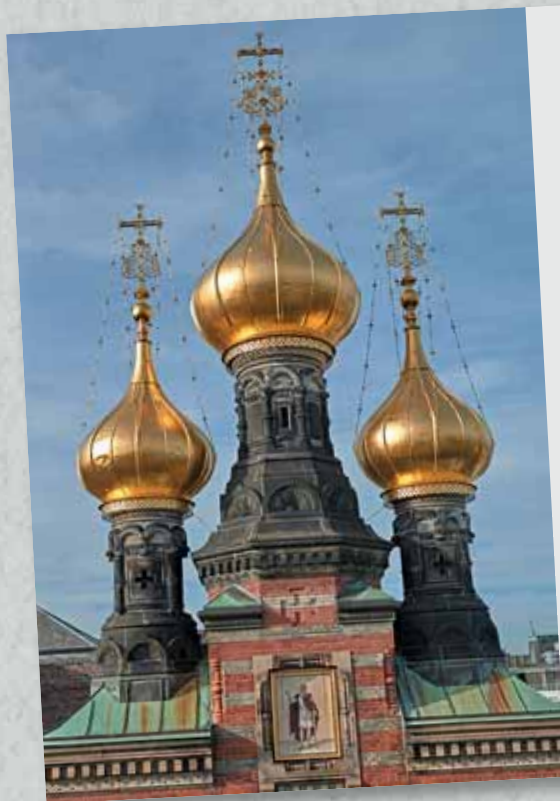
Nærbillede af en af kobberpladerne, hvor man ser kviksølvmel fanget af kobberamalgamet.

En prøve fra kviksølvmel i mineaffald. De mange små lysende punkter er millimeter-store kviksølvperler.

Fotos: Peter W.U. Appel.



*Peter plates-apparat til opsamling af kviksølvmel. Pladerne består af kobber, der er dækket af kobber-amalgam. Mineaffaldet spules ned over pladerne.*



Den russiske Skt. Aleksander Nevskij Kirke i Bredgade i København. Før i tiden blev de russiske kirkers kupler forgyldt ved hjælp af kviksølv. Guldstøv blev opløst i kviksølv og dannede et amalgam. Amalgamet blev smurt ud over kuplerne og derefter blev de varmet op med blæselamper. Så fordampede kviksølvet og guldet lå på kuplerne. Meget smukt, men meget farligt for arbejdernes helbred.

Foto: Peter Warnemoors, GEUS.

## GEOCENTER DANMARK

### GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, samt Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

### UDGIVER

Geocenter Danmark.

ISSN 1604-6935 (PAPIR)

ISSN 1604-8172 (ELEKTRONISK)

### REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Annette Thy, tlf.: 91 33 35 03, e-mail: athy@geus.dk og på [www.geocenter.dk](http://www.geocenter.dk), hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidefoto: Forgylde kupler på den russiske kirke i Bredgade, København.

Foto: Peter Warnemoors, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Schark, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.



GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER  
FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG  
NATURFORVALTNING (IGN)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: [sl@life.ku.dk](mailto:sl@life.ku.dk)



INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: [geologi@au.dk](mailto:geologi@au.dk)

GEOLOGISK MUSEUM (SNM)

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: [rcp@snm.ku.dk](mailto:rcp@snm.ku.dk)

DANMARK

PP

Magasinpost UMM  
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup