

# URAN

2015

+ Oplysning om  
uranudvinding

Hvad er uran, og  
hvad bruges det til?

Miljøpåvirkning

Uranforekomster  
i Grønland

URAN SOM  
ENERGIKILDE

HVAD ER  
RADIOAKTIVE  
STOFFER?

## Information og fakta om udvinding af uran i Grønland

Per Kalvig, Karsten Secher og Gert Asmund

Udgivet af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland – GEUS

ISBN: 978-87-7871-413-8

Design og layout: Carsten Egestal Thuesen, GEUS

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, Benny Scharck og Henrik Klinge Pedersen, GEUS

Teknisk redaktion: Jane Holst & Marianne Vestergaard, GEUS

Tryk: Rosendahls – Schultz Grafisk A/S

4. udgave (september 2015)

© GEUS

Der er anvendt billeder fra følgende institutioner og personer: Geologisk Museum, GEUS Arkiv, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (KU), DTU Risø, Henning Sørensen, Jakob Lautrup, Karsten Secher, Lars Lund Sørensen, Ole Johnsen, Svend Nielsen og Peter Warno-Moors.

Denne publikation findes også i en grønlandsk udgave.

### Forfatterne

#### Chefkonsulent, geolog Per Kalvig, GEUS

Har arbejdet med Gardar provinsens geologi og råstofudnyttelse siden 1982. Per er specialist i industriens brug af mineralske råstoffer og i råstofforsyningskæderne fra efterforskning til færdige produkter.

#### Senior geolog, emeritus Karsten Secher, GEUS

Har arbejdet med radioaktive stoffers geologi i Grønland (især Sarfartoq) fra 1974 til 1989 og har fra 2000 til 2010 især beskæftiget sig med kortlægning af strålingsniveauet i Grønland. Karsten har specialiseret sig i mineraler og mineralske råstoffers forekomst og historie i Grønland.

#### Seniorforsker, kemiingeniør Gert Asmund, DCE

Har arbejdet med Kvanefjelds råstofsituation og -miljø siden 1968 og har siden 1972 koncentreret sig om miljøundersøgelser i relation til nuværende og kommende minedrift i Grønland. Gert har specialiseret sig i kemiske sporstoffers fordeling i miljøet.

Alle forfattere fungerer som rådgivere for den danske regering og Naalakkersuisut i råstofspørgsmål.



## Indhold

- 3 Oplysning om uranudvinding
- 4 Hvad er uran, og hvad bruges det til?
  - 4 Uran og strålingsfysik
  - 6 Strålingsniveauet i Grønland
  - 7 Uran – hvad bruges det til?
- 8 Uranforekomster i Grønland
  - 8 Kvanefjeld, Sydgrønland
  - 9 Puisattaq, Sydgrønland
  - 10 Illorsuit, Kap Farvel, Sydgrønland
  - 10 Sarfartoq, Vestgrønland
  - 11 Randbøldal, Nordøstgrønland
- 12 Uranefterforskning – lidt om metoderne
- 13 Brydning af uranmalm og udvinding af uran – lidt om metoderne
  - 15 Hovedprodukt eller biprodukt ved minedrift
- 16 Miljø og sundhed
  - 16 Hvor farlige er de radioaktive stoffer?
  - 16 Miljøpåvirkning ved uranbrydning og -udvinding
  - 18 Hvordan udvindes uran fra malmen?
  - 18 Radium og radon
  - 19 Andre forurenende stoffer
- 20 Kontrol med produktion og eksport
- 21 Når minen lukker – hvad så?
  - 21 Tailingsdeponier
  - 21 Depoter af kemisk affald
  - 21 Radium og andre radioaktive stoffer i vand
  - 21 Radon i luften over tailingsdeponiet
- 22 Kvanefjeld – Grønlands mest kendte uranforekomst
  - 22 Hvor meget uran findes der i Kvanefjeld?
  - 23 Miljøforhold ved minedrift ved Kvanefjeld
  - 24 Sundhedsmæssige forhold ved minedrift ved Kvanefjeld
  - 25 Strålingspåvirkninger
  - 25 Kemisk oparbejdning i Grønland
- 26 Erfaringer fra uranminer i andre lande
  - 26 Eksempel på uranmine under etablering
  - 26 Eksempler på producerende og ophørte uranminer

Forside

Håndstykke af uranholdig malm fra Kvanefjeld.



## Oplysning om uranudvinding

Uranudvinding kan blive en realitet i fremtidens Grønland. I dette informationshæfte forklares mange af de forhold, der har betydning ved udvinding af radioaktive mineraler.

Grønlands undergrund gemmer mineraler, som på et tidspunkt kan danne grundlag for minedrift. Nogle af disse mineraler indeholder de radioaktive grundstoffer uran og thorium. Der har i de senere år været voksende interesse for uran, fordi det bruges som brændsel til atomkraftværker, som fremstiller energi med lav udledning af CO<sub>2</sub>. Efter at Inatsisartut (Selvstyrets parlament) i oktober 2013 ophævede den såkaldte nul-tolerance af uranefterforskning i Grønland, kan det forventes, at efterforskningselskaber med interesse for uran også vil finde Grønland interessant.

Som alle andre steder, er der også i Grønland forskellige holdninger til brug af atomkraftværker og til minedrift, der involverer uran, og dermed til efterforskning og udnyttelse af uran. Dette hæfte søger at beskrive forhold, som er vigtige i diskussionen om, hvorvidt man ønsker at bryde uran; bl.a. andet beskrives miljøforhold ved uranminer og udnyttelse af uran, og hæftet indeholder en oversigt over kendte uranforekomster i Grønland. Kvanefjeld, der er den geologisk bedst kendte og mest undersøgte af uranforekomsterne i Grønland, er beskrevet lidt mere detaljeret. De grønlandske myndigheder skal sandsynligvis i nær fremtid beslutte, hvorvidt der skal gives udnyttelseslicens til et mineprojekt ved Kvanefjeld, hvorfra der vil blive udvundet uran sammen med andre råstoffer, og Kvanefjeld bruges her som eksempel til at beskrive mange af de forhold, der har betydning ved udvinding af uran.

I hæftet, der her kommer i 4. reviderede udgave, gennemgås de særlige miljø- og sundhedsmæssige forhold, der er i forbindelse med uranminedrift, og der gives eksempler på erfaringer fra uranminer, der er i drift, og fra miner som har stoppet produktionen. Hæftet indeholder information om uran, radioaktivitet, radioaktive mineraler og om de største uranminer og mineselskaber. Desuden gives en række henvisninger til organisationer og virksomheder, hvor der kan findes yderligere information om forhold knyttet til uran og uranminedrift.

*Uranholdig borekerne.*



## Hvad er uran, og hvad bruges det til?

Uran er et gråligt, radioaktivt metal, som findes i meget små mængder i alle slags sten (bjergarter), jord og vand. Da uranindholdet varierer i forskellige typer af bjergarter, er der store forskelle på niveauet af den naturlige stråling i forskellige områder.

### Uran og strålingsfysik

Radioaktive stoffer findes naturligt i vores omgivelser (i jord, bjergarter, planter, vand mv.) og bidrager til den naturlige baggrundsstråling, ligesom der forekommer en naturlig radioaktiv stråling i atmosfæren. Den radioaktive stråling varierer således fra sted til sted, afhængig af især de geologiske forhold. I Grønland er der store variationer i den naturlige radioaktive stråling. Den største radioaktive stråling findes i områder, hvor der i undergrunden er mange granitter, mens den mindste stråling er i områder, hvor undergrunden består af gamle vulkanske bjergarter eller sedimenter. Men der er ingen steder, hvor den naturlige radioaktive stråling er nul. I granitbjergarter er der typisk omkring 4-5 gram uran per ton granit og i sandsten omkring det halve. I bjergarter er uran altid bundet til nogle få af bjergartens mineraler. Der findes mange forskellige uranholdige mineraler, hvoraf uranit er det mest almindelige (se tekstboks side 8).

**Uran.** Alt naturligt forekommende uran består af 99,3 % uran med atomvægt 238, kaldet uran-238 (eller  $^{238}\text{U}$ ), 0,7 % uran med atomvægt 235, også kaldet uran-235 (eller  $^{235}\text{U}$ ), og endelig 0,0054 % uran-234 (eller  $^{234}\text{U}$ ). De

### URAN

Uran er et grundstof, som findes i små mængder i naturen, både i jord, bjergarter og vand. Det er et gråligt, svagt radioaktivt metal; det er tungt med en massefylde på 19 kilo per liter. Kemiske forbindelser med uran, særligt såkaldte uranylforbindelser, er opløselige og regulært giftige.

fleste typer af atomkraftreaktorer (letvandsreaktorer) skal bruge en uransammensætning, der mindst indeholder 3 % uran-235. Derfor skal det naturligt forekommende uran med et indhold på omkring 0,7 % uran-235 beriges, så indholdet af uran-235 øges til 3 % og uran-238 sænkes tilsvarende. Denne berigning er en teknisk kompliceret proces, som kun få lande mestrer. Men der findes enkelte reaktortyper, som kan benytte uran, der ikke er beriget; eksempelvis kan den specielle CANDU-reaktor, som findes i bl.a. Canada, Kina og Argentina, generere energi fra uran med et indhold på 0,7 % uran-235, svarende til det naturlige niveau.

Hvis uran skal bruges til fremstilling af atomvåben, skal det beriges til at indeholde mindst 85 % uran-235, en berigning der ikke kan finde sted i de faciliteter, der beriger til atomkraft-



værker, men som kræver meget specialiserede teknologier. Det vurderes, at 13 lande råder over faciliteter til berigning til dette niveau.

### Uranindhold i forskellige materialer

Havvand	0,003 gram per ton vand
Brød og fisk	0,004 gram per ton brød og fisk
Sandsten	2 gram per ton sandsten
Granit	4 gram per ton granit
Skifferbjergarter	50-200 gram per ton skiffer
Uranmalm med meget lavt indhold (Namibia)	250 gram per ton malm
Uranmalm fra Kvanefjeld	300 gram per ton malm
Uranmalm - typiske	1 000-5 000 gram per ton malm
Uranmalm - meget rige	20 000-200 000 gram per ton malm



Malmstykke fra Kvanefjeld.





**Radioaktivitet.** Bygge-  
stenene til alt stof i universet er  
atomer. Nogle atomer er ustabile, fordi  
atomkernen ikke er i balance, og der er et mis-  
forhold mellem antallet af neutroner og proto-  
ner i kernen. Herved sker der en spontan – og  
automatisk ændring af de enkelte atomer. Det  
er det man kalder radioaktivitet. Under denne  
ændring af atomet udsendes stråling i form af  
partikler og/eller elektromagnetisme. Man ta-  
ler om, at det radioaktive grundstof henfalder,  
dvs. at det med tiden omdannes til nye stoffer,  
til de såkaldte henfaldsprodukter. Mange af  
disse henfaldsprodukter er også radioaktive  
og henfalder igen til nye stoffer. Efter en vis tid  
er halvdelen af stoffets atomer henfaldet – og

dette tidsrum defineres som stoffets halve-  
ringstid. Hvert radioaktivt stof har en halve-  
ringstid, som er karakteristisk for det pågæl-  
dende stof. Uran-238 har en halveringstid på  
4 500 millioner år, og uran-235 har en halve-

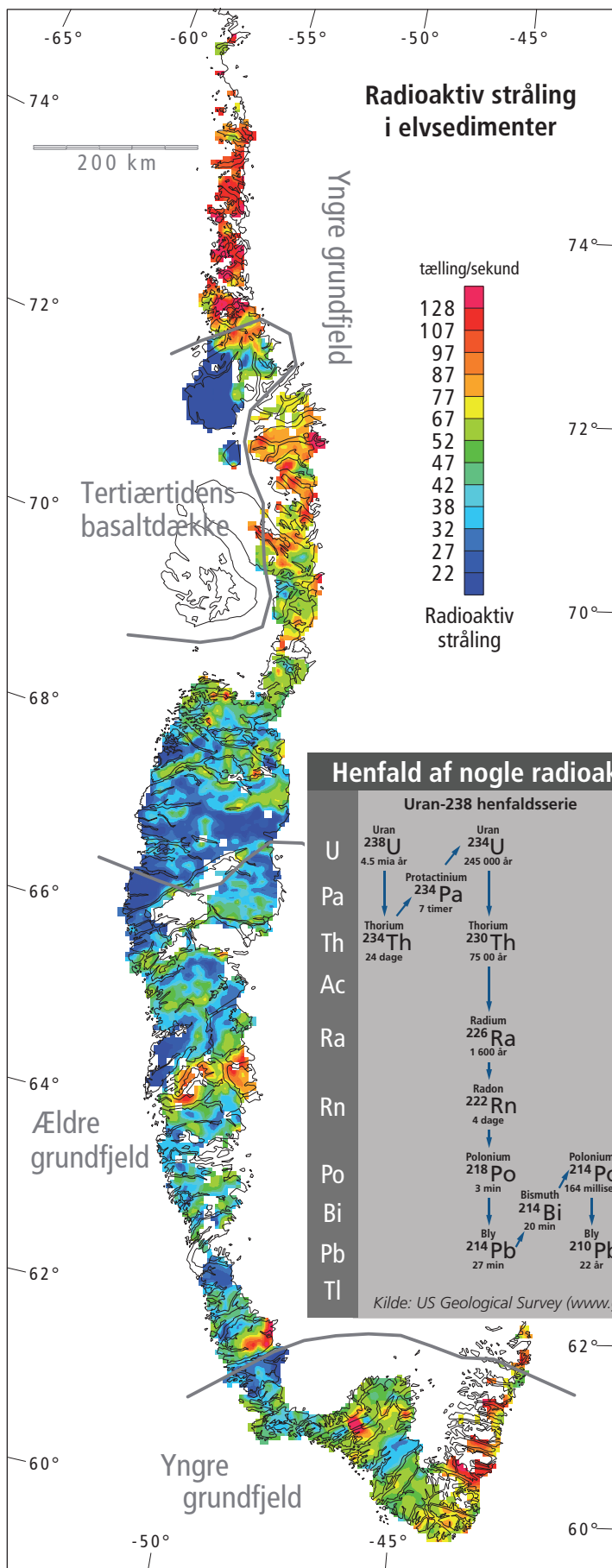
Radioaktivitet måles i enheden Bq (Becquerel):  
1 Bq = 1 radioaktivt henfald per sekund.

*Radioaktive stoffer findes alle steder i naturen. I Grønland  
varierer den naturlige stråling betydeligt. Den er størst i  
områder, hvor der er meget granit, mens den er mindre,  
hvor undergrunden består af gamle vulkanske bjergarter  
eller sedimenter.*

*Til venstre: Eksempel på moderne gammasppektrometer til  
måling af radioaktivitet.*

ringstid på 700 millioner år. Ingen af dem er  
meget radioaktive, men det er nogle af deres  
henfaldsprodukter, fx uran-234, som har en  
halveringstid på 246 000 år. Der kan være lan-  
ge 'kæder af henfald', men på et tidspunkt vil  
der være dannet et stabilt grundstof, som ikke  
længere er radioaktivt. Eksempler på sådanne  
henfaldsprodukter ses i boksen på side 6.





## Strålningsniveauet i Grønland

Alle mennesker udsættes som nævnt dagligt for radioaktiv stråling, men som regel i meget små doser. En del af strålingen skyldes, at jorden og bjergarterne under og omkring os har et indhold af fx uran og thorium, og strålingen er derfor forskellig fra område til område. Uran bliver også optaget i de fødevarer, vi spiser, hvilket betyder, at vi alle har en lille smule uran i kroppen. Variationen i Vestgrønland ses på kortet til venstre.

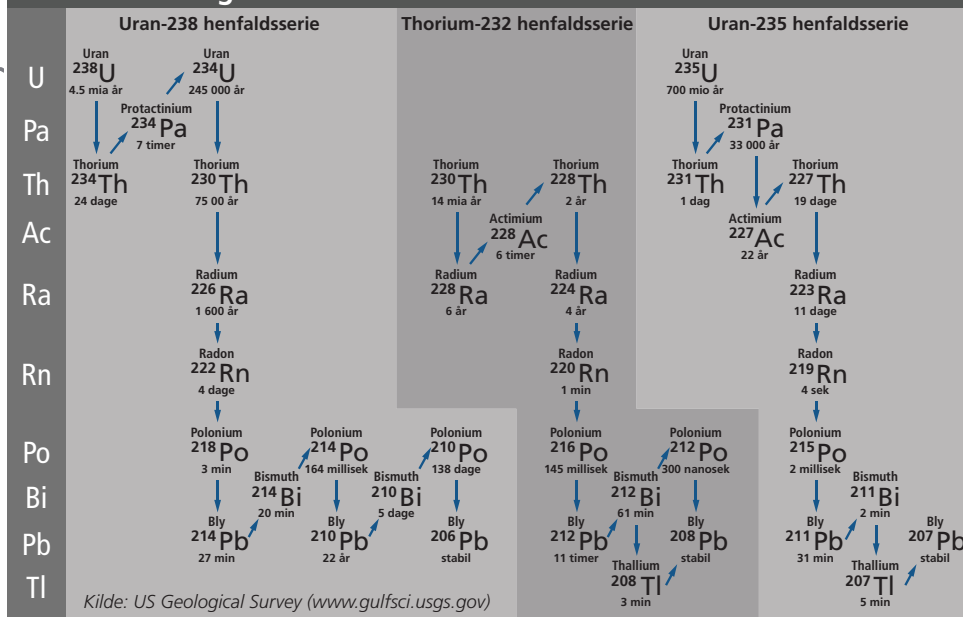
Her fremgår det, at der er tydelige forskelle i strålningsniveauet i forskellige områder. Det skyldes, at bjergarterne har varierende indhold af radioaktive stoffer. For eksempel er radioaktiviteten i områderne ved Nuuk og Narsaq højere end

## Strålingsdoser

Den biologiske virkning af stråling måles i 'strålingsdoser' i enheden Sv (Sievert): 1 Sv = 1 Joule per kg væv. 1 mSv (millisievert) er en tusindedel af 1 Sievert (1 Sv = 1 000 mSv).

Alle mennesker på kloden bliver i gennemsnit udsat for en effektiv strålingsdosis på ca. 4 mSv per år i form af stråling fra radon i luften, verdensrummet, radioaktive stoffer i jorden, radioaktive stoffer i kroppen, samt fra røntgenundersøgelser på hospitaler og hos tandlæger. Radon og røntgenundersøgelser er langt de største kilder til radioaktiv stråling.

## Henfald af nogle radioaktive stoffer



Til venstre: Det naturlige strålningsniveau i Vest- og Sydgrønland. Kortet er fremstillet ved systematisk måling af gammastrålingen på jordoverfladen. Bemærk, ingen målinger i Disko-området. Målingerne er udført med håndholdt scintillometer SPP-2.

Kilde: GEUS rapport 2001/46 A.Steenfelt: "Geochemical atlas of Greenland" (Geokemisk Atlas over Grønland), som er udgivet på engelsk i 2001.



gennemsnittet, mens den i Kangerlussuaq- og Svartehuk-områderne er lavere end gennemsnittet. Det skyldes alene de geologiske forhold.

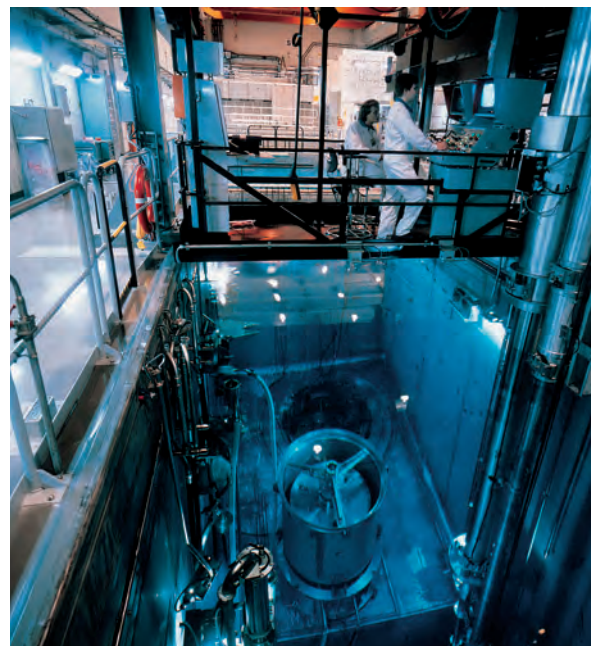
### Uran – hvad bruges det til?

**Atomkraftværker**, også kaldet A-kraftværker eller kernekraftværker, udnytter atomkerne-reaktioner til fremstilling af elektrisk energi. I et atomkraftværk er selve kernereaktoren det sted, hvor energien dannes og frigives i form af stråling og varme. Denne varme anvendes til at drive damp-turbiner, som producerer elektricitet.

Omkring 11 % af verdens samlede produktion af elektricitet stammer fra kernekraft, som produceres i 30 lande. Brug af atomkraftværker er omstridt på grund af de følger, en eventuel ulykke kan have, men også fordi det radioaktive affald fra atomreaktorerne skal opbevares sikkert i tusindvis af år, hvilket er en stor teknisk udfordring. De mest kendte ulykker i forbindelse med atomkraftværker er Three Mile Island i USA i 1979, Tjernobyl i Ukraine i 1986 og Fukushima i Japan i 2011.

**Våbenindustri.** Uran kan anvendes i kernevåben, der i daglig tale omtales som atomvåben. For at bruge uran i atomvåben skal det være særligt højt beriget (indholdet af uran-235

skal være mindst 85 %). Derfor kan uran, der bruges til atomkraftværker, ikke umiddelbart anvendes til fremstilling af atomvåben. Højt beriget uran anvendes også som drivmiddel til atomdrevne ubåde. Til moderne kernevåben er uran erstattet af plutonium, som fremstilles ved bestråling af uran-238 i en reaktor. Våbenindustrien anvender desuden det man kalder 'forarmet' uran til projektiler og til fremstilling af panserskjold. Forarmet uran er det restprodukt, der fremkommer efter berigningsprocessen til kernekraft eller våbenindustri, og består stort set udelukkende af uran-238. Fordi forarmet uran er meget tungt, er det velegnet til ammunition og panserskjolde i kørende materiel.



Uran anvendes som brændsel i atomkraftværker.



'Little boy' var kodenavnet for den atombombe, der eksploderede over Hiroshima med en styrke på ca. 14 kilotons den 6. august 1945.

### Hvordan virker uran som energikilde?

Uran-235 kan bruges i kernekraftreaktorer og til kernevåben fordi uran-235 spaltes, når en neutron rammer en atomkerne. Ved spaltningen udvikles der en meget stor mængde energi, og der dannes flere nye neutroner, som kan bevirke at spaltningens proces kan blive ved med at fortsætte. I en kernekraftreaktor er der netop så meget uran-235, at denne proces kan forløbe med en kontrolleret hastighed. I kernevåben er der et meget højt indhold af uran-235, så processen forløber som en eksplosion.

### Reaktortyper

1. Forskningsreaktorer anvendes til forskningsformål af mange slags. Det gjaldt fx de nu lukkede anlæg på Risø.
2. Produktionsreaktorer anvendes til fremstilling af plutonium til bombeformål. Eksempelvis producerer Windscale Piles i England og Yongbyon i Nordkorea plutonium til våben, men ikke strøm.
3. Kraftreaktorer er de el-producerende værker. Der er flere typer, herunder også anlæg, der anvendes i ubåde, store skibe og isbrydere.
4. Småreaktorer til anvendelse som energikilde i satellitter.

### Forskellige typer radioaktiv stråling

Radioaktive stoffer er karakteriseret ved, at deres atomkerner henfalder spontant og derved omdannes til andre grundstoffer, samtidig med at der udsendes stråling. Strålingen er i stand til at omdanne andre atomer til elektrisk ladede ioner og kaldes derfor ioniserende stråling. De almindeligste former for ioniserende stråling er:

**Gammastråling** er elektromagnetisk stråling beslægtet med lys, men med højere energi. Den har stor gennemtrængningsevne og kan trænge igennem menneskeligt væv, vinduesglas m.v. Gammastrålingen svækkes ved passagen gennem fast stof, for eksempel en almindelig ydemur af beton eller mursten.

**Beta- og alfastråling** er partikelstråler med ringe gennemtrængningsevne. Betastråling, som består af elektroner, kan trænge nogle millimeter ind i hud. Alfastråling, der består af heliumkerner (2 protoner + 2 neutroner), standses fx af et stykke papir eller af overhuden.

## Uranforekomster i Grønland

Der er flere mineralforekomster i Grønland, som indeholder uran. Man har dog kun undersøgt få af dem tilstrækkeligt godt, til at man kan beregne præcist, hvor meget uran de indeholder.

I Grønland kender man til flere uranforekomster, men kun i få tilfælde er de undersøgt med henblik på minedrift, og man ved derfor heller ikke, hvor meget uran de indeholder. Herudover findes der mineralforekomster, som både indeholder en række andre vigtige grundstoffer sammen med små mængder uran, som samlet set kan gøre disse forekomster økonomisk interessante. I sådanne tilfælde kan uran eventuelt blive et biprodukt i forbindelse med udvindingen af de øvrige stoffer.

De grønlandske forekomster af denne type er fundet gennem uranefterforskning foretaget af danske statslige forskningsinstitutioner i perioden fra midten af 1950'erne og frem til 1985, hvor Danmark besluttede ikke at satse på atomkraft som energikilde. Efterfølgende har Grønland ikke givet tilladelse til efterforskning af uran, og denne administrative praksis fik navnet 'nul-tolerance-princippet'.

Mineraler med radioaktive grundstoffer kan forholdsvis let findes i naturen ved at anvende måleapparater, der registrerer radioaktiv stråling. Den slags instrumenter blev oprindeligt kendt som 'Geigertællere', men er i dag afløst af

### Uranholdige mineraler

Oversigten viser nogle af de mest almindelige uranmineraler; i visse tilfælde fremgår uranindholdet ikke af de simplificerede kemiske formler.

Navn	Kemisk formel (simplificeret)	Vigtigste råstof	Vigtigste biprodukt	% U
Uraninit	UO <sub>2</sub>	U	Th	88
Uranothorit	(Th,U)SiO <sub>4</sub>	U	Th	70
Allanit	Ca(Ce,La)(Fe,Cr)Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(SiO <sub>4</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Ce	Th	
Bastnäsit	(Ce,La)CO <sub>3</sub> F	Ce, La	U	
Brannerit	(U,Th,Ca,La)(Ti,Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	La	U,Th	34
Carburan	((Th,U,C,O))	Th	U	30-60
Steenstrupin	Na <sub>4</sub> Ce <sub>6</sub> Mn <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> (Zr,U,Th)(PO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>36</sub> (OH) <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	Ce	Zr, U, Th	0,5-2
Euxenit	(Y,Er,Ce,La,U)(Nb,Ti,Ta) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	Ce	U	5
Pyrochlor	(Na,Ca) <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> (O,OH,F) <sub>7</sub>	Nb	U	1-5
Zirkon	ZrSiO <sub>4</sub>	Zr	U	1
Monazit	(Ce,La,Nd,Th)PO <sub>4</sub>	Ce	Th	
Columbit	(Fe,Mn)Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Nb	Th	



Krystal af det vigtigste uran-mineral i Kvanefjeld: steenstrupin. Krystallen måler 1 x 2 cm.

nye typer – de såkaldte scintillometre og gammaspektrometre, som på grund af deres større følsomhed gør det muligt at gennemføre målinger fra fly. På den måde kan meget store områder undersøges for indholdet af radioaktive grundstoffer, for eksempel, uran, i bjergarterne.

De mest almindelige uranmineraler i Grønland er uraninit (begblende), som kendes fra flere forekomster i Øst-, Syd- og Vestgrønland, steenstrupin i Sydgrønland og mineralblandingen carburan i Østgrønland. Desuden indeholder mineralet pyrochlor også uran og thorium. Interessen for pyrochlorforekomster, som bl.a. findes nær Kangerlussuaq og Narsaq, skyldes dog mest deres indhold af metallerne niobium og tantal. Nedenfor beskrives nogle af de bedst kendte uranforekomster i Grønland. Ud over de her nævnte kan der findes flere, som geologerne endnu ikke har kendskab til.

### Kvanefjeld, Sydgrønland

Forekomsterne af uran ved Kvanefjeld er placeret i den nordlige del af det, geologer kalder Illi-maussaq-intrusionen. I denne forekomst findes

Bunker af uranmalm fra prøvebrydningen ved Kvanefjeld i 1980.







Landskabet omkring uranforekomsten ved Illorsuit i Sydgrønland.

det meste uran i mineralet steenstrupin. Steenstrupin er et af de mineraler, som er dannet sent i et forløb, hvor mineraler krystalliserer fra en smeltet stenmasse, et magma. De mineraler, som krystalliserer sent, indeholder en del grundstoffer, som ikke kunne 'finde plads' i andre

mineraler, herunder fx uran og thorium, sjældne jordartsmetaller og niobium. Steenstrupin findes især i en bjergart, der kaldes lujavrit. Det gennemsnitlige uranindhold i lujavrit varierer fra 100 til 600 gram uran per ton, og indholdet af thorium varierer fra 200 til 2 000 gram per

ton. Der fortælles mere om uranforekomsten ved Kvanefjeld på side 22.

### Puisattaq, Sydgrønland

Uranforekomsten ved Puisattaq (Vatnahverfi) består af et stort antal mineralårer og spræk-



De kendte uranholdige mineralforekomster i Grønland.

## Uranholdige mineralforekomster i Grønland

Oversigt over de kendte uranholdige mineralforekomster i Grønland; der kan være flere, som endnu ikke kendes. Kun forekomster med fed skrift er omtalt yderligere i teksten.

Lokalitet Navn, område	Hovedråstof (mineral)	Geologisk struktur, malmform
<b>Kvanefjeld</b> , Sydgrønland	Sjældne jordarter, uran (steenstrupin)	- jævnt fordelt i nefelinsyenit (lujavrit)
<b>Puisattaq</b> , Sydgrønland	Uran (uraninit)	- mineralårer med uraninit i granit
<b>Illorsuit</b> , Sydgrønland	Uran (uraninit)	- lagbundet uraninit i sandsten
<b>Sarfartoq</b> , Vestgrønland	Niobium, uran (pyrochlor)	- mineralårer i randen af karbonatitintrusion
<b>Randbøldal</b> , Nordøstgrønland	Uran uranholdig bjergbeg (carburan)	- mineralårer og replacering i rhyolitlava
<b>Nassuttooq</b> , Vestgrønland	Sjældne jordarter og thorium (uran) (monazit)	- fordelt i pegmatitgange
<b>Motzfeldt Sø</b> , Sydgrønland	Niobium/tantalum med uran og thorium (pyrochlor)	- dissemineret i syenit
<b>Ivittuut</b> , Sydgrønland	Niobium med thorium/uran (columbit)	- randkoncentration i Ivittuut kryolitpegmatit
<b>Qaqaarsuk</b> , Vestgrønland	Niobium og uran (pyrochlor)	- fordelt i karbonatitintrusion
<b>Milne Land</b> , Østgrønland	Titanium/zirkonium med thorium (rutil og zirkon)	- fordelt i flere mineraler i lag af tungminerale i sandsten
<b>Attu</b> , Vestgrønland	Sjældne jordarter og thorium (allanit)	- spredt i pegmatitgange





Omgivelserne ved forekomsten af carburan i bjergarten rhyolit i Randbøldal, Nordøstgrønland.



kefyldninger i granit, som indeholder mineralet uraninit. Sprækkeudfyldninger, som er rige på uraninit, kan ofte følges over flere kilometer. Uraninit findes mest som afrundede krystalformer og ses ofte sammen med mineralet brannerit. I sprækkerne findes også ikke-uranholdige mineraler som kvarts og calcit og til tider hæmatit, fluorit samt en smule sulfider.

Uranforekomstens samlede indhold af uran kan ikke beregnes, da datagrundlaget er utilstrækkeligt. Men på grund af årenes ret begrænsede mængde vurderes forekomsten ikke at være stor nok til, at en udnyttelse er økonomisk rentabel; på den anden side er der gode muligheder for at finde mere uranmalm i dette område.

### Illorsuit, Kap Farvel, Sydgrønland

Uranforekomsten Illorsuit ved Kap Farvel er ligeledes knyttet til mineralet uraninit, som findes i sandsten, og som her er omgivet af

granit af typen rapakivi; i dette område kender man til 35 lokaliteter, hvor uranindholdet er forhøjet. Nogle steder ses uraninit som millimeterstore krystaller. Uranmineraliseringerne ses mest, hvor der er småsprækker og i kontakter mellem forskellige sandstenslag. Uranforekomsten antages at være dannet, da granitten trængte ind i grundfjeldet, hvorved uran blev opløst og kunne sive rundt i sprækker og hulrum og dermed også udfældes i sandstenen. Den del, der er rigest på uran, findes i et område på ca. 5 x 50 m og skønnes at kunne fortsætte under terræn til mindst 50 meters dybde. Med et observeret indhold på 0,3–7 % uran kan forekomsten indeholde mellem 100 og 2 400 ton uran, hvilket betyder, at uranforekomsten ved Illorsuit må karakteriseres som lille, men med et ret højt indhold af uran; der er måske potentiale til at finde en større forekomst.

### Sarfartoq, Vestgrønland

Sarfartoq-forekomsten, ca. 60 km syd for Kangerlussuaq, kendes mest for sit indhold af metallet niobium, som især sidder i mineralet pyrochlor; men pyrochlor indeholder som nævnt også uran. Pyrochlormineraliseringer findes særligt i linser på op til 200 m i længden og 10–20 m i bredden og er knyttet til forekomsten af bjergarten karbonatit. Disse pyrochlorlinser indeholder omkring 10 % niobium, 0,2 % tantal og lidt uran (0,002 til 0,7 %). Sarfartoq-forekomsten er således et eksempel på en mineralforekomst, hvor flere grundstoffer evt. vil kunne udnyttes. Det er vurderet, at de øverste 50 m af malmressourcen for de pyrochlorrige linser indeholder ca. 100 000 tons malm; uranindholdet varierer fra 0,05 til 0,5 %, og forekomsten indeholder dermed mellem 50 og 500 ton uran. Denne mængde er ikke tilstrækkelig stor til at starte en uranmine, men der er mulighed for flere uranholdige mineraliseringer i området.

### Særlige grundstoffer som findes i uranholdige mineraler

Navn	Kemisk formel (simplificeret)	Vigtigste råstof	Vigtigste biprodukt
Allanit	$\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})(\text{Fe}, \text{Cr})\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$	Ce	Th
Bastnäsit	$(\text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$	Ce, La	U
Brannerit	$(\text{U}, \text{Th}, \text{Ca}, \text{La})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6$	La	U, Th
Eudialyt	$\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{Cl}, \text{OH})_2$	Zr	Y
Euxenit	$(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{La}, \text{U})(\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta})_2(\text{O}, \text{OH})_6$	Ce	U
Monazit	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$	Ce	Th
Steenstrupin	$\text{Na}_{1,4}\text{Ce}_6\text{Mn}_2\text{Fe}_2(\text{Zr}, \text{U}, \text{Th})(\text{PO}_4)_7\text{Si}_{12}\text{O}_{36}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Ce	Zr, U, Th
Zirkon	$\text{ZrSiO}_4$	Zr	U





Under en senere geologisk hændelse er der afsat sjældne jordartsmetaller i Sarfartoq-karbonatitten og thorium i andre lag i området, men en samlet vurdering af lødighed og tonnage af de forskellige mineraler kendes endnu ikke. Sarfartoq-karbonatitten indeholder udover ovennævnte også store mængder fosfat. Potentialet for forekomstens råstofindhold skønnes at være stort.

### **Randbøldal, Nordøstgrønland**

Uranforekomsten ved Randbøldal indeholder hvad man kalder uranholdigt bjergbeg – også kaldet carburan – som stedvist findes i vulkanske bjergarter, som er en del af den geologiske Kap Franklin-serie. Carburan findes hyppigst i grænseområdet mellem bjergarterne rhyolit og tuff og mest i områder på under 20 meters udstrækning og hovedsageligt i sprækkefyldninger. Forekomsten har et uranindhold på 0,05–0,07 % og indeholder kun

meget lidt thorium. Der er ikke foretaget beregninger af, hvor mange ton uran forekomsten indeholder. Det vurderes, at der kan findes yderligere malm på stedet.

I tilsvarende rhyolitiske bjergarter af samme alder i samme region ved lokaliteten Hochwacht ca. 50 km nord for Randbøldal er der fundet finfordelt uraninit. Der foreligger ikke yderligere oplysninger om, hvor meget uran bjergarten indeholder, men det er et fingerpeg om, at uranmineraliseringerne i dette område kan være væsentlig større end, hvad der kendes i dag.

Udover de her omtalte forekomster med indhold af radioaktive mineraler kendes der en del andre malmforekomster i Grønland, der er interessante på grund af deres øvrige råstofindhold, og som har et vist indhold af radioaktive mineraler. Disse forekomster er omtalt i boksen side 9.

*Sarfartoq-forekomstens karakteristiske rustbrune kalksten markerer tydeligt den geologiske formation, hvor råstofferne skal søges ved den nærliggende Paradisdal.*



*Alternative råstoffer fra Grønland er fosfatmalm, som her ses i en blok på 1 kg fra Sarfartoq-karbonatitten i Vestgrønland. Fosfatmineralet i blokken er apatit (bleggrøn), der her er omgivet af rustfarvet karbonat.*



## Uranefterforskning – lidt om metoderne

De metoder, der anvendes ved uranefterforskning og efterforskning af andre mineraler, er stort set de samme.

Da Inatsisartut har ophævet nul-toleranceprincippet i forbindelse med efterforskning og udvinding af uran, kan det betyde, at selskaber, der har specialiseret sig i uranefterforskning, vil være interesserede i at undersøge de grønlandske uranforekomster.

De metoder, der anvendes ved uranefterforskning og efterforskning af andre mineraler, er et langt stykke af vejen de samme. I den tidlige efterforskningsfase udføres der typisk geologisk kortlægning og indsamling af prøver fra jordoverfladen, eventuelt suppleret med geofysiske undersøgelser fra fly, som kan give et indtryk af, hvad der findes under jordoverfladen. Ved uranefterforskning vil man typisk udnytte, at den malm, der ledes efter, er radioaktiv. Det betyder, at man ved måling af radioaktiviteten – eksempelvis fra fly – meget nøjagtigt kan udpege de steder på jordoverfladen, hvor der kan være mulighed for at finde uranforekomster. Ved eventuelle opfølgende undersøgelser vil man i de interessante områder udføre borer, så geologerne kan vurdere kvaliteten af malmen og beregne, hvor meget uran malmforekomsten indeholder.

Der er ikke generelt flere miljømæssige problemstillinger knyttet til efterforskning af uran end ved efterforskning af andre mineraler. Men ved undersøgelser af forekomster med meget højt uranindhold - som dog ikke kendes fra Grønland - skal der tages særlige forholdsregler for at sikre medarbejdere mod eventuelle strålingsskader, ligesom opbevaring og transport af prøver skal ske forsvarligt. Herudover skal aktiviteterne, i lighed med anden efterforskning, reguleres, så påvirkningen af miljøet minimeres.





# Brydning af uranmalm og udvinding af uran – lidt om metoderne

Udnyttelse af en uranholdig forekomst i undergrunden kan foregå ved forskellige typer af minedrift: åben mine, underjordisk mine eller ved opløsning af uranminerale i væske nede i jorden.

Brydning af en uranforekomst kan enten foregå ved, at der sprænges et stort hul i jorden – en åben mine – eller ved, at der laves skakter ned til de dele af undergrunden, der indeholder de mineraler, som skal brydes – en underjordisk mine. Dette svarer helt til, hvad der kendes fra traditionel minedrift, fx den åbne olivinmine Seqi og de to underjordiske miner Sorte Engel og Nalunaq. For uran kan der i visse forekomster anvendes en tredje metode, hvor uran opløses i væske direkte fra forekomsten nede i jorden ved at lede væske ind i uranmalmen. Metoden kaldes 'in-situ leaching' (ISL). Valget af metode bestemmes af, hvor rig malmen er, og hvor dybt den ligger, altså hvor meget ikke-værdifuld bjergart, der skal fjernes for at komme ned til den værdifulde del. Mange andre tekniske og miljømæssige forhold spiller også ind på valg af metode. Den ene halvdel af verdens uranbrydning foregår i åbne og underjordiske



Eksempel på en åben mine med den karakteristiske spiralformede adgangsvej.

miner, og den anden halvdel produceres med in-situ leaching-metoden.



Opsamling af materiale efter sprængning i en åben mine. Herfra transporteres overjord og ikke-værdifulde bjergarter til deponering og malmen til knusning.

ISL-metoden bruges især til de forekomster, hvor bjergarten er porøs og lagdelt, dvs. hvor der kan trænge vand med opløste kemikalier gennem den. Ved denne metode udtrækkes uran fra malmen, uden at denne brydes, og vandet med opløst uran pumpes op til et særligt anlæg, hvorfra det kan udskilles fra vandet. Der er ikke et egentligt mineanlæg knyttet til disse produktioner. ISL-metoden vil ikke kunne anvendes ved Kvanefjeld.

Ved både åbne og underjordiske miner udføres brydningen i flere trin:

**1. Udspørgning:** Malmen skal sprænges ud af det faste fjeld. Herved dannes sprængstykker af malmen af meget forskellig størrelse, som det kendes fra eksempelvis et stenbrud. Ofte skal de ikke-værdifulde bjergarter (kaldet gråbjerg) også fjernes ved sprængning for at give adgang til de værdifulde dele af malmen.

**2. Transport og knusning:** Malmen skal lastes og transporteres hen til et sæt af knuse-re, som i flere omgange knuser malmen ned til den ønskede størrelse, typisk som fint sand.

**3. Koncentrering af malmminerale:** Efter knusningen ligner uranmalmen mørkt, finkor-net sand, der indeholder uranmineralet (typisk mindre end 5 %), mens hovedparten af mine-ralerne i sandet ikke har nogen værdi. Uran-mineralet skal skilles fra de mineraler, som er uden værdi, ved en række fysiske processer. Valget af hvilken proces, der skal anvendes, af-hænger dels af det uranholdige mineral, som skal koncentrerer, dels af hvilke mineraler, der skal sorteres fra. Resultatet af denne proces er et koncentrat af uranminerale og et restpro-dukst af øvrige mineraler uden værdi, som skal deponeres. Restproduktet, der kaldes tailings, består af en blanding af værdiløse mineraler i sandstørrelse samt vand og indeholder eventu-elt også et restindhold af forurenende stoffer, som skal deponeres (se trin 4).

**4. Deponering af tailings:** De mineraler, som er sorteret fra under koncentreringen (trin 3), har ikke nogen værdi. Det frasorterede materia-le (tailings) skal langtidsobevares, fx i en sø el-ler et opdæmmede område på land – i et såkaldt deponi, som kan dækkes med vand i minens levetid. Tailings udgør almindeligvis mere end 90 % af den malm, der er brudt, og det er der-for store mængder, som skal deponeres et sted, hvor det bliver liggende, og hvor overløbsvand kan drænes fra og renses.



Eksempel på tailingsdeponi i forbindelse med Titania-minen i Syd Norge. Dæmningen bygges højere i takt med at tailingsniveauet stiger.

## De største uranminer i verden (2014)

Mine	Land	Mineselskab	Type (mine)	Produktion (ton U/år)	% af verdens- produktionen
McArthur River	Canada	Cameco (69.8%)	underjordisk	7 356	13
Tortkuduk & Myunkum	Kazakhstan	Katco JV/ Areva	ISL*	4 322	8
Olympic Dam	Australien	BHP Billiton	by-product/ underjordisk	3 351	6
SOMAIR	Niger	Areva (63.6%)	åben mine	2 331	5
Budenovskoye 2	Kazakhstan	Karatau JV/ Kazatom- prom-Uranium One	ISL*	2 084	4
South Inkai	Kazakhstan	Betpak Dala JV/ Uranium One	ISL*	2 002	4
Priargunsky	Rusland	ARMZ	underjordisk	1 970	4
Langer Heinrich	Namibia	ARMZ	åben mine	1 947	4
Inkai	Kazakhstan	Inkai JV/Cameco	ISL*	1 922	3
Central Mynkuduk	Kazakhstan	Ken Dala JSC/ Kazatomprom	ISL*	1 790	3
<b>Top 10 total</b>				<b>29 075</b>	<b>54</b>

\* In-situ leaching (udvinding på stedet)

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

Hovedparten af tailings vil typisk bestå af almindelige mineraler som fx kvarts og feldspat, men kan også indeholde rester af uranminerale, som ikke er blevet udtrukket under proces-sen. Endvidere kan tailings indeholde andre mineraler, som eventuelt kan give en miljø-belastning (tungmetaller og lignende), samt rester af kemikalier benyttet til processen.

**5. Deponering af andre bjergarter:** Depo-nering af andre bjergarter: Uanset hvilken type mine der er etableret, vil der på et tidspunkt i minens levetid være behov for at deponere overjord og ikke-knuste bjergarter (gråbjerg), som indeholder for lidt malm til, at det skal behandles. Det skal sikres, at dette materiale af

gråbjerg placeres, så det ikke forurener om-givelserne, fx ved udsivning af tungmetaller.

**6. Uranudludning:** Uranudludning: Fra uran-mineralkoncentratet fremstillet i trin 3 bliver uranforbindelserne udludet, dvs. 'trukket ud' af mineralet, ekstraheret, og der fremstilles uranoxid, også kendt som 'yellowcake'. Meto-derne, der anvendes hertil, er forskellige og af-hænger af, hvilket uranmineral der skal udlu-des (se også side 18). Dette procestrin ligger oftest i tilknytning til minen. Men enkelte uranminer sælger uran-mineralkoncentratet til en anden virksomhed, som ekstraherer ura-net fra mineralet og bruger det til fremstilling af yellowcake (uranoxid).

Ved en eventuel brydning af radioaktive mineraler i Grønland vil det først i den aktuel-le situation blive afklaret, hvorvidt det pro-dukst, der sælges fra minen, er uranmineralkon-centratet (efter trin 3) eller yellowcake (efter trin 6). Ved salg af uranmineralkoncentratet vil salgsprisen være lavere end salgsprisen for yellowcake, men udludningsprocessen (trin 6) kan betyde en øget miljøbelastning. I forbin-delse med udludningen vil der være behov for at finde frem til de metoder, der vil kunne ren-se den ikke ubetydelige mængde procesvand, som vil forekomme under produktionen. Lige-ledes vil affaldsprodukterne fra den kemiske udludningsproces være anderledes end af-faldsprodukterne fra trin 3. Der vil være mindre affald fra trin 6 end fra trin 3, men det vil være



mere kemisk reaktivt og formentlig have større forureningspotentiale, og der skal findes egnede steder til langtidsdeponering.

**7. Udskibning:** Uanset hvilket produkt der fremstilles fra en uranmine i Grønland, uranmineralkoncentrat eller yellowcake, skal det udskibes, da det ikke kan bruges i Grønland. Mængden og håndteringen af de to produkter vil være forskellig, da et uranmineralkoncentrat fylder meget mere end yellowcake, og behovet for udskibningsfaciliteter vil derfor være afhængigt af produkttypen. De lande der har lang tradition for brydning af uran, som eksempelvis USA, Canada og Australien, har udarbejdet love for håndtering af radioaktive materialer i forbindelse med uranminedrift, som virksomhederne skal følge, og som deres respektive myndigheder opererer efter. Til hvert af ovenstående trin findes der detaljerede, internationalt godkendte anvisninger for, hvilke krav virksomhederne skal opfylde, for at produktionen kan foregå sundheds- og miljømæssigt forsvarligt.

### Hovedprodukt og biprodukt ved minedrift

Geologer bruger udtrykket malm om de bjergarter, det er rentabelt at bryde. Malm kan for eksempel bestå af en bjergart, hvor det hele har en værdi. Det gælder fx olivinforekomsten Seqi syd for Maniitsoq. I mange malme optræder kun et enkelt mineral eller grundstof med en vis værdi, mens resten af bjergarten ikke har nogen værdi, det gjaldt fx guldet i Nalunaq-minen, hvor en kvartsåre med lavt indhold af guld er blevet brudt. Men malmen kan også bestå af en bjergart, hvori der er to eller flere stoffer, som alle har en kommerciel værdi, fx uran, sjældne jordartsmetaller (også kendt som REE, forkortet efter det engelske Rare Earth Elements) og zink, mens resten af bjergarten er uden værdi. Dette er tilfældet for malmen ved Kvanefjeld. Det produkt, der giver den største værdi per ton malm, anses for hovedproduktet, og de andre stoffer med mindre værdi bliver biprodukter. Flere af uranminerne i Witwatersrand i Sydafrika producerer både uran og guld, hvor guld oftest er hovedproduktet og uran er biprodukt. Tilsvarende gælder for en af verdens største miner for produktion af uran, Olympic Dam i Australien,

### Uranproducerende lande (ton uran per år)

Land	2006	2008	2010	2012	2014
Kasakhstan	5 279	8 521	17 803	21 317	23 127
Canada	9 862	9 000	9 783	8 999	9 134
Australien	7 593	8 430	5 900	6 991	5 001
Niger	3 434	3 032	4 198	4 667	4 057
Namibia	3 067	4 366	4 496	4 495	3 255
Rusland	3 262	3 521	3 562	2 872	2 990
Usbekistan	2 260	2 338	2 400	2 400	2 400
USA	1 672	1 430	1 660	1 596	1 919
Kina	750	769	827	1 500	1 500
Ukraine	800	800	850	960	926
Sydafrika	534	655	583	465	573
Indien	177	271	400	385	385
Malawi			670	1101	369
Brasilien	190	330	148	231	231
Tjekkiet	359	263	254	228	193
Rumænien	90	77	77	90	77
Pakistan	45	45	45	45	45
Tyskland	65	0	8	50	33
Frankrig	5	5	7	3	3
<b>Produktion i alt</b>	<b>39 444</b>	<b>43 764</b>	<b>53 671</b>	<b>58 394</b>	<b>56 217</b>
%-del af verdensbehovet	63 %	68 %	78 %	86 %	85 %

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

som producerer kobber, uran, guld og sølv. Her er uran stadig kun et biprodukt. Men hvis priserne på verdensmarkedet på et tidspunkt ændrer sig, kan det betyde, at et nuværende hovedprodukt økonomisk set bliver til et biprodukt.

Malmens indhold af de værdifulde mineraler kan variere. Der kan være områder i minen, som har højt indhold og områder med lavt indhold. Det naturlige forhold mellem hoved-

produkter og biprodukter kan også variere; lokalt i minen kan indholdet af biproduktet være så højt, at det i dette område faktisk er hovedproduktet. I visse lande er der forbud mod at eksportere malm, hvis uranindholdet overstiger en vis maksimal procentdel af malmen. Lokale variationer i malmen kan vanskeliggøre håndhævelse af sådanne ordninger.



Fra enhver mine i Grønland vil der være behov for at udskibe minens produkter. Her er et skib på vej til udskibningskajen, der er anlagt i tilknytning til olivinminen Seqi ved Maniitsoq.

## Miljø og sundhed

Miljøpåvirkninger fra et mineprojekt kan opdeles i påvirkning af plante- og dyreliv og spredning af forurenende stoffer.

### Hvor farlige er de radioaktive stoffer?

Radioaktive stoffer kan påvirke organismer med deres stråling. Virkningen afhænger af den strålingsdosis, som organismen udsættes for. Ved høje doser kan virkningen være dødelig inden for kort tid. Selv små doser øger risikoen for, at organismer udvikler kræft, og at der sker ændringer i arveanlæg. Risikoen stiger med strålingsdosis. Endvidere er visse kemiske forbindelser med uran regulært giftige.

Alle mennesker er udsat for en vis mængde stråling, uanset om der er minedrift eller ej. I det arktiske miljø stammer hovedparten af strålingspåvirkningen fra radioaktive stoffer fra de naturlige geologiske forhold og kun en mindre del fra følgende menneskeskabte kilder så som:

- Atmosfæriske prøvesprængninger af atomvåben i perioden 1945 til 1980 udført af især Sovjetunionen og USA, som forurenede den nordlige halvkugle med radioaktivt nedfald.
- Udledninger fra atomkraftværker og især atomoparbejdningsanlæg i Vesteuropa (fx La Hague i Frankrig og Sellafield i Storbritannien). Havstrømmene fører radioaktive stoffer fra disse anlæg til blandt andet de grønlandske havområder.
- Ulykken på Three Mile Island i USA i 1979 hvor et radioaktivt udslip fandt sted, dog i omfang mindre end det var tilfældet i Tjernobyl og Fukushima. Ulykken på atomkraftværket i Tjernobyl ved Kiev i Sovjetunionen i 1986. Ved dette uheld kunne udslippet af radioaktivt materiale spores i Grønland. Ulykken på atomkraftværket Fukushima i Japan i 2011. Anlægget blev ødelagt af en stor tsunamibølge, og radioaktivt materiale slap ud i vand og øvrige omgivelser.

I Grønland kendes ét eksempel på radioaktiv forurening. Et amerikansk militærfly lastet med fire brintbomber styrtede i havet vest for Thulebasen i Nordvestgrønland i 1968. Ved styrtet og opryddningsarbejdet blev plutonium og uran spredt ud i miljøet. Plutonium i havmiljøet ved Thule udgør kun en ubetydelig risiko for miljøet. Det har vist sig, at mængderne er så små, at de ikke udgør noget problem for dyr og mennesker.

Atomkapløbet med prøvesprængninger i atmosfæren over den nordlige halvkugle efter 2. Verdenskrig har også betydet øget forurening med radioaktive stoffer i Grønland. Forureningen i Grønland er ikke større end i andre arktiske områder. Koncentrationerne var størst i 1966 og er siden faldet.

På baggrund af undersøgelser af den grønlandske befolknings spisevaner og koncentra-



tionerne af radioaktive stoffer i føden er det muligt at beregne den gennemsnitlige strålingsdosis, som befolkningen udsættes for gennem føden. Sammenholdes denne strålingsdosis med den naturlige baggrundsstråling, viser det sig, at mindre end 1 % af den mængde radioaktivitet, en person indtager gennem hele livet, stammer fra menneskeskabt radioaktiv forurening. Befolkningen i Grønland indtager størstedelen af de menneskeskabte radioaktive stoffer gennem rensdyrkød.

### Miljøpåvirkning ved uranbrydning og -udvinding

Hvis Grønland beslutter at give tilladelse til egentlig minedrift og produktion af et uranmineralkoncentrat eller yellowcake, skal det mineselskab, som står for aktiviteten, dokumentere, at det vil udføre aktiviteten på en miljø- og sundhedsmæssig forsvarlig måde og minimere påvirkningen af befolkningens sundhed



Ved fornyede undersøgelser på Kvanefjeld 1978 blev der sprængt en 960 m lang tunnel, hvorfra 20 000 ton malm blev hentet. Det kraftige udsugningsanlæg, som sikrer at radonmængden ledes væk fra minen, ses som et gult rør.





Sø i det indre af Maniitsoq-området. En tilsvarende sø nær et nyt minested kunne fx anvendes som tailingsdeponi ved minedrift.

og miljøet. Der findes retningslinjer for, hvordan det skal gøres, bl.a. ved udarbejdelse af en VVM-redegørelse (se faktaboksen her på siden) for de aktiviteter, der indgår i virksomheden. Igangsætning af minedriften vil i lighed med anden minedrift kræve, at planerne er godkendt af de grønlandske myndigheder.

Forstyrrelser af miljøet er særligt knyttet til anlæg af veje og anden infrastruktur, kørsel, sejlads og flyvning, til konstruktion af tailingsdeponi, reguleringer af vandløb og søer og lignende. Omfanget af denne type forstyrrelser vil være forskelligt fra sted til sted og omtales ikke yderligere her.

Fra alle miner er der en række mulige forureningskilder:

- Ved brydning og knusning af malmen kan der spredes støv med indhold af forurenende stoffer eller mineralpartikler til omgivende land- og vandområder, og der kan være vandopløselige stoffer, som forurener

drænvandet fra mineområdet, og som derfor må renses, inden det udledes.

- I oparbejdningsanlægget, hvor malmens indhold af de værdifulde mineraler udvindes, kan der dannes støv; visse stoffer fra malmen og kemikalier fra processen kan blive opløst i vand, og der vil derfor altid være behov for vandbehandling af procesvandet.

- I tailingsdeponi og gråbjergsdeponi kan der være stoffer, der opløses ved længere tids påvirkning af vand og luft. Aflob fra sådanne depoter skal derfor opsamles, kontrolleres og eventuelt også renses.

En uranmine vil forårsage en vis støvdannelse og støvspreddning og dermed også spredning af radioaktive stoffer, som kan skade sundhed

## VVM-redegørelse – Vurdering af Virkninger på Miljøet

VVM er en redegørelse for, hvordan et projekt vil påvirke det omgivende miljø. Visse typer virksomheder – og alle mineaktiviteter – skal gennemføre en VVM-undersøgelse, inden der kan gives tilladelse til minedrift. VVM-undersøgelsen skal laves af firmaer eller konsulenter, som er godkendt af myndighederne. Omkostningerne til undersøgelsen skal afholdes af mineselskabet. DCE og Grønlands Naturinstitut vurderer, om en VVM-redegørelse er fyldestgørende og giver et retvisende billede af projekts miljøpåvirkninger.

VVM-redegørelsen skal præsenteres for offentligheden og sendes i høring hos en række offentlige og private organisationer i Grønland. Selvstyret kan på grundlag af VVM-redegørelsen og høringssvarene tillade eller nægte mineselskabet at starte produktion. En lignende analyse kræves gennemført for samfundsmæssige konsekvenser – SIA (Social Impact Assessment).





I 2009 gennemførte studerende fra Danmarks Tekniske Universitet forskellige forsøg med miljøvenlige støvdæmpende produkter på udvalgte grusveje i Sisimiut. Blandt andet blev der som her (den mørke stribe på vejen) anvendt produkter, som stammer fra papirfremstillingen i Sverige.



Calciumklorid anvendes ofte som støvdæmningsmiddel på grusveje, da det holder på fugten i længere tid og derved binder de fine støvpartikler. Koncentrationen må ikke være for høj, da det ellers går ud over miljøet.

og miljø. Støv er et problem, som skal løses for at sikre både medarbejdere og det omgivende miljø mod forurening og eventuelle skader. Der kan foretages en række støvdæmpende foranstaltninger under brydningen, men en vis støvpåvirkning af omgivelserne omkring en mine kan næppe undgås. Støvproblemer kan minimeres ved fx befugtning eller indkapsling af de steder, der skaber støv; eller man kan tilsætte specielle kemikalier, der binder støvpartiklerne sammen. Der skal desuden være en effektiv overvågning af støvspredningen.

Ethvert mineprojekt skal gennemføres på en sådan måde, at der sker en minimal forurening af mennesker og miljø. I forbindelse med uranminedrift er der særligt behov for overvågning af radioaktivitet og andre forurenende grundstoffer i miljøet. Eksempelvis inde-

holder tailings fra uranminedrift radioaktive stoffer, herunder thorium og radium, der er miljø- og sundhedsskadelige.

### Hvordan udvindes uran fra malmen?

Uranen udvindes ved hjælp af kemiske processer med forskellige typer syrer; processen kaldes udludning.

Udludningen kan foregå på udsprængt materiale, der transporteres til et særligt anlæg, efter at det først er blevet knust. Eller den udsprængte, uranholdige malm dynges op i en stor bunke, som overrisles med udludningsvæsken. I visse tilfælde kan udludningsvæsken pumpes ned i jorden gennem porrer og revner og opløse uranmineralerne direkte i undergrunden (ISL), se side 13.

Hvilken metode, der skal anvendes, afhænger som nævnt af malmtypen, lokale geologiske og geografiske forhold, særlige miljøhensyn og økonomiske forhold. Slutproduktet for alle typer er normalt yellowcake, som består af uranoxider. Der er altså ikke tale om rent metallisk uran. Alle metoder vil frigøre radon-gas (dog mindst ved ISL-metoden), som vil forurene miljøet. Afløbsvand fra minen, koncentringsanlæg, samt malm- og gråbjergsdepoter kan være kilder til forurening, fx med indhold af radium. Dette vand kan opsamles og recirkuleres helt eller delvist i udvindingsanlægget. Uanset hvilken udludningsmetode der anvendes, skal uran efterfølgende udtrækkes af en uranholdig opløsning ved komplicerede kemiske processer. Uranminer, som forarbejder koncentratet af uranmineralet, har behov for et kemisk procesanlæg til fremstilling af yellowcake med risiko for dertil hørende forureningskilder.

### Radium og radon

Som nævnt er de rene grundstoffer uran og thorium ikke i sig selv særligt radioaktive. Når uran- og thoriumholdige bjergarter alligevel er mere radioaktive end andre bjergarter, skyldes det de henfaldsprodukter, som er opbygget gennem millioner af år. Særligt vigtige er to af henfaldsprodukterne; radium og radon, som begge opstår ved henfald af uran og thorium (se side 6).

Radium er et vandopløseligt grundstof, som kan forurene vandmiljøet omkring minen, mens radon er en gasart, der kan forurene luften. Både radium og radon er radioaktive, og der skal tages særlige forholdsregler for at undgå, at disse stoffer spredes til miljøet, ligesom der skal tages hensyn til minearbejderes og en eventuel lokalbefolknings sundhedsrisiko ved indånding af radonholdig luft. Vand, der er forurennet med radium fra minen, skal samles op og renses.

For at begrænse udslippet af gassen radon fra et tailingsdeponi skal det være overdækket. Dette gøres som regel ved at holde det vanddækket, i den periode tailingsdeponiet anvendes. Derefter er det normal praksis at dække deponiet med et lag ler og et lag overjord, hvorefter et vegetationsdække kan etableres. Herved kan eventuel stråling fra tailingsdeponiet begrænses til stort set det



samme niveau, som oprindeligt var i området. Der er også andre muligheder for at deponere tailings, fx i de områder af minen, som ikke længere anvendes. Tailingsdeponier skal konstrueres, så der ikke kan blive udvasket forurenende stoffer til miljøet, både på land, i luften og til havs. For tailingsdeponier fra en uranmine er der særlige internationale miljøkrav, som skal overholdes.

### Andre forurenende stoffer

Ud over radium og radon og de øvrige henfaldsprodukter fra uran og thorium er de mest betydningsfulde forureningskomponenter fra uranminer typisk:

- Svovlsyre og sulfater, som er brugt til udludning af uran fra uranmineralet
- Tungmetaller, som er blevet opløst af svovlsyren
- Støv fra nedknusning og brydning af malm
- Kemikalier benyttet til uranudvinding, fx soda (et letopløseligt karbonat).

De fleste uranminer bryder mineralet uraninit og/eller begblende og udluder uran fra mineralet med svovlsyre. Det betyder, at tailings indeholder svovlsyre og sulfater, som vil opløses i regnvand og smeltevand og sive ud af tailings. Dette forureningsproblem løses ved, at alt udsivende vand opsamles og ledes gennem to eller tre små bassiner, hvor det kan behandles. Metoderne til rensning af vandet for svovlsyre, tungmetaller, sulfater og radium er kendt teknologi. En eventuel produktion af uran fra Kvanefjeld vil måske skulle gennemføres efter en anden metode end den her beskrevne, hvilket vil betyde ændrede miljøproblemer.



Både før, under og efter etableringen af en mine udtages vandprøver for at overvåge miljøet. Her er det Nalunaq Gold Mine AIS' laboratorieansvarlige, som indsamler vandprøver fra elven i Kirkespirdalen.

## Kontrol med produktion og eksport

Uranudvinding i Grønland vil kun foregå under iagttagelse af alle internationale forpligtelser i relation til IAEA og FN's ikke-sprengningsaftale om kernevåben.

Hvis der på et tidspunkt er grundlag for at påbegynde en mine med indhold af uran i Grønland, vil det foregå i henhold til de internationale sikkerhedskontrolforpligtelser, som Kongeriget Danmark har indgået. Disse aftaler giver bl.a. det Internationale Atom Energi Agentur (IAEA) ret til at føre kontrol og tilsyn med uranproduktionen for at sikre, at uran fra Grønland ikke bliver benyttet til fremstilling af atomvåben. Herudover skal der laves aftaler med de lande, hvortil grønlandsk uran måtte blive eksporteret, for at sikre at uran fra Grønland kun anvendes til fremstilling af brændsel til brug i civile atomkraftværker, der er omfattet af IAEA's kontrol og tilsyn.

I forbindelse med en produktion af uran i Grønland vil der desuden være behov for mange andre kontrolforanstaltninger med hvert deres formål. En del af disse tilsyn svarer helt til, hvad der skal gennemføres for enhver anden mine, fx grønlandske og danske myndigheders tilsyn med minen og produktionsanlægget for at sikre, at der brydes den aftalte mængde malm, og at dette sker efter de gældende forskrifter og er sikkerhedsmæssigt forsvarligt. Men andre tilsyn vil være specielt rettet mod at sikre at de særlige krav, som knytter sig til produktion af uran, over-



Toldvæsnet tjekker en container inden udslibning fra Grønland. Ved en eksport af uranprodukter vil toldvæsnet bl.a. være én af de myndigheder, som skal føre kontrol med, hvad der bliver eksporteret.



Råstofprojekt ved Kangerlussuaq. Et midlertidigt transportbånd er etableret til sortering af mulig malm fra et råstofprojekt.

### De største uran-mineselskaber (2014)

Navn	Ton uran/år	%
KazAtomProm	13 801	25
Cameco	8 956	16
ARMZ - Uranium One	6 944	12
Areva	6 496	12
BHP Billiton	3 351	6
CNNC & CGN	2 684	5
Paladin	2 316	4
Navoi	2 400	4
Rio Tinto	2 296	4
Andre	6 973	12
<b>Total</b>	<b>56 217</b>	<b>100</b>

(Kilde: [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org))

holdes. Det kan for eksempel være miljømyndighedernes kontrol for at sikre, at brydning og produktion sker i overensstemmelse med de planer og krav, der er fastsat i en udnyttelsestilladelse til udvinding af uran, herunder at anlæg af tailingsdeponier og spildevandsbehandling opfylder de aftalte krav og tager hensyn til strålingsfare og forurening af omgivelserne med radioaktivitet. Det kan også være strålingsmyndighedernes

kontrol for at sikre, at medarbejderne, lokalbefolkningen og besøgende ved minen ikke påvirkes af radioaktiv stråling udover det tilladte.

Naalakkersuisut (Grønlands regering) har iværksat en række tiltag, for at sikre at udnyttelse og eksport af uran i Grønland efterlever Rigsfællesskabets internationale forpligtelser og lever op til diverse internationale standarder og konventioner.



# Når minen lukker – hvad så?

Når en uranmine lukkes, vil det som for alle andre miner skulle sikres, at den ikke forurener omgivelserne.

Ved lukning af uranminer er der nogle særlige forhold, der skal tages hensyn til, fordi tailings og måske også gråbjerg indeholder radioaktive stoffer. Hovedparten af de radioaktive stoffer, som ikke er blevet udvundet under processen, vil findes i tailings. Tailings er derfor den væsentligste kilde til forurening, da det kan afgive radon til luften og andre radioaktive stoffer, fx radium, til vandet.

## Tailingsdeponier

Tailingsdeponier anbragt i en lavning i terrænet og afgrænset af en dæmning, skal konstrueres, så de er langtidsholdbare. Korrekt dimensionering og konstruktion af dæmningerne er derfor helt centrale for sikkerheden.

Tailingsdeponier kan også placeres uden dæmninger, eksempelvis i en sø af passende størrelse. En sådan løsning vil fysisk være mere stabil end en deponering, der baseres på en dæmning. Under brug vil det formodentlig blive nødvendigt, at de vandløb, der normalt løber til søen, dirigeres uden om søen. Efter endt brug må tailings indkapsles, fx ved overdækning med et lag af knuste rene sten, grus, sand eller ler.

Andre deponeringsformer er marin tailingsdeponering (deponering i havet) og deponering i oprindeligt marine områder, der med en dæmning afsnøres fra direkte kontakt med havet. For disse to former gælder det samme som for deponering i en sø. Ved egentlig marin tailingsdeponering til et åbent hav eller fjordområde vil en overdækning formodentlig ikke kunne gennemføres, og det vil ikke kunne hindres, at tailings er i forbindelse med områdets vandmasser, som naturligt udskiftes med vandmasser fra andre områder. Derfor kræver marin tailingsdeponering, at tailings er særdeles godt undersøgt, og at det kan dokumenteres, at de ikke påfører skader på havmiljøet ud over et nærområde ved selve stedet for deponeringen, som uundgåeligt vil blive påvirket.

## Depoter af kemisk affald

Hvor uran udvindes fra uranmineralet ved kemiske metoder, vil der opstå kemisk affald, fx i form af sulfater, som er resultatet af den kemiske reaktion mellem svovlsyre og uranholdige mineraler. Mængden af kemisk affald er betydeligt mindre end tailings, men affaldet er vanskeligere at opbevare sikkert, da det er mere kemisk reaktivt.

## Radium og andre radioaktive stoffer i vand

Mange steder i verden er det muligt at holde tailings så tørt, at den regn, der falder på det, fordamper igen og ikke siver ned og ud i omgivelserne. Men i Grønland må man designe indkapslingen af tailingsdeponiet ud fra en antagelse om, at der vil falde regn og sne på det. Derved kan der være fare for, at vandet optager radioaktive stoffer fra tailingsdeponiet og fører dem ud i det omgivende miljø. Tailingsdeponiet skal derfor designes på en sådan måde, at vand

ikke kan trænge igennem til den del, der indeholder de radioaktive stoffer, og at vand fra nedbør kan bortledes. Som en ekstra sikkerhedsforanstaltning kan deponiet designes således, at drænvand kan opsamles i et mindre bassin, hvor vandet om nødvendigt kan blive efterbehandlet, så de radioaktive stoffer bundfældes.

## Radon i luften over tailingsdeponiet

Efter lukning af minen skal tailingsdeponiet sikres mod frigivelse af radon. Hvis tailingsdeponiet lægges på land, gøres det ved at overdække depotet med nogle lag, som kan opfange radon, typisk et lag ler og et lag jord. Når tailingsdeponiet er dækket, skal der genbeplantes, så dækmaterialerne bliver stabile. Herefter kan området anvendes til andre formål.



Kryolitbruddet ved Ivittuut i Sydvestgrønland, 2010. Bruddet var oprindeligt afskærmet mod fjorden af en dæmning og holdtes tørt ved en konstant udpumpning af indsivende vand. Efter lukningen i 1987 trængte vandet gradvist ind, og hullet er nu helt fyldt op med vand.

## Kvanefjeld – Grønlands mest kendte uranforekomst

Kvanefjeld er undersøgt af geologer gennem mere end 60 år.

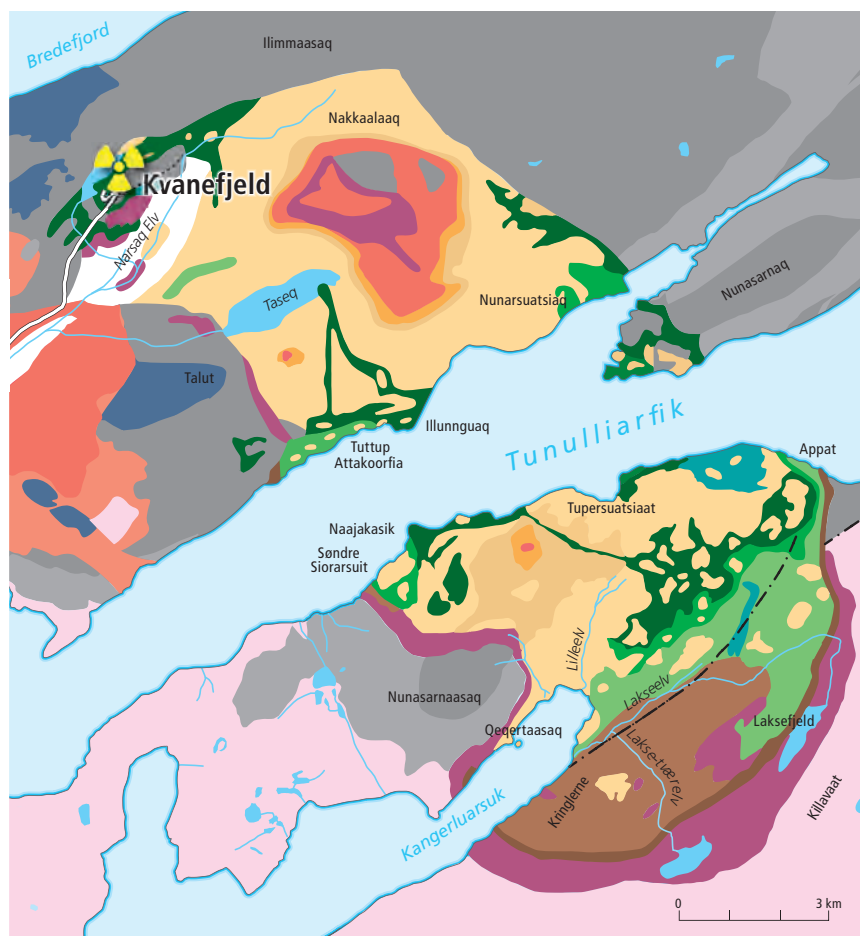
Uranforekomsten ved Kvanefjeld ved Narsaq er den bedst kendte uranforekomst i Grønland og har i flere omgange, siden opdagelsen i 1955, været undersøgt af Risø og mange forskningsinstitutioner, herunder især Københavns Universitet og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU). Undersøgelserne har både omfattet de geologiske forhold og forsøg med udvinding af uran fra malmen. I 1983 rapporterede Risø resultaterne af en række tekniske og miljømæssige undersøgelser vedr. mulighederne for at udnytte uran – og kun uran – fra forekomsten. Alle undersøgelserne er dokumenteret i rapporter og videnskabelige artikler. I dag ved vi, at uranforekomsten ved Kvanefjeld desuden indeholder store mængder af andre vigtige råstoffer, bl.a. sjældne jordartsmetaller, zink, niobium og fluor. Særligt de sjældne jordartsmetaller har gennem de seneste år givet anledning til betydelig efterforskningsaktivitet af private efterforskningselskaber. Disse aktiviteter er den direkte årsag til, at Greenland Minerals & Energy (GME) nu overvejer at etablere en mine ved Kvanefjeld, hvor hovedproduktet er sjældne jordartsmetaller, og hvor uran, zink og fluor vil være biprodukter.

### Hvor meget uran findes der i Kvanefjeld?

Uranforekomsterne i området ved Kvanefjeld er en del af den geologiske Ilimaussaq-intrusion. De uranholdige bjergarter er af typen nefelinsyenit, som er underinddelt i forskellige typer. Det dominerende uranholdige mineral er steenstrupin, som foruden uran indeholder thorium og sjældne jordartsmetaller, og det er derfor især mængden af steenstrupin, som er vigtig ved en vurdering af, hvor meget uran og sjældne jordartsmetaller der findes. Indholdet af uranmineralet steenstrupin i bjergarten varierer og dermed varierer indholdet af uran også. Området er geologisk godt kendt fra de efterforskninger, som statslige forskningsinstitutioner har

gennemført i perioden 1958–1983, hvor der blev gennemført fire boreprogrammer og boret ca. 10 000 m borekerner fordelt på 66 borer. Siden 2007 har selskabet GME haft licens på området og undersøgt det for både sjældne jordartsmetaller og uran. GME offentliggjorde i maj 2015 resultaterne af deres efterforskning. GME

har beregnet, at den sikkert påviste mængde af malm ved Kvanefjeld udgør 143 mio. ton, som totalt har et indhold på 43 000 ton uran. Desuden er der ved Kvanefjeld andre store, men mindre sikkert påviste uranressourcer, som er estimeret til at udgøre 673 mio. ton malm, som indeholder ca. 167 000 ton uran. To nærliggende



#### Agpatiske nefelinsyenittyper

M-C Iujavrit	Kakortokit grænsepegmatit	Alkaligranit, kvartssyenit
Arfvedsonitlujavrit	Naujait	Augitsyenit
Lujavrit overgangszone	Sodalitfoyait	Elvaflejringer
Aegirinlujavrit	Pulaskit, foyait	Narsaq-intrusion
		Gardar sandsten og lava
		Julianehåb-granit
		Forkastning

De forskellige geologiske benævnelser på bjergarterne kan ses i signaturforklaringen.

Simplificeret geologisk kort over intrusionen ved Ilimaussaq. Intrusionen har en udstrækning på ca. 17 x 8 km. Kvanefjeld ligger i den nordlige del af intrusionen ca. 7 km nordøst for Narsaq.

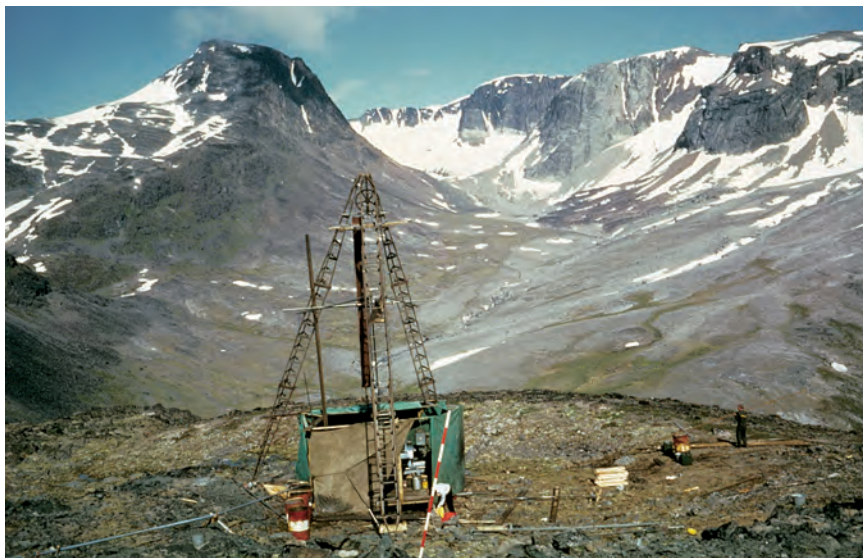


uranforekomster, kaldet Sørensen Zone og Zone 3, indeholder også uran og er estimeret til at indeholde hhv. 74 000 ton og 29 000 ton uran. Det betyder, at malmen fra de tre områder har et relativt lavt indhold af uran (ca. 300 g uran per ton malm) sammenlignet med andre uranminer, men at den samlede mængde gør området til en af verdens største uranforekomster. Uranindholdet i Kvanefjeld har dog ikke en lodighed, som ville gøre det rentabelt at bryde malmen for uran alene. Med de forventede priser vil uran kun kunne brydes rentabelt som biprodukt til en produktion af sjældne jordartsmetaller. Da uran og sjældne jordartsmetaller sidder i samme mineral, er produktionsmængden af disse råstoffer bundet til hinanden. Men fordi de sjældne jordartsmetaller er de økonomisk vigtigste produkter, er det afsætningsmulighederne for disse, som bestemmer, hvor meget uran der kan produceres. Med det foreliggende projekt for Kvanefjeld kan det derfor konstateres, at selv om der er tale om en meget stor uranforekomst, vil en eventuel uranproduktion kun kunne udgøre en lille del af den globale produktion – i størrelsesordenen 1 %.

Uranmineralet steenstrupin findes kun få andre steder i verden og udnyttes ikke. Derfor har det været nødvendigt at udvikle en speciel metode til ekstrahering af uran fra dette mineral. Risø udviklede en sådan metode i 1980'erne, og efterfølgende har GME udarbejdet en mere effektiv metode til at udvinde både uran og sjældne jordartsmetaller, hvorved ca. 90 % af det uran, der findes i steenstrupin, vil kunne udtrækkes. Imidlertid findes en del af Kvanefjelds uran i andre mineraler end steenstrupin, og nogle af disse mineraler fanges ikke ved den foreslåede proces (flotation) og vil derfor ende i tailings.

GME påtænker at bryde uranforekomsten ved Kvanefjeld i åbent brud, fordi forekomsten ikke egner sig til brydning i en underjordisk mine. Det vil heller ikke være muligt at anvende den mere miljøvenlige ISL-metode, se side 14. Fra et mineteknisk synspunkt er det en fordel, at Kvanefjeld ligger tæt på infrastruktur, og at området kan besejles hele året.

Uranmalmen fra Kvanefjeld indeholder omtrent dobbelt så meget thorium som uran. Thorium er, ligesom uran, overvejende bundet i mineralet steenstrupin. Thorium udvindes ikke ved den foreslåede udvindingproces og vil derfor ende i deponiet for de kemiske rester. I dag an-



I perioden 1958–1981 blev der gennemført 10 km kerneboringer på Kvanefjeld for at undersøge indholdet af uran.

vendes thorium ikke i nævneværdigt omfang, men det kan være et muligt alternativ til uran i fremtidens atomkraftværker.

### Miljøforhold ved minedrift ved Kvanefjeld

En VVM-redegørelse skal beskrive de miljømæssige virkninger af et projekt i detaljer, og på dette grundlag kan myndighederne vurdere de miljømæssige konsekvenser. Der foreligger endnu ikke en VVM-redegørelse for Kvanefjeldsprojektet.

Som nævnt gennemførte Risø har i 1980'erne foreløbige miljøvurderinger i forbindelse med en eventuel udnyttelse af uran fra Kvanefjeld.

Da den kemiske sammensætning af malmen fra Kvanefjeld er usædvanlig, kan de miljømæssige erfaringer fra udlandet ikke umiddelbart overføres. Malmen indeholder, i tillæg til indholdet af sjældne jordartsmetaller og uran, høje koncentrationer af en række grundstoffer, bl.a. thorium, fluor, bly, lithium, beryllium, mangan, zirkonium, niobium og zink. På grund af det høje indhold af thorium, der er radioaktivt og har sine egne henfaldsprodukter, vil mængden af radioaktive stoffer i tailings per produceret kilo uran være højere ved Kvanefjeld end ved en del andre miner.

Malmen fra Kvanefjeld indeholder ca. 1 % af et vandopløseligt fluormineral villiaumit, som består af natrium og fluor, der langsomt opløses af regnvand, som siver ud i grundvand

og overfladevand. Ved en brydning af uranmalm fra Kvanefjeld vil fluoropløsningen øges, og forurening med fluor kan blive et væsentligt miljøproblem. Fluor kan fjernes fra vand ved at tilsætte kalk, men da fluor også er et værdifuldt stof, vil det blive indvundet som biprodukt med henblik på salg.

Ved deponering af tailings skal mindst muligt vand strømme igennem tailings, da der her ved opstår risiko for spredning af forurenende stoffer, som kan opløses eller opslemmes i det gennemstrømmende vand. Alt vand fra tailingsdeponier skal renses kemisk. Tilbage i 1980'erne pegede Risø, i forbindelse med deres undersøgelser, på to måder til at deponere tailings:

1. I søen Taseq 4 km nordøst for Narsaq. Såfremt der kun er behov for at bygge små dæmninger, kan deponering i en sø med naturlig afgrænsning være en fysisk sikker måde. GME's projektforslag omfatter også brug af Taseq som tailingsdeponi, men selskabet planlægger etablering af to store dæmninger. Et vandløb vil skulle dirigeres uden om søen.
2. Marin deponering i en afsnøring af Bredefjord nordøst for Kvanefjeld. Marin deponering er af flere grunde problematisk og i nogen lande ikke tilladt, men rummer også visse fordele. Deponeringen i et naturligt afsnøret fjordområde, afgrænset af en dæmning, kan konstrueres således, at naturlig vandcirkulation forhindres.



Professor Niels Bohr blev gjort til æresborger i Narsaq 1957, da det så ud til, at området nu kunne levere uranmalm til forsøgsreaktoren på Risø.



Det var nødvendigt at etablere en tovbane til transport af boreudstyr. Boreprogrammet skulle undersøge indholdet af uran i Kvanefjeld i 1958.



Ved den første prøvebrydning på Kvanefjeld 1958 blev der etableret en tunnel på 50 m, således at uforvitret malm kunne brydes.

Tailings fra malmen fra Kvanefjeld er undersøgt af Risø, og der er opstillet beregninger af, hvor meget der vil kunne udvaskes af regnvand. Risø forudsiger, at det vil blive nødvendigt at konstruere særlige rensningsdamme for det vand, der siver ud af tailingsdeponiet. Den nærmere tekniske udformning og hvilke forureningskomponenter, der skal tages særligt hensyn til, vil først kunne bestemmes, når en industriel metode til at udtrække uran fra steenstrupin er fastlagt.

Greenland Minerals & Energy påtænker at bryde 3 mio. ton malm om året og har beregnet, at der med sikkerhed er malm til 34 års produktion, hvilket vil give omkring 100 mio. ton tailings eller ca. 66 mio. m<sup>3</sup> tailings. Det er selskabets plan at placere tailings i Taseq-søen.

### Sundhedsmæssige forhold ved minedrift ved Kvanefjeld

Ved eventuel minedrift ved Kvanefjeld vil de grønlandske myndigheder fastsætte grænseværdier for radioaktiv påvirkning af minearbejderne og af befolkningen i Narsaq. Uden minedrift ved Kvanefjeld er strålningsniveauet ufarligt. Ved minedrift estimeres det, at en minearbejder vil udsættes for 3,1–16 mSv per år fra de radioaktive stoffer i malmen, afhængigt af hvor meget støv der er. Til sammenligning udsættes en dansker i gennemsnit for ca. 4 mSv per år, som især stammer fra luftens radon.

I tilfælde af minedrift med åben mine ved Kvanefjeld har Risø i 1980'erne lavet en beregning for sandsynlige doser, som minearbejderne vil blive udsat for (se boksen herunder).

Det er karakteristisk, at tilladte grænseværdier er meget lavere for befolkningen som helhed end for arbejdstagere, der arbejder profes-

### Strålingsdoser

#### Sandsynlige doser for minearbejderne:

Gammastråling fra malmen:	2,5-3,7 mSv/år
Radon fra luften:	0,6-1,8 mSv/år
Indånding af malmstøv:	0-11 mSv/år

#### Grænseværdierne i Danmark for bestråling fra menneskeskabte kilder:

Strålingsudsatte arbejdere:	20 mSv/år
Almindelig borger:	1 mSv/år
(Naturlige kilder fx radon i luft i Danmark som helhed: 3 mSv/år)	



sionelt med radioaktive stoffer. Befolkningen som helhed må ikke udsættes for mere stråling fra menneskeskabte kilder end en tredjedel af, hvad man får naturligt. Personer, der arbejder med radioaktive stoffer, må få ca. 7 gange så meget, som de modtager naturligt.

Arbejdere ved Kvanefjeld vil ifølge disse beregninger ikke overskride grænseværdierne for professionelle arbejdstagere. Der er dog stor usikkerhed i de foreliggende vurderinger af, hvor meget stråling arbejderne vil indånde som følge af støv; skønnene ligger i intervallet 0 og 11 mSv per år. Denne kilde til bestråling af arbejdere kan minimeres ved brug af støvmaske og andre støvbegrænsende metoder.

Arbejderne i et fabriksanlæg til oparbejdning af uran og andre værdifulde stoffer fra Kvanefjeld kan blive udsat for malmstøv, radon i luften og gammastråling fra malmen. Der er ikke tilstrækkelig datagrundlag til at beregne disse bidrag, men grænseværdien på højst 20 mSv per år, som gælder for danske arbejdere, må forventes også at skulle gælde i Grønland.

Befolkningen må ikke udsættes for højere stråling end 1 mSv per år som følge af minedriften, hvis de hidtidige regler er gældende. Beregninger af, hvor meget strålingen i Narsaq vil kunne blive, hvis en mine etableres, skal fremgå af mineselskabets VVM. Hovedkilderne vil formentlig blive støv fra malmbrudningen og radon fra tailingsdeponier. Disse aktiviteter skal tilrettelægges således, at grænseværdien (ca. 1 mSv per år) overholdes.

## Strålingspåvirkninger

Arbejdere i områder med forhøjet radioaktiv stråling skal udstyres med det man kalder et personligt dosimeter. Et dosimeter kan måle, hvor meget og hvilke typer radioaktivitet personer, der bærer det, har været udsat for. Målingerne fra dosimetre skal typisk sendes til analyse ved et uafhængigt laboratorium, og resultaterne af en sådan analyse leveres til tilsynsmyndighederne.

Det er et krav, at strålingsdoserne ikke overskrider anbefalinger fra ICRP (International Commission on Radiological Protection) og er i overensstemmelse med de aftaler, der er lavet med myndighederne. Udsættes en person for ekstreme strålingspåvirkninger, fx 1 000 mSv over kortere tid, kan det forårsage akutte skader på mennesker, fx hudrødmen. Risikoen for kræft



Dalen ved Kvanefjeld. Øverst til venstre anes mineindgangen, hvorfra vejen snor sig ned gennem dalen til Narsaq. Placeringen af restbunkerne fra prøvebrudningen i 1980 ses som et lysebrunt felt midt i billedet.

og genetiske skader øges med stigende bestråling med en risikofaktor på 0,05 per 1 000 mSv.

Diagrammet herunder viser målinger af strålingspåvirkningen udført af Risø flere steder på og omkring Kvanefjeld og i Narsaq by.

## Kemisk oparbejdning i Grønland

De nyeste undersøgelser om eventuelle udvindingsmetoder for Kvanefjeld blev præsenteret af mineselskabet GME i 2015. De viser, at steenstrupin kan adskilles fra de øvrige ikke-kommercielle mineraler ved en proces, som giver ca. 90 % tailingsminerale og 10 % steenstrupinkoncentrat, som er det, der indeholder de økonomisk vigtige sjældne jordartsmetaller og ca. halvdelen af malmens uran.

GME planlægger at producere sjældne jordartsmetaller og uran ved først at behandle steenstrupinkoncentratet med svovlsyre, hvorved uran kan udvindes, og efterfølgende at foretage en behandling med saltsyre, hvorved de sjældne jordartsmetaller kan udvindes. Udvidningen vil efterlade en række affaldsprodukter, som indeholder sulfater og rester af svovlsyre og de radioaktive rester. Disse affaldsprodukter er værdiløse og skal deponeres på en sikker måde. GME's foreliggende forretningsmodel er baseret på, at disse forarbejdningstrin skal foregå i Grønland. GME påtænker at opbevare de kemiske restprodukter i et særligt deponi, umiddelbart øst for tailingsdeponiet.

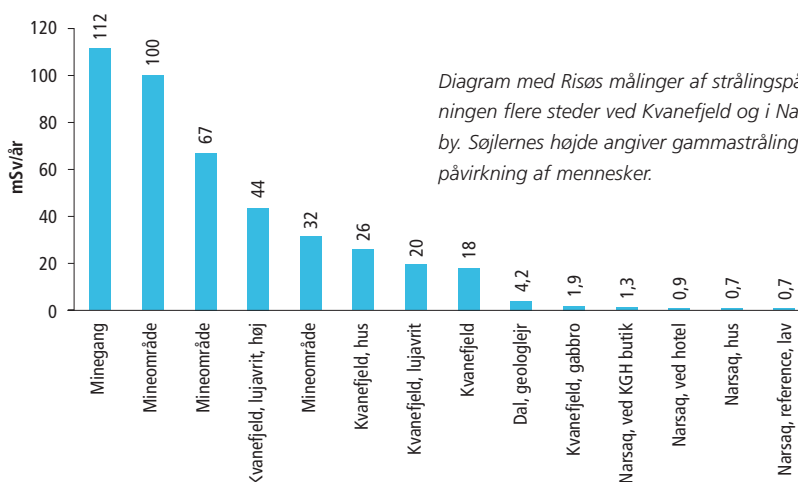


Diagram med Risø's målinger af strålingspåvirkningen flere steder ved Kvanefjeld og i Narsaq by. Søjleernes højde angiver gammastrålingens påvirkning af mennesker.

(Kilde: External Radiation Exposure Associated with Uranium/Thorium Mineralization on the Kvanefjeld Plateau, Greenland (1978), Bøtter-Jensen, L., Christensen, P. and Leth Nielsen, B. Rapport Risø-M-1989, Risø National Laboratory, Roskilde).

# Erfaringer fra uranminer i andre lande

De fleste uranproducerende lande prioriterer miljøet og menneskene omkring uranminerne højt, og det er derfor oplagt at lære fra disse landes erfaringer.

Uran brydes i 20 lande – fra ca. 97 uranminer. I 2014 blev der produceret ca. 57 000 ton uran, hvoraf Kasakhstan (41 %), Canada (16 %) og Australien (9 %) var de største producentlande. Der er omkring 100 uranforekomster, som undersøges af efterforskningselskaber, hvoraf en del vil kunne bringes i produktion, hvis prisen på uran stiger. I de lande, som har påviste uranressourcer, er der forskellige holdninger til, hvorvidt forekomsterne bør udnyttes. I Canada er uranefterforskning for eksempel ikke tilladt i staterne British Columbia, Nova Scotia og Labrador Inuit Lands; derimod ophævede Nunavut i 2007 deres forbud mod uranefterforskning. I USA er uranefterforskning ikke tilladt i staten Virginia. Australien anvender ikke selv atomkraft, men har alligevel en betydelig uranproduktion til eksport.

Igennem årene er omkring 100 uranminer lukket, fordi uranmalmen er brugt op, eller fordi produktionen var uøkonomisk. Da de første uranminer blev åbnet, blev der ikke taget tilstrækkelige forholdsregler for at beskytte mennesker og natur, og der findes eksempler på meget store miljøforureninger. Eksempelvis skete der meget store miljøødelæggelser i forbindelse med uranminedrift i Wismuth-området i det daværende Østtyskland, hvor der blev produceret uran til Sovjetunionens atomvåbenprogram.

Ved moderne minedrift er det et rutinekrav, at der, allerede inden minen etableres, udarbejdes planer for, hvordan minedriften skal udføres, og for hvordan mineområdet skal efterlades efter endt minedrift. Denne praksis gælder allerede nu i Grønland i forbindelse med mineprojekter. For uranminer skal overvejelserne dog særligt omfatte deponering af tailings, grundvandskvalitet, strålingsikkerhed og landskabsstabilitet. Nyere mineområder i Australien

og Canada er efter endt drift bragt tilbage til en stand, hvor det er ufarligt for mennesker og dyr at færdes i dem. Herunder gives et par eksempler på uranminer, der er under etablering, og uranminer der er i drift, og andre der er lukket.

## Eksempel på uranmine under etablering

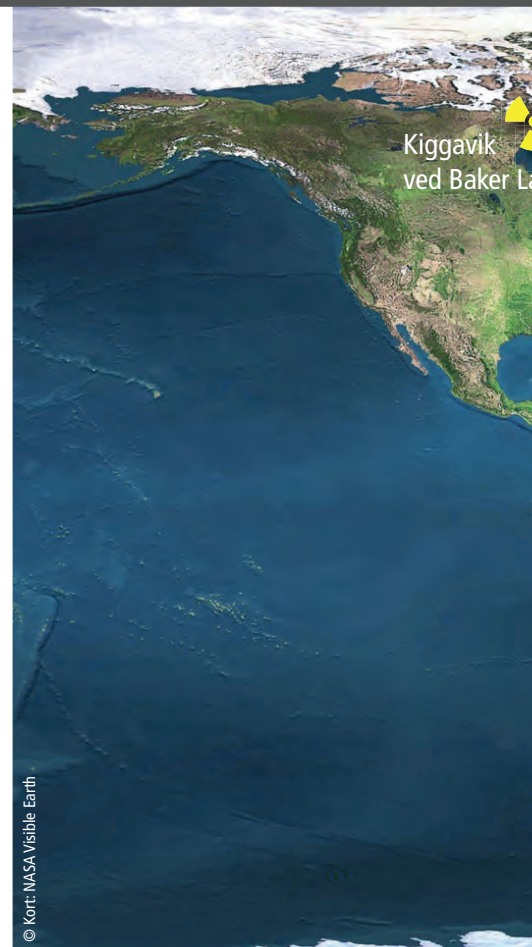
### Kiggavik ved Baker Lake, Kivalliq Region, Nunavut, Canada (projektfase)

Areva Resources Canada er i gang med at undersøge både de tekniske og miljømæssige muligheder for at starte fem uranminer i Kiggavik og Sissons, som skal levere malm til ét anlæg ved Kiggavik. Malmen for de fem områder indeholder ca. 0,23 % uran, og den samlede mængde uran udgør 52 000 tons. Den årlige produktion forventes at være 3 000 tons uran (yellowcake). Baker Lake-området, som er et arktisk tundra-område, er følsomt over for påvirkninger fra minedrift generelt og i særdeleshed over for uranminedrift. Kiggavik-projektet skønnes at have malm til 14 år og vil skabe 600 jobs; nedlukningsperioden anslås til 5 år. Flere uranprojekter er på vej i Baker Lake-området, og beslutningerne vil derfor have stor betydning for, hvordan Nunavut kan udvikle sig fremover. Projektet er for tiden i en høringsfase blandt indbyggere og politiske beslutningstagere, organiseret af Nunavut Impact Review Board ([www.nirb.ca](http://www.nirb.ca)).

## Eksempler på producerende og ophørte uranminer

### Olympic Dam, Australien

Denne forekomst kom i produktion i 1988. Olympic Dam er et eksempel på en underjordisk mine, som producerer kobber, guld og sølv og uran som biprodukt. Minen har enorme reserver på omkring 750 mio. tons malm, hvor hvert ton



© Kort: NASA Visible Earth

indeholder ca. 0,5 kg uran, 15 kg kobber, 0,5 g guld og 3 g sølv og udgør verdens største forekomst af uran. Olympic Dam er i øvrigt en af de største miner i verden og producerede i 2012 ca. 4 000 tons uran og 210 000 tons kobber. Denne produktion betyder, at mere end 10 mio. tons tailings skal deponeres hvert år, svarende til et område på omkring 500 hektar.

## Ranger, Australien

Denne uranforekomst ligger i Kakaduo Nationalpark, som er et UNESCO Verdensarv-område, som tilhører og er beboet af Australiens oprindelige folk. I 1981 begyndte minedriften i Ranger som en åben mine.

Ranger-minen udvinder uran fra en malm, der indeholder ca. 0,06 % uran. Brydningen stoppede i 2012, men produktionen af uran fortsatte på basis af den brudte malm. Der arbejdes på at fortsætte driften i en underjordisk mine. Tailings fra produktionen blev de første år deponeret i et særlig tailingsdeponi svarende til en kunstig sø, men sendes nu tilbage til den åbne mine for at blive opbevaret der. UIC (Uranium Information Centre, under Australian Uranium Association) oplyser, at





Verdenskort der viser de uranminer, der er omtalt herunder.

der er afsat knap 1 mia. kr. til reetablering af området. Minen skal stoppe senest i 2021, og området skal være rehabiliteret i 2026 og gives tilbage til nationalparken. Ranger-minen har målt, at befolkningen i et område 10 km fra Ranger modtager en strålingsdosis på ca. 5 % af den maksimale strålingsværdi, som mennesker bør udsættes for. Gennemsnitsarbejdere udsættes for en strålingsdosis på ca. 25 % af denne grænseværdi, mens særligt udsatte arbejdere udsættes for en strålingsdosis på op til 50 % af denne grænseværdi.

#### Witwatersrand, Sydafrika

Witwatersrand-området, indeholder ca. 80 % af Sydafrikas meget store uranreserver. Produktion af uran begyndte allerede i 1952, hvor uran blev produceret som biprodukt til guld fra kvartskonglomerater. I en periode var Witwatersrand det sted i verden, der producerede mest uran, men produktionen er faldet til under 500 ton uran per år (2011). Der er planer om nye projekter i området, herunder to projekter, hvor uran skal udvindes fra gamle tailings.

#### Elliot Lake-området, Canada

Elliot Lake-området i Ontario var i mange år centeret for uranbrydning i Canada. Brydning af uran begyndte allerede i 1950'erne, og der blev gennem årene frem til 1996 produceret uran fra 23 uranminer. Den typiske malm i Elliot Lake-området indeholdt ca. 0,1 % uran. I 1996 blev der udarbejdet en samlet plan for, hvordan tailingsdeponierne for fire miner i Elliot Lake-området, som omfatter ca. 130 mio. ton tailings, kunne sikres og reetableres. Der arbejdes i dag efter en godkendt plan, som sikrer, at tailingsdeponiet er dækket af vand, og at det vand, der trænger ud, bliver rensat. Canadian Atomic Energy Control Board er den ansvarlige myndighed.

#### Narbarlekminen, Australien

Narbarlekminen i Northern Territory var karakteriseret ved at have en lille, men rig malmreserve, og al malmen, ca. 2,3 mio. ton, blev brudt fra en åben mine i løbet af 1979 og blev lagt på lager. Forarbejdningsanlægget var i drift i ca. 10 år, hvilket gav mulighed for at bruge minen som tailingsdeponi. Operationen blev lukket og området rehabiliteret i 1995. I

forbindelse med lukningen blev minen fyldt op med gråbjerg, bygninger blev fjernet og landskabet reetableret. Området, hvor minen ligger, tilhører Australiens oprindelige folk. I 2008 er der givet nye tilladelser til uranefterforskning i området.

#### Rössing, Namibia

Rössing uranminen i Namibia er en af verdens største åbne uranminer. Minen startede i 1976 og producerer nu 14 mio. ton malm per år. Malmen er en af de mest lavlødige uranmalme, som brydes, med et indhold på 0,025 % uran, hvilket er lidt mindre end Kvanefjeld. Produktionsanlægget ved minen har kapacitet til at producere 4 000 ton uran per år. Minen har gennem de sidste år produceret lidt mindre end planen på grund af regn, men selskabet planlægger en fremtidig øgning af produktionen.

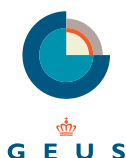




## Yderligere information fra Internettet

### Udvalgte hjemmesider:

akraft.dk	Atomkraft og elproduktion
atomposten.dk	Dansk hjemmeside med kritisk holdning til atomkraft
avataq.gl	Grønlands natur og miljøforening
nuclearsafety.gc.ca	Canadian Nuclear Safety Commission
dce.au.dk	DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi
geus.dk	De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
nutech.dtu.dk	DTU Nutech – Center for Nukleare Teknologier
ga.gov.au	Geoscience Australia – Australian Government
greenpeace.org/denmark/da	Greenpeace Danmark
iaea.org	International Atomic Energy Agency
iea.org	International Energy Agency
nrcan.gc.ca	Natural Resources Canada – Government of Canada
nei.org	Nuclear Energy Institute
nirb.ca	Nunavut Impact Review Board
oecd-nea.org	OECD Nuclear Energy Agency
naalakkersuisut.gl	Miljøstyrelsen for Råstofområdet, Grønland
sis.dk	Statens Institut for Strålebeskyttelse
euratom.org	The European Atomic Energy Community (Euratom)
foratom.org	The European Atomic Forum
u308.biz	U308.biz
eia.gov	U.S. Energy Information Administration
noah.dk	NOAH Friends of the Earth Denmark
nrc.gov	U.S. Nuclear Regulatory Commission
energy.usgs.gov/OtherEnergy/Uranium	U.S. Geological Survey Energy Resources Program
wenra.org	Western European Nuclear Regulators Association
wiseinternational.org	World Information Service on Energy (WISE)
world-nuclear.org	World Nuclear Association
world-nuclear-news.org	World Nuclear News



GEUS - De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - er en uafhængig forskningsinstitution, der rådgiver offentlige myndigheder og private inden for natur, miljø, energi og råstoffer. GEUS er ansvarlig for den videnskabelige udforskning af geologien i Danmark og Grønland. GEUS kortlægger, overvåger og indsamler data om geologiske forhold og er nationalt geologisk datacenter.



DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, leverer uvildig rådgivning og viden om natur, miljø og energi baseret på forskning af høj kvalitet og bidrager dermed til den nationale og internationale samfundsudvikling. Aarhus Universitets væsentligste kontrakter er indgået med Miljø- og Fødevarerministeriet, Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet samt Miljøstyrelsen for Råstofområdet i Grønland.