

# Uran – fra efterforskning til efterspørgsel

Per Kalvig, Kristine Thrane og Karen Hanghøj

MiMa rapport 2014/2



# Uran – fra efterforskning til efterspørgsel

Per Kalvig, Kristine Thrane og Karen Hanghøj

**MiMa rapport 2014/2**

## Indhold

<b>Indledning</b>	<b>5</b>
<b>1 Uran og dets anvendelsesområder</b>	<b>6</b>
1.1 Fra malm til uranbrændsel (nuclear fuel cycle).....	8
1.2 International overvågning .....	10
1.2.1 IAEA.....	11
1.2.2 EURATOM.....	11
1.2.3 OECD.....	11
1.3 Sammenfatning – uran og dets anvendelsesområder .....	12
<b>2 Uranressourcer</b>	<b>13</b>
2.1 Begreberne ressourcer og reserver .....	13
2.2 Uranforekomster – de geologiske typer .....	14
2.2.1 Konventionelle uranmalmstyper .....	15
2.2.2 Ikke-konventionelle uranmalmstyper.....	16
2.3 Uranressourcer – fordelt på geologiske typer .....	17
2.4 Uranressourcer – fordelt på lande.....	19
2.4.1 Ikke-identificerede uranressourcer .....	23
2.4.2 Grønlands uranressourcer.....	23
2.4.3 Samlet vurdering af verdens uranressourcer .....	25
2.5 Sammenfatning – uranressourcer .....	26
<b>3 Uranproduktion</b>	<b>27</b>
3.1 Metoder til brydning og udludning af uran.....	27
3.1.1 Brydning i åbent brud (open pit) .....	28
3.1.2 Underjordisk mine (underground).....	28
3.1.3 Koncentrering af de uranholdige mineraler .....	28
3.1.4 Tailings.....	28
3.1.5 In-situ leaching.....	29
3.1.6 Anvendelse af produktionsmetoder .....	29
3.2 Uranproducerende lande.....	31
3.3 Produktionskapaciteter .....	37
3.4 Den uranproducerende industri.....	38
3.5 Beskæftigelse i uranindustrien .....	41
3.6 Sammenfatning – uranproduktion .....	42
<b>4 Uraneftersforskning</b>	<b>43</b>
4.1 Forbud mod uraneftersforskning og -minedrift.....	50
4.2 Sammenfatning – uraneftersforskning .....	50
<b>5 Uranefterspørgsel</b>	<b>52</b>
5.1 Nuværende forbrug/behov .....	52

5.2 Planlagt og forventet udbygning af kernekraftsektoren .....	52
5.3 Forventet uranforbrug.....	56
5.3.1 Hvor vil fremtidens uranressourcer blive produceret, og er der nok?.....	59
5.4 Sammenfatning – uranefterspørgsel.....	62
<b>6 Prisudvikling</b>	<b>63</b>
6.1 Sammenfatning – prisudvikling .....	65
<b>7 Begrebsforklaring</b>	<b>66</b>
<b>8 Yderlig information om uran og kernekraft</b>	<b>69</b>
<b>9 Referencer</b>	<b>70</b>

## Indledning

Danmark fravalgte i 1985 ved en Folketingsbeslutning at etablere egne kernekraftanlæg, og dansk energiforsyning er derfor baseret på fossile brændsler, vedvarende energikilder og biomasse samt elforsyning produceret på kernekraftværker i Tyskland og Sverige (ca. 10 %).

Ligesom i tiden op til beslutningen i 1985 pågår der også i dag i offentligheden en række diskussioner i forbindelse med uran, dels i relation til eventuel uranudvinding af forekomster i Grønland (Naalakkersuisut & Regeringen, 2013), og dels generelt i relation til bestræbelser på at finde CO<sub>2</sub>-neutrale alternativer til de fossile energikilder, hvoraf kernekraft er en af mulighederne. Mere detaljeret information om forhold relateret til eventuel udvinding af uran i Grønland findes i Kalvig *et al.* (2014).

Denne rapport giver en kortfattet oversigt over den del af den globale uranindustri, som omfatter aktiviteter fra uranefterforskning, brydning af uranforekomster til produktion af yellowcake (uranoxidforbindelser), som er det råmateriale, der anvendes til fremstilling af brændselsstave til kernekraftværker. Desuden forsøger vi at give nogle bud på den forventede efterspørgsel på uran, og i hvilket omfang uranreserverne og det forventede udbud af uran/yellowcake er tilstrækkelige til at tilfredsstille den fremtidige efterspørgsel.

Gennemgangen omfatter *ikke* andre forhold knyttet til kernekraft, eksempelvis fremstilling af brændselselementer, miljøforhold, arbejdsmiljø, deponering af radioaktive materialer, reaktortyper, drift af kernekraftværk og sikkerhedsaspekter knyttet til driften. En række henvisninger til disse forhold er anført bagerst i rapporten. Ligeledes er forhold relateret til urans anvendelse i kernevåben og i våbenindustrien ikke inkluderet.

Vi anvender begrebet uranproducenter om de producenter, der bryder uranmalm og/eller fremstiller yellowcake fra uranmalmskoncentrater; og ved uranindustri forstås alle virksomheder, som er involveret i processen fra uranefterforskning til fremstilling af yellowcake.

En række begreber og betegnelser er forklaret i afsnit 7.

# 1 Uran og dets anvendelsesområder

I Jordens skorpe er uran et forholdsvis almindeligt grundstof, som forekommer i nogenlunde samme mængde som eksempelvis tin, wolfram og molybdæn, og det findes naturligt i de fleste bjergarter og i mange andre stoffer (Tabel 1). Egentlige uranforekomster, som kan have økonomisk interesse, findes dog kun, hvor særlige geologiske forhold har koncentreret uran i tilstrækkelige mængder til, at der har kunnet dannes egentlige uranminer. I nogle af disse miljøer er der udover uran også høj koncentration af andre grundstoffer. Eksempelvis findes uran hyppigt sammen med thorium og de sjældne jordartsmetaller (REE), som det er tilfældet i Kvanefjeld i Sydgrønland. I Olympic Dam-forekomsten i Australien, som er en af verdens største uranproducerende miner, produceres uran som biprodukt sammen med kobber, guld og sølv.

Uran og thorium er radioaktive grundstoffer, der kan anvendes til energifremstilling. Begge grundstoffer forekommer i naturen i varierende, men normalt små mængder (Tabel 1). Både uran og thorium er sammensat af isotoper med forskellige atomvægte. Nogle af isotoperne er ustabile og henfalder med tiden under udsendelse af radioaktiv stråling. Radioaktiv stråling omfatter alfa-, beta- og gammastråling, hvoraf den sidstnævnte er den kraftigste. Et af henfaldsprodukterne er den radioaktive luftart radon.

**Tabel 1.** Typiske værdier af uran og thorium i forskellige materialer. Baseret på U.S. National Research Council (2012).

Uranindhold i forskellige materialer	Uranindhold gram per ton (ppm)	Thoriumindhold gram per ton (ppm)
Havvand	0,003	
Brød og fisk	0,0035	
Jordens yderste skorpe – gennemsnit	2,5	10
Ultramafiske bjergarter	0,01	0,05
Basalt	0,4	1,6
Gabbro	0,8	3,8
Granit	4,8	21,5
Nefelin syenit	14	48
Granitisk gnejs	3,5	12,9
Sandsten	1,4	5,5
Skifer	3,2	11,7
Karbonat	2,2	1,2
Karbonat skifer	8,0	1,7
Marine fosfater	76	
Uranmalm med relativt lavt indhold af uran (Finland)	100	
Uranmalm fra Kvanefjeld (gennemsnit)	300	
Uranmalm med relativt højt indhold af uran	20.000	
Uranmalm med meget højt indhold af uran (Canada)	200.000	

Thorium bliver i dag ikke udnyttet kommercielt, og der findes ingen thoriumminer, men thorium brydes og udvindes som et ikke-salgbart biprodukt i mange miner verden over (fx i USA, Australien, Kina, Indien, Brasilien og Malaysia). Thoriumkoncentratet lagres typisk

enten i lavradioaktive affaldsdepoter eller i særlige lagre til eventuel fremtidig brug til fx kernekraft. I flere tilfælde ignoreres det, at biproduktet er radioaktivt, og det lagres sammen med øvrige biprodukter fra mineproduktionen.

Da man startede udviklingen af kernekraft i 1930'erne, blev der forsket meget i at udvikle kraftværker baseret på thorium på lige fod med uran. Men alle planer om thoriumkraftværker blev skrinlagt, og der blev fokuseret på uran. En af årsagerne var, at det er langt nemmere at fremstille kernekraftvåben fra uran end fra thorium. Inden for de sidste år er en række lande (Kina, Indien, Frankrig, Japan, Canada og Norge m.fl.) igen begyndt at forske i at udvikle thoriumbaseret kernekraft. Der er flere grunde til dette, bl.a. at der er store ressourcer af thorium, og særlige typer af thoriumkraftværker er langt mere effektive og producerer en meget mindre mængde højradioaktivt affald end uranbaserede kraftværker. Da thorium ikke anvendes kommercielt i dag, beskrives dette grundstof ikke nærmere i denne rapport.

Naturligt forekommende uran består af 99,3 % uran med atomvægt 238, kaldet uran-238 (eller  $^{238}\text{U}$ ), og 0,7 % uran med atomvægt 235, også kaldet uran-235 (eller  $^{235}\text{U}$ ). Det er uran-235, som er essentielt i de konventionelle typer af kernekraftreaktorer (letvandsreaktorer), for hvilke uran skal indeholde mindst 3 % uran-235. Det betyder, at det naturligt forekommende uran med et indhold på omkring 0,7 % uran-235 skal "beriges", så uran-235 opkoncentreres i forhold til uran-238, hvilket er en teknisk kompliceret proces. Der findes også reaktorer, som kan benytte ikke-beriget uran; eksempelvis kan den specielle CANDU-reaktor, som benytter tungt vand, bruge naturligt uran med 0,7 % uran-235, som derfor ikke behøver at blive beriget (men byggeomkostningerne for CANDU-reaktoren er meget høje, og sikkerhedsforhold knyttet til håndtering af både tungt vand og brugt brændsel skal stadig håndteres). Uran, der bruges til fremstilling af kernevåben, skal indeholde mindst 85 % uran-235.

Høje koncentrationer af uran findes i visse geologiske miljøer og lokalt i mængder, der gør det kommercielt attraktivt at bryde uranmalmen. I visse tilfælde er uranindholdet alene ikke tilstrækkeligt til at gøre brydning rentabel, men uran kan eventuelt brydes som biprodukt sammen med et eller flere andre mineraler. De teknologier, der anvendes for at bryde uranmalm og efterfølgende fremstille uranoxid – også kaldet yellowcake ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) – er teknisk set enkle, og de fleste lande vil derfor kunne foretage disse trin. De efterfølgende trin, hvor yellowcake forarbejdes til de uranprodukter, der bruges til kernekraft og kernevåben, er derimod teknisk komplicerede, og kun få lande råder over den nødvendige ekspertise.

Nedenstående er en kort oversigt over, hvor uran anvendes i dag.

**Kernkraftværker.** Kernkraftværker kaldes også atomkraftværker. Disse er kraftværker, der udnytter atomkernereaktioner til fremstilling af elektrisk energi. I et kernkraftværk er selve kernereaktoren det sted, hvor energien dannes og frigives i form af ioniserende stråling og varme, og varmen anvendes til at drive dampmaskiner, som producerer elektricitet. Kernereaktionen sker ved at uran-235 spaltes til lettere atomkerner, hvorved der frigives energi, men der dannes samtidigt ustabile isotoper, som i daglig tale kaldes højradioaktivt materiale.

Brug af kernekraftværker er kontroversielt dels på grund af de konsekvenser et reaktorhavar kan have (eksempelvis Three Mile Island i 1979, Tjernobyl i 1986 og Fukushima i 2011), dels på grund af problemer med at finde sikre lagre til langtidsopbevaring af højradioaktivt affald.

**Kerne våben.** Uran anvendes også i kernevåben, der i daglig tale omtales som atombomber. For at bruge uran i kernevåben skal det være højt beriget (indholdet af uran-235 skal være mindst 85 %). Derfor kan uran, der bruges til kernekraftværker, ikke anvendes til fremstilling af atombomber. Til moderne kernevåben er uran blevet erstattet af plutonium, som er lettere at fremstille; det sker ved bestråling af uran-238 i en reaktor.

**Våbenindustrien.** Restproduktet efter berigningsprocessen af uran til kernekraftbrændsel indeholder mere uran-238, end der naturligt forekommer, og har en meget høj massefylde. Dette kaldes "forarmet" uran (se afsnit 7) og anvendes til panserbrydende projektiler samt til fremstilling af særligt kraftige panserskjold til militærkøretøjer.

**Andre anvendelser.** Forarmet uran anvendes ligeledes til afskærmning af kraftige røntgen-, gamma- og neutronstråler, hvor pladsen er trang, fx i udstyr til udtagning af brændselselementer fra reaktorer, samt ved stråleterapi, diagnostiske medicinske undersøgelser og til transport af højaktive isotoper.

## 1.1 Fra malm til uranbrændsel (nuclear fuel cycle)

Det nukleare brændselskredsløb (nuclear fuel cycle) omfatter alle aktiviteter og processer, som er knyttet til produktion af elektricitet fra kernekraftreaktorer, herunder efterforskning- og brydning af uranmalm, fremstilling af uranmalmkoncentrat, fremstilling af yellowcake, fremstilling af uranhexafluorid ( $UF_6$ ) samt berigning af uran og fremstilling af brændselsstave, deres anvendelse i kernekraftværkerne og behandlingen af brugte brændselsstave, som enten kan beriges igen eller deponeres (Figur 1).

Processen fra malm til produkt (yellowcake) kan beskrives i en række trin; dette er illustreret i Figur 2 og beskrevet nedenfor:

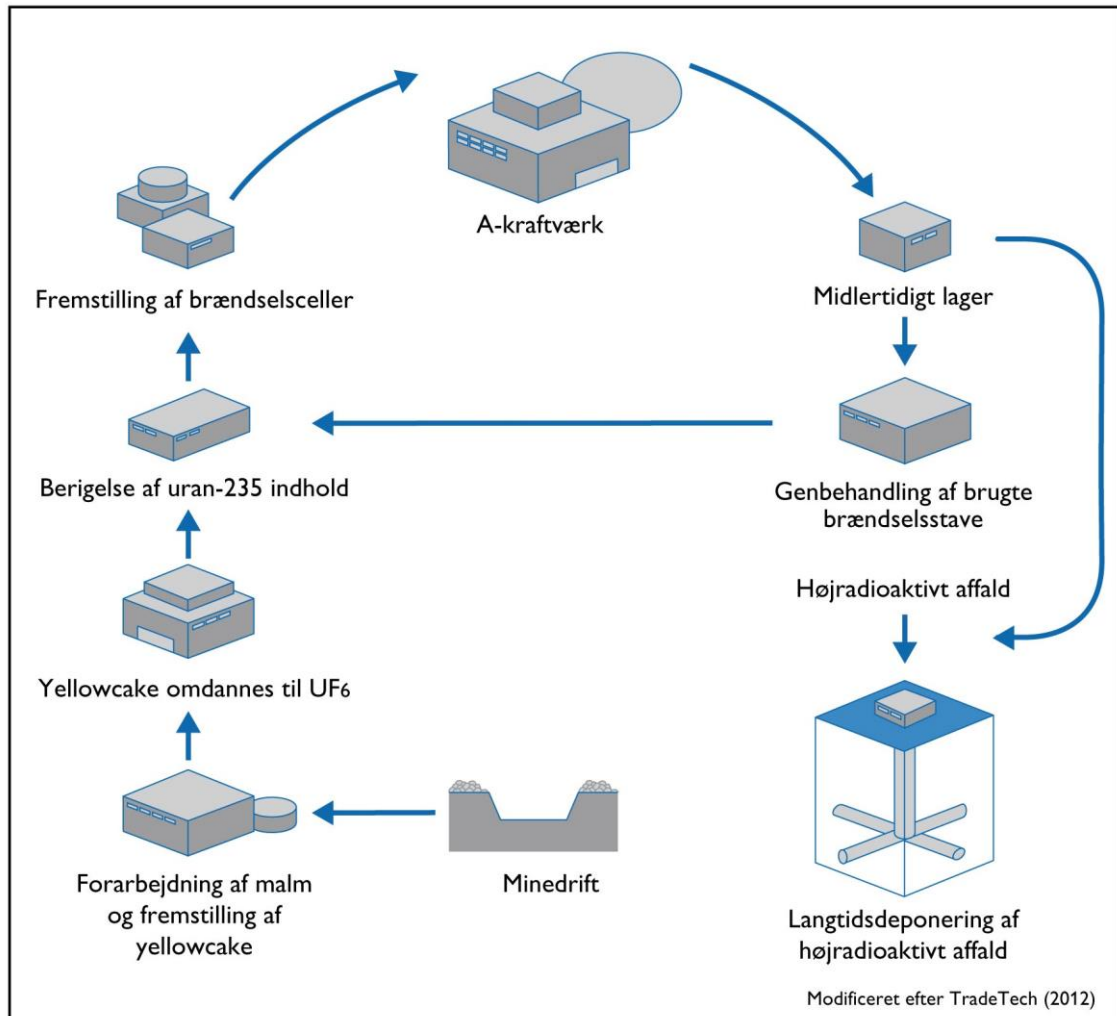
Trin 1 og 2: Fremskaffelse af råmaterialet uran. Uranmalm brydes i miner, enten i underjordiske miner eller i åbne brud på jordoverfladen.

Trin 3, 4 og 5: Forarbejdning af malm. Den brudte uranmalm knuses ned til finsandsstørrelse, og de uranholdige mineraler separeres (udskilles).

Trin 6-17: Udludning og fremstilling af yellowcake. Uranmineral-koncentratet opløses i base- eller syreopløsninger. Ud fra disse opløsninger fremstilles uranoxid ( $U_3O_8$ ) – også kaldet yellowcake. Nogle steder kan man alternativt udlude uran direkte fra uranmalmen under jorden ved at pumpe væske ned, som opløser uran, og efterfølgende pumpe de uranholdige væsker op til videre behandling. Denne metode kaldes in-situ leaching (udludning på stedet) (Trin 12). Andre steder igen placeres den brudte, men ikke knuste, malm på overfladen og udludes. Dette kaldes heap leaching (udludning af bunker). Yellowcake fremstilles i de fleste tilfælde af det mineselskab, der bryder malmen. Yellowcake er en



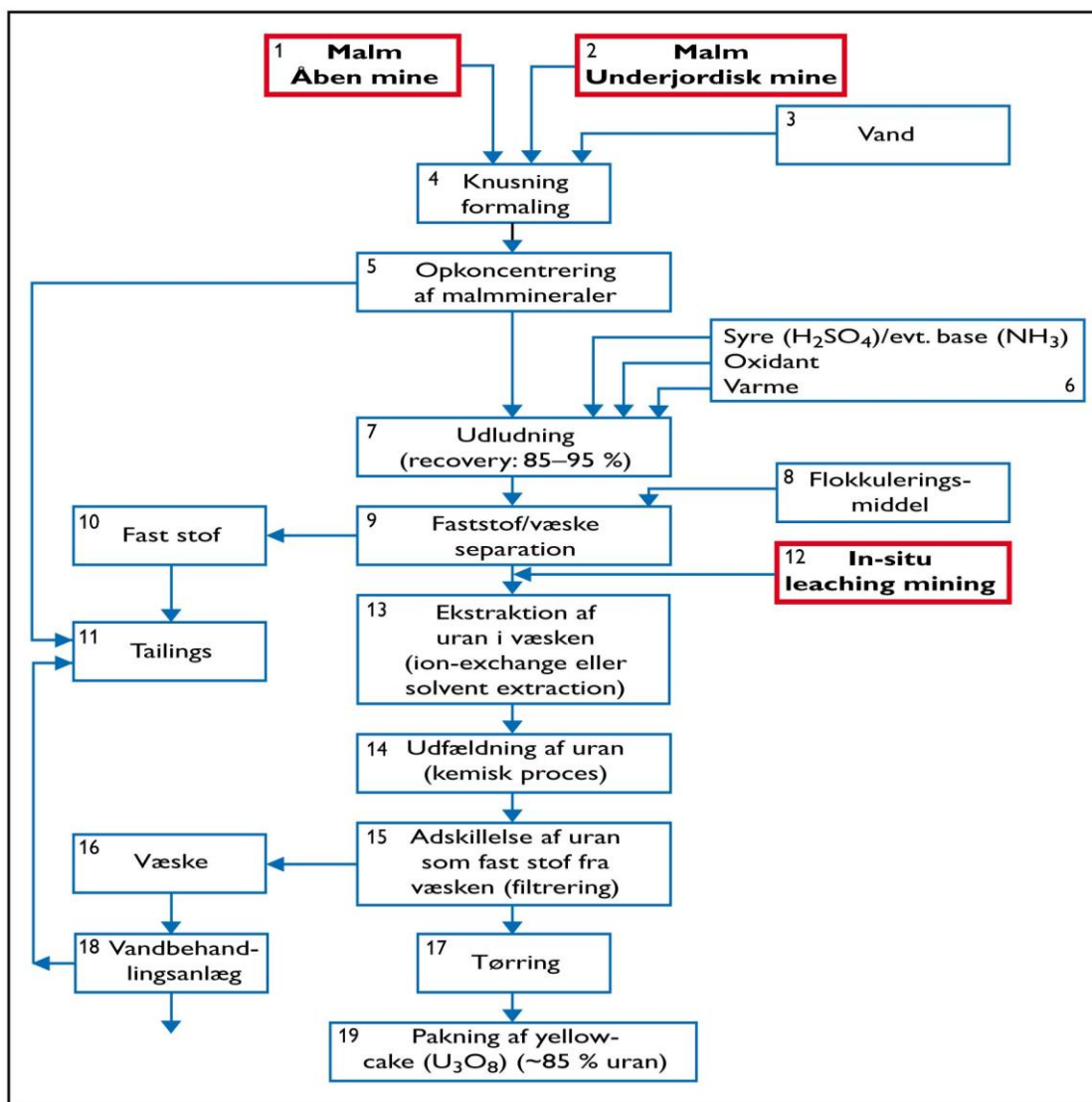
handelsvare i modsætning til uranmalm, som kun undtagelsesvis handles mellem et mineselskab og en yellowcake-producent, der har kapacitet til at behandle uranmalm fra flere uranminer. Trin 6-17 omfatter også behandling af både tailings (ikke-uranholdige mineraler) og procesvand og opbevaring af disse.



**Figur 1.** Oversigt over de trin uran indgår i, når det anvendes til fremstilling af energi fra kernekraftværker. Modificeret efter TradeTech (2012).

Yellowcake omdannes til uranhexafluorid (UF<sub>6</sub>) (Figur 1), som udfældes fra opvarmede dampe ved 56 °C. På kommerciel basis udføres denne konversion kun i Canada, England, Frankrig, Kina, Rusland og USA, som tilsammen har en kapacitet på ca. 76.000 ton U/år. Mindre ikke-kommercielle konversionsanlæg findes i Argentina, Brasilien, Iran, Japan og Pakistan. Nye værker er under etablering i Frankrig, Kasakhstan og USA (IAEA, 2013).

Efterfølgende behandles uranhexafluorid, så der sker en berigning af uran-235. Der findes en række forskellige teknikker hertil, bl.a. gasdiffusion, gascentrifugering og laserseparation. Berigningsprocessen udføres under streng international kontrol for at sikre, at ikke-spredningsaftaler overholdes. Dette trin kan kun udføres på omkring 15 fabrikker i verden beliggende i Frankrig, Tyskland, England, USA, Rusland, Kina, Pakistan, Brasilien og Iran.



Figur 2. Principskitse for de procestrin, der er involveret i fremstilling af yellowcake.

Det sidste procestrin omfatter fremstilling af egentligt brændsel af beriget uran. Dette trin kan også omfatte fremstilling af MOX-brændsel (Mixed Oxide), som er en kombination af uran og plutonium. Brændselstyperne fremstilles specifikt til forskellige reaktortyper.

Det nukleare brændselskredsløb omfatter herefter selve anvendelsen af uranbrændsel i reaktoren, midlertidig lagring af brugt brændsel, genbrug af højenergi restbrændsel til fremstilling af ny uranbrændsel samt slutdeponering af højradioaktivt brugt brændsel.

## 1.2 International overvågning

De fleste uranproducerende lande har ratificeret internationale aftaler vedrørende de sikkerhedsmæssige forhold omkring brydning af uranmalm og fremstilling af uranholdige produkter, og produktionerne er dermed underlagt nationale og internationale myndigheders kontrol. Uranproducerende lande har derfor behov for et vidensberedskab på hele værdis-

kæden for uran fra brydning til slutprodukt, og de uranforbrugende lande har behov for et beredskab vedrørende alle forhold knyttet til anvendelse, transport, deponering og dekommissionering (nedlukning) af nukleare materialer og anlæg. De vigtigste organisationer i denne forbindelse er Det Internationale Atomenergiagentur (IAEA), Det Europæiske Atomenergifællesskab (EURATOM) og Organisationen for Økonomisk Samarbejde og Udvikling (OECD).

### **1.2.1 IAEA**

Det Internationale Atomenergiagentur (IAEA) er FN's organ for fredelig udnyttelse af kernekraft. IAEA blev grundlagt i 1957 som følge af den amerikanske præsident Eisenhowers tale "Atoms for Peace" ("atomer for fred"), der italesatte den frygt og forventning, der opstod som følge af opdagelsen af kerneenergi.

Formålet med IAEA er at fremme sikkerhed og sundhed i forbindelse med udvikling af atomteknologi. IAEA skal sikre, så vidt det er muligt, at kernekraft kun bliver brugt til fredelige formål, samtidig med at de arbejder på at forhindre yderligere udbredelse af kernekraft til militære formål. IAEA driver og støtter forskningslaboratorier, udarbejder standarder, står for konventioner og udfører inspektioner for at sikre, at de nukleare ressourcer kun anvendes på fredelig vis. IAEA's standarder nyder international anerkendelse. Standarderne danner grundlag for national lovgivning og udarbejdelse af andre standarder, bl.a. på EU-plan.

IAEA har udarbejdet detaljerede sikkerhedsstandarder, nogle som skal følges for at leve op til IAEA's krav, og nogle som det tilrådes at følge kaldet "best practice". Standarderne omfatter alt fra processeringsanlæg, risiko for bestråling, transport af radioaktivt materiale, affaldshåndtering og nedlukning af kernekraftanlæg. Sikkerhedsstandarderne ses som en hjælp til medlemslandene til at leve op til internationale krav for sikkerhed og sundhed.

### **1.2.2 EURATOM**

Det Europæiske Atomenergifællesskab (EURATOM) blev oprettet i 1958 i forbindelse med Rom-traktaten og den Europæiske Unions fødsel. Formålet var at samarbejde om udviklingen af atomkraft. Det traktatmæssige grundlag er siden ændret adskillige gange, i takt med at flere stater er indtrådt i unionen.

EURATOM er en uafhængig organisation, som ikke er en del af EU, men som generelt har de samme medlemmer som EU, og den er også styret af EU-organisationer. EURATOM's formål er at koordinere medlemslandenes forskningsprogrammer, at sikre fredelig anvendelse af kernekraft, bl.a. ved at føre kontrol med kernekraftnationer, import og eksport af uran såvel som selve urantransporten. EURATOM overlapper på mange områder med IAEA.

### **1.2.3 OECD**

Organisationen for Økonomisk Samarbejde og Udvikling (OECD) er en international organisation. OECD blev grundlagt i 1961 som konsekvens af tilstandene efter 2. verdenskrig.

Formålet med OECD er at stimulere økonomisk fremgang og markedsøkonomi i de demokratiske medlemslande og social velfærd for mennesker i hele verden. Det er et forum, hvor regeringer kan arbejde sammen, udveksle erfaringer og finde løsninger på fælles problemer. OECD har i dag 34 medlemslande.

### **1.3 Sammenfatning – uran og dets anvendelsesområder**

- Uran er et forholdsvis almindeligt grundstof, som findes i de fleste bjergarter og i mange andre stoffer.
- Uran anvendes helt overvejende som brændsel til el-producerende kernekraftværker. Uran anvendes også til fremstilling af kernevåben, i våbenindustrien og til forskellige medicinske instrumenter (røntgen) og farmaceutiske formål.
- Uran til brug i kernekraftværker skal i de fleste tilfælde beriges, så det indeholder ca. 3 % uran-235 og 97 % uran-238. Til kernevåben skal uran-235 beriges til ca. 85 %, hvilket er teknisk kompliceret.
- Det nukleare brændselskredsløb omfatter alle aktiviteter og processer involveret fra brydning af uranmalm til deponering af de brugte brændselsstave. Den typiske handelsvare, som mineindustrien producerer, er yellowcake (uranoxid).
- Det internationale samfund overvåger den globale uranproduktion. Dette sker i regi af bl.a. Det Internationale Atomenergiagentur (IAEA), Det Europæiske Atomenergifællesskab (EURATOM) og Organisationen for Økonomisk Samarbejde og Udvikling (OECD); de fleste uranproducerende lande har tiltrådt konventioner og aftaler opstillet af disse organisationer.

## 2 Uranressourcer

### 2.1 Begreberne ressourcer og reserver

Geologer og mineselskaber anvender begrebet ressource om ethvert mineralsk råstof, som *måske* kan udnyttes under de rette økonomiske og tekniske betingelser. Betegnelsen ressourcer bruges ofte synonymt med begrebet forekomst og er de mængder af et råstof, som skønnes at være til rådighed på et givet tidspunkt. Reserver er derimod den del af ressourcen, som kendes med stor sikkerhed, og som det med sikkerhed er både rentabelt og teknisk muligt at bryde.

De globale størrelser af både ressourcer og reserver er dynamiske, fordi der til stadighed opdages nye forekomster, fordi de eksisterende forekomster forbruges, og fordi der sker ændringer i priser og teknologier, der kan gøre forekomster der tidligere var urentable ressourcer til reserver – og omvendt, hvis priserne falder. For at kunne vurdere ressourcerne kvantitativt – og eventuelt klassificere dem som reserver – klassificeres de oftest efter den sikkerhed med hvilken, man kender mængden af et tilgængeligt råstof i en forekomst.

Uranressourcerne klassificeres lidt anderledes end andre mineralforekomster, idet både den geologiske viden og forekomsternes lødighed kategoriseres. En række forskellige organisationer laver opgørelser af uranressourcer; der er dog mindre forskelle mellem, hvorledes ressourcerne opgøres. IAEA anvender det canadiske system bestående af 1) Reasonably Assured Resources (RAR) (påviste forekomster, inklusiv identificerede og indikerede forekomster), 2) Inferred Resources (IR) (skønnede forekomster, som ikke er sikkert påvist) og 3) Prognostiske og spekulative forekomster. Australien anvender ikke prognostiske og spekulative opgørelser, og i USA grupperes de skønnede og prognostiske forekomster samlet til gruppen Estimated Additional. I Figur 3 ses en sammenligning mellem IAEA's og USA's måder at opgøre uranressourcer på.

IAEA opdeler de to kategorier RAR og IR i fire klasser baseret på de omkostninger, der antages at være forbundet med at udvinde malmen, eller som det udtrykkes: hvad det koster at producere 1 kg U: (i) <USD 80/kg U; (ii) USD 80-130/kg U; (iii) USD 130-260/kg U; (iv) >USD 260/kg U, og dermed fås der et udtryk for, hvor betydningsfuld forekomsten er som ressource. Disse økonomiske kategorier er knyttet til malmens lødighed; der skal brydes mindre mængde af en højledig malm for at få en given mængde uran end fra en malm med lav lødighed.

Hvad der er hovedprodukt og biprodukt defineres forskelligt. I nogle tilfælde vurderes det i forhold til mængden, i andre tilfælde i forhold til værdien. Hvis det baseres på værdien, kan biproduktet i visse tilfælde blive hovedprodukt, hvis der sker store prisændringer.

← Øget geologisk viden

		Påviste ressourcer		Skønnede	Ikke-identificerede ressourcer	
		Identificerede	Indikerede			
Forbedrede økonomiske forhold	Økonomisk	RAR @ <USD 80/kg U Reserver	RAR @ <USD 80/kg U Reserver	Skønnede ressourcer (høj lødighed) Skønnede reserver	Hypotetiske → Spekulative Prognostiske → Spekulative	
		RAR @ <USD 130/kg U Reserver	RAR @ <USD 130/kg U Reserver			
	Sub-økonomisk	Marginalt økonomisk	RAR @ USD 130 – USD 260/kg U Marginale reserver			Skønnede ressourcer (medium lødighed) Skønnede marginale reserver
		Ikke-økonomisk	RAR @ >USD 260/kg U Ikke-økonomiske ressourcer			Skønnede ressourcer (lav lødighed) Skønnede ikke-økonomiske ressourcer

IAEA Scheme Red Book (2009)  
USGS Scheme (USGS Circular 831, 1980)

**Figur 3.** Sammenligning af to forskellige måder at opgøre uranressourcer på (USGS: lys blå; IAEA: Violet-blå); der findes yderligere forskellige måder at lave opgørelserne på.

## 2.2 Uranforekomster – de geologiske typer

Grundstoffet uran er meget mobilt i naturen og kan derfor koncentreres til økonomiske forekomster i mange forskellige geologiske miljøer, hvilket betyder, at uranforekomster kan dannes på mange forskellige måder. Uranforekomster kendes fra alle kontinenter, og forekomster er dannet gennem hele Jordens historie.

I kommerciel uranmalm varierer uranindholdet meget – fra omkring 0,03 % til 20 %. Dette har indflydelse på de metoder, der anvendes til at udvinde uran, ligesom det har en betydning for, om uran produceres som hovedprodukt eller som biprodukt i forbindelse med produktion af andre metaller.

Uran optræder i mange forskellige mineraler, og i mange uranminer udvindes uran fra flere forskellige uranholdige mineraler. De mest almindelige kommercielle uranmineraler, er uranit ( $UO_2$ ) og begblende ( $UO_2+2UO_3$  – oftest noteret som  $U_3O_8$ ). Andre vigtige uranmineraler er opført i Tabel 2. Forekomsternes størrelse, tonnage og lødighed (koncentration af uranmineraler) varierer efter forekomsttype. Hvis lødigheden er lav, kræves en større tonnage, for at en forekomst vil være brydeværdig.

**Tabel 2.** Oversigt over nogle af de vigtigste uranminerale, samt typiske uranholdige biproduktminerale i forekomster med sjældne jordartsmetaller (REE).

Navn	Kemisk formel (simplificeret)	Vigtigste Råstof	Vigtigste biprodukt	% uran (gennemsnit)
Uraninit	UO <sub>2</sub>	U	Th	88
Begblende	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	U		85
Coffinit	U(SiO <sub>4</sub> ) <sub>1-x</sub> (OH) <sub>4x</sub>	U		
Brannerit	(U,Th,Ca,La)(Ti, Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	U	REE	34
Davidit	(REE)(Y,U)(Ti, Fe) <sub>20</sub> O <sub>38</sub>	U		
Uranothorit	(Th,U)SiO <sub>4</sub>	U	Th	70
Carburan	(Th,U,C)O	Th	U	3-6
Steenstrupin	Na <sub>14</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	REE	Zn, U, Th	0,5-2
Euxenit	(Y,Er,Ce,La,U)(Nb,Ti,Ta) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	REE	U	5
Columbit	(Fe,Mn)Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Nb	Th	
Monazit	(Ce,La,Nd,Th)PO <sub>4</sub>	REE	Th	
Pyrochlor	(Na,Ca) <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> (O,OH,F) <sub>7</sub>	Nb	U	1-5

### 2.2.1 Konventionelle uranmalmstyper

Nedenstående er en kort oversigt over de vigtigste af disse forekomststyper. Vi har valgt at beholde de engelske fagtermer for de geologiske miljøer, da mange kun vanskeligt kan oversættes til dansk.

**Sandstone-forekomster.** Uranminerale er jævnt fordelt i sandstenslag og har imprægneret de oprindelige sandsten, efter at disse er aflejret. Denne forekomsttype indeholder typisk lødigheder i området 0,05-0,4 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> og er forholdsvis beskedne i tonnage (størrelse), op til omkring 50.000 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. De udgør omkring en fjerdedel af verdens uranressourcer (Reasonably Assured Resources, RAR) (se Tabel 3), og det er den helt dominerende type i Kasakhstan, som er det land i verden, der producerer mest uran. Ligeledes er det den dominerende type i Niger, Usbekistan, Gabon (Franceville Basin), Sydafrika (Karoo Basin) og Australien (minerne: Beverley, Honeymoon, East Kalkaroo, Billeroo West Gould Dam).

**Hematite breccia complex-forekomster.** Denne type er karakteriseret ved, at den oprindelige bjergart er brudt i stykker (breccieret), og der er afsat jern-kobber-guld-uranholdige mineraler i sprækkerne. Forekomsttypen kendes mest på grund af Olympic Dam-forekomsten, hvor uran produceres som biprodukt (typisk lødighed på omkring 0,08 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) til en produktion af kobber, guld og sølv. Da Olympic Dam-forekomsten er meget stor, udgør denne type omkring en femtedel af verdens påviste uranressourcer (RAR) (Tabel 3).

**Unconformity-relaterede forekomster.** Her danner en afbrydelse i sedimentære aflejringer en svaghedszone, som er blevet udfældningssted for uranrige mineraler. Forekomster af denne type udgør lidt mere end 10 % af verdens påviste ressourcer (RAR) (Tabel 3) og omkring en tredjedel af den vestlige verdens ressourcer. Gruppen af unconformity-relaterede forekomster indeholder nogle af de største og rigeste uranminer (lødigheder fra omkring 0,1-5 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, med enkelte på op til 20 %) i Canada (Key Lake, Cluff Lake, Rabbit

Lake, McClean Lake, McArthur River og Cigar Lake) og Australien (Nabarlek, Ranger 1 & 3, Jabiluka, Koongarra, Ranger 68 og Kintyre).

**Quartz-pebble konglomerat-forekomster.** Mellemrum mellem kvartsrullesten i sedimentære flod- eller strandaflejringer er blevet udfyldt af uranrige mineraler udfældet af gennemsvivende opløsninger. De indeholder tillige hyppigt guld i mellemrummene, og uran fra disse typer brydes ofte som biprodukt med guld som hovedprodukt. Uranindholdet varierer fra 0,01-0,15 %  $U_3O_8$ , og forekomsterne kan have meget vekslende størrelser (fra <10.000 ton  $U_3O_8$  til 150.000 ton  $U_3O_8$ ). Uran fra denne type udgør kun få procent af verdens uranressourcer (World Nuclear Association). Mest kendt fra denne gruppe er Elliot Lake i Canada (nu lukket) og Witwatersrand i Sydafrika.

**Vein-forekomster.** Dette var tidligere den vigtigste uranforekomsttype, men den udgør i dag kun en meget beskedent del af uranproduktionen; uranindholdet varierer fra 0,01-0,4%  $U_3O_8$ . I denne type gennemskæres en værtsbjergart, oftest granit, af uranholdige årer, ofte kun få cm tykke. Uran er udfældet fra varme, vandige opløsninger ofte sammen med nikkel, kobolt og sølv. De mest kendte forekomster er Jáchymov i Tjekkiet, Shinkolobwe i Congo (DRC) og Part Radium i Canada.

**Volcanic and caldera-relaterede forekomster.** Denne type uranforekomster findes i tilknytning til vulkankratere, hvor uranholdige væsker har kunnet gennemtrænge hulrum og sprækker og derefter udfældet uran. De typiske uranmineraler er begblende og coffinit, og der kan desuden være andre metaller som fx molybdæn, bly, tin og wolfram. Denne type bidrager kun lidt til den samlede globale uranproduktion og har almindeligvis lave lødigheder (0,05-0,2  $U_3O_8$  %). De bedst kendte forekomster er Ben Lomond og Maureen i Australien samt Michelin-forekomsten i Canada.

**Intrusive-forekomster.** Uran er koncentreret i afgrænsede områder af magmatiske intrusive komplekser. Den uranberigende proces forekommer i en sen fase af størkningsforløbet af de smeltede bjergarter, hvor uran koncentrerer sig i en vandholdig restfase, der imprægnerer den tidligere størknede bjergartsmasse. Typen bidrager kun beskedent til den globale uranproduktion, men nogle af de meget store ressourcer tilhører gruppen, heriblandt Rössing i Namibia, Kvanefjeld i Grønland, Palabora i Sydafrika, samt Radium Hill, Crocker Well og Mount Victoria, alle i Australien. Denne type er karakteriseret ved ret lave lødigheder (0,03-0,1 %  $U_3O_8$ ).

**Metasomatite-forekomster.** Denne type er uranmineraliseringer dannet i forbindelse med varme, uranholdige væsker, der trænger ind i bjergarterne, hvor gamle kontinenter bryder op. Ressourcerne udgør knap en tiendedel af de globale ressourcer og er vigtig for de skønnede ressourcer (IR). De vigtigste forekomster er Espinharas i Brasilien, Zheltye Vody i Ukraine, samt Valhalla og Skal i Australien.

### 2.2.2 Ikke-konventionelle uranmalmstyper

Der findes desuden en række forekomsttyper, som er mindre almindelige, og som i disse år ikke har stor kommerciel betydning; oftest omtales denne gruppe som de ikke-



konventionelle uranmalme. De kan dog få betydning på sigt og gennemgås derfor nedestående.

**Metamorphic-forekomster.** Denne type forekommer, hvor bjergarterne har været udsat for forhøjede regionale tryk- og temperaturforhold dybt i Jordens skorpe, og hvor den uran, der oprindeligt er i bjergarterne, er blevet opkoncentreret. Der er tale om en relativt ubetydelig gruppe i relation til uranproduktion. Den mest kendte forekomst er Mary Kathleen i Australien, som indeholder både uran og sjældne jordartsmetaller. Minen lukkede i 1982.

**Collapse breccia pipe-forekomster.** Denne type forekommer som aflange, skorstensformede breccier, hvor uran er udfældet fra nedsivende grundvand og har dannet uranmineraller i porerum og sprækker. Disse forekomster udgør en relativt ubetydelig gruppe i relation til uranproduktion; de kendteste forekomster findes i Arizona Strip i USA.

**Phosphorite-forekomster.** Lav-lødlige uranmineraliseringer (0,01-0,015 %  $U_3O_8$ ) knyttet til sedimentære phosphoriter af marin oprindelse, hvor uran forekommer i mineralet apatit. Typen er ubetydelig set i forhold til den globale uranproduktion, men der findes store forekomster i bl.a. USA (Florida og Idaho), Algeriet, Marokko, Kina, Tunesien og Jordan.

**Lignite-forekomster.** Uran er i disse forekomster adsorberet til kulholdigt materiale og danner ikke selvstændige uranmineraller. Disse forekomster udgør en relativt ubetydelig gruppe i relation til uranproduktion.

**Black shale-forekomster.** Black shale er sorte finkornede sedimentter, som er omdannet til skifer, og hvor uran er knyttet til organisk materiale. Sedimenterne er udfældet i et iltfattigt, svovlholdigt miljø, og som regel ledsages uran af andre tungmetaller som molybdæn og vanadium. Denne gruppe, som typisk har et beskedent uranindhold, har hidtil ikke haft betydning for uranproduktionen, men flere forekomster er under vurdering. Der kendes forekomster af denne type i Sverige (Ranstad), Finland, Tyskland (Gera-Ronneburg-forekomsten), Usbekistan (Zapadno-Kokpatasskaya), USA (Chattanooga), Kina (Guangxi Region). Også alunskiferen på Bornholm indeholder uran, men i yderst beskedne mængde.

### 2.3 Uranressourcer – fordelt på geologiske typer

Tabel 3 og 4 angiver uranressourcer for de otte mest almindelige uranmalmstyper fordelt på de to ressourcekategorier: 1) de påviste (RAR) og 2) de skønnede ressourcer (IR). De samlede uranressourcer er på ca. 7,1 mio. ton U, hvoraf 4,4 mio. ton U er påvist (RAR). For kategorien påviste uranressourcer (RAR) er de tre vigtigste geologiske typer henholdsvis sandstone-forekomster (28 %), hematite breccia complex-forekomster (21 %) og unconformity-relaterede typer (12 %). For de skønnede uranressourcer (IR) er fordelingen lidt anderledes, sandstone-forekomster (25 %), hematite breccia complex-forekomster (15 %) og metasomatite-forekomster (15 %).

I tillæg til de i Tabel 4 angivne uranressourcer har selskaberne gjort fund, som ikke er medtaget, hvis der foreligger utilstrækkeligt datagrundlag til at vurdere, hvilke kategorier de tilhører. Dette bidrag vurderer OECD (2012) til at udgøre 124.100 ton U, hvoraf de betyde-

ligste bidrag er fra Den Centralafrikanske Republik (36.500 ton U), Peru (20.400 ton U), Mauretania (20.200 ton U) og Spanien (18.000 ton U). Disse tal kan i realiteten være mange gange større, da selskaberne ikke nødvendigvis angiver usikre ressourcer.

**Table 3.** Påviste uranressourcer (RAR) i ton fordelt på de mest almindelige geologiske uranforekomststyper. Kilde: OECD (2012).

Geologisk uranforekomststype	<USD 40/kg U	USD 40-80/kg U	USD 80-130/kg U	USD 130-260/kg U	Total
Sandstone	55.200	293.800	636.200	261.900	1.247.100
Hematite breccia complex	-	917.100	1.400	800	919.300
Unconformity-related	237.900	99.000	109.700	92.200	538.800
Metasomatite	87.100	52.900	122.000	113.100	375.100
Intrusive	-	5.900	146.100	121.200	273.200
Volcanic caldera-related	-	3.500	124.600	24.600	152.700
Vein	-	7.900	28.600	109.300	145.800
Quartz-pebble conglomerate	-	43.600	21.800	45.100	110.500
Other	67.900	52.800	210.700	50.300	381.700
Unspecified	45.800	44.400	39.600	104.700	234.500
<b>TOTAL</b>	<b>493.900</b>	<b>1.520.900</b>	<b>1.449.700</b>	<b>923.200</b>	<b>4.378.700</b>

**Table 4.** Skønnede uranressourcer (IR) i ton fordelt på de mest almindelige geologiske uranforekomststyper. Kilde: OECD (2012).

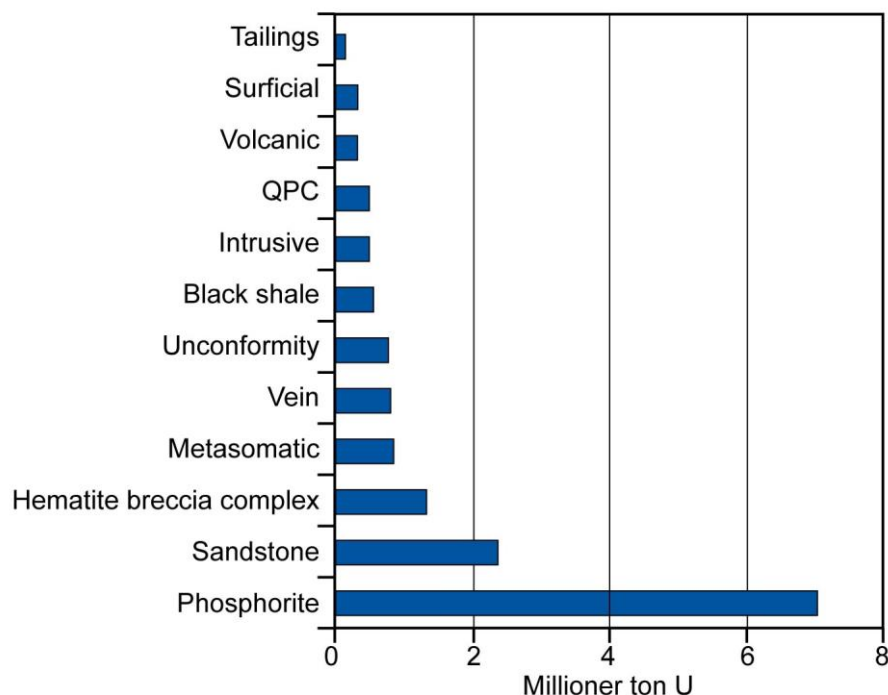
Geologisk uranforekomststype	<USD 40/kg U	USD 40-80/kg U	USD 80-130/kg U	USD 130-260/kg U	Total
Sandstone	45.700	267.100	206.300	148.500	667.600
Hematite breccia complex	-	382.700	14.400	5.400	402.500
Unconformity-related	112.800	16.700	55.000	11.100	195.600
Metasomatite	3.600	18.400	299.500	120.200	441.700
Intrusive	-	700	17.100	215.700	233.500
Volcanic caldera-related	500	8.500	70.200	44.500	123.700
Vein	-	600	20.900	124.700	146.200
Quartz-pebble conglomerate	-	55.900	23.500	42.600	122.000
Other	10.900	93.200	80.000	114.000	298.100
Unspecified	13.400	33.100	21.000	19.500	87.000
<b>TOTAL</b>	<b>186.900</b>	<b>876.900</b>	<b>807.900</b>	<b>846.200</b>	<b>2.717.900</b>

Vurderes uranressourcerne på grundlag af lødighed, fremgår det, at de mest højlydige typer (<USD 40/kg U), for både de påviste ressourcer (RAR) og de skønnede ressourcer (IR), tilhører unconformity-relaterede forekomster, og i den kategori med næsthøjeste lødighed (USD 40-80/kg U) er hematite breccia complex-typerne de mest dominerende. Sandstone-typerne dominerer i kategorien USD 80-130/kg U for påviste ressourcer (RAR), hvorimod det er den geologiske type metasomatite, som dominerer for de skønnede ressourcer (IR). Da in-situ leaching særligt er knyttet til forekomster af sandstone-typen, kan forskellen mellem RAR og IR betyde, at in-situ leaching på sigt får mindre betydning som produktionsform.

De geologiske typer er knyttet til bestemte geologiske forhold, og derfor er ressourcerne fordelt forskelligt. Eksempelvis har Canada og Brasilien store ressourcer af unconformity-

forekomster, hvorimod særligt Australien har store ressourcer knyttet til hematit breccia complex-typen. De største ressourcer af sandstone-forekomsterne findes i Kasakhstan, Niger og USA.

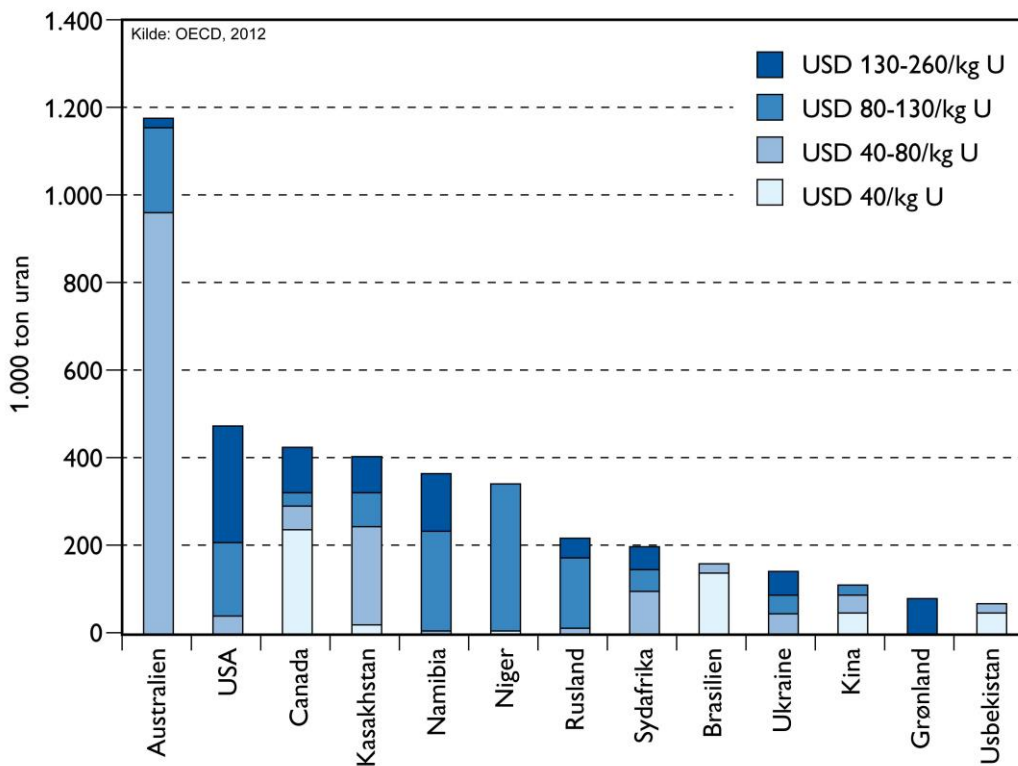
Fremskrivninger, af hvilke uranmalmtyper der vil dominere i 2060 (Figur 4), indikerer, at den mest dominerende type vil være uran udvundet fra phosphorite-forekomster efterfulgt af sandstone-typer (Woods, 2012); begge typer er normalt relativt lavlødige (0,01-0,7 % U). Syv lande har indrapporteret tal for ikke-konventionelle uranressourcer til OECD (2012), men OECD forventer, at denne kategori af uranmalm kun vil blive kommercielt interessant, hvis uranprisen bliver højere end USD 260/kg U, eller hvis der udvikles nye, billige produktions- og udvindingsmetoder for disse uranressourcer.



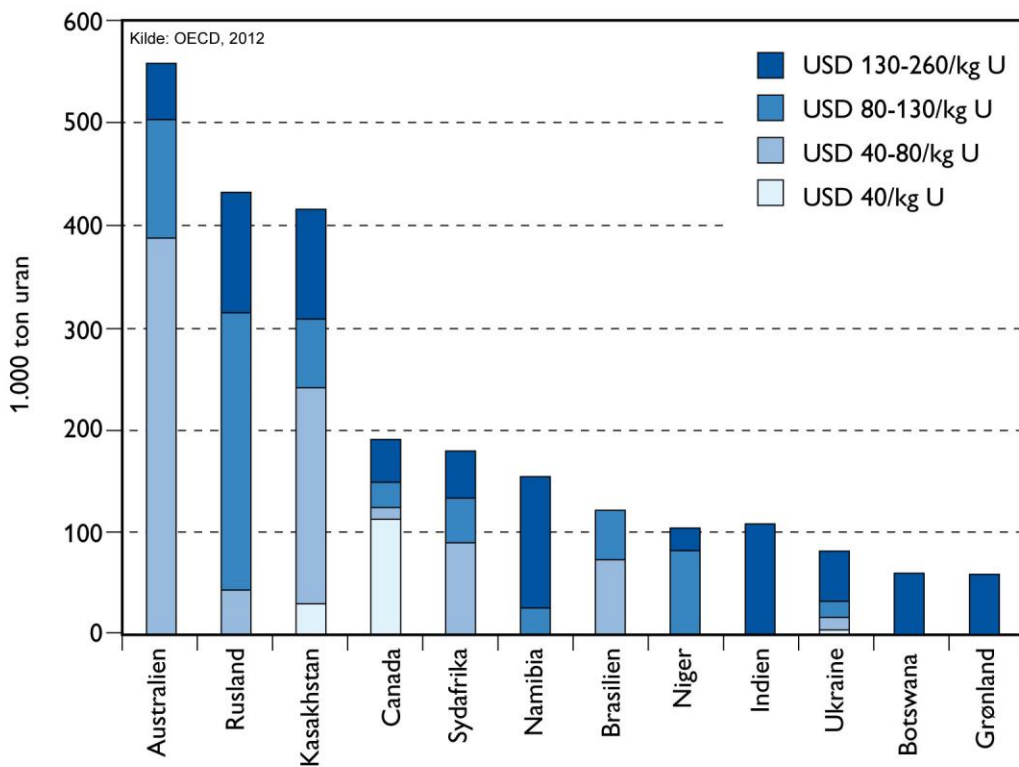
**Figur 4.** Fremskrivning: Spekulative uranressourcer (ton U) fordelt på geologiske typer, som det forventes at se ud i 2060. Kilde: Woods (2012).

## 2.4 Uranressourcer – fordelt på lande

Figur 5 og 6 viser fordelingen af de forskellige kategorier af uranressourcer for de 13 lande, der har de største uranressourcer. I kategorien for de påviste ressourcer (RAR) råder Canada over den største mængde af højlødige forekomster (<USD 40/kg U) efterfulgt af Brasilien; i den næstbedste kategori (USD 40-80/kg U) råder Australien over langt den største andel efterfulgt af Kasakhstan. For de skønnede ressourcer (IR) råder Canada også over de største mængder af de højlødige forekomster efterfulgt af Kasakhstan; i den lidt mindre lødige gruppe (USD 40-80/kg U) råder Australien over langt den største ressource efterfulgt af Kasakhstan.

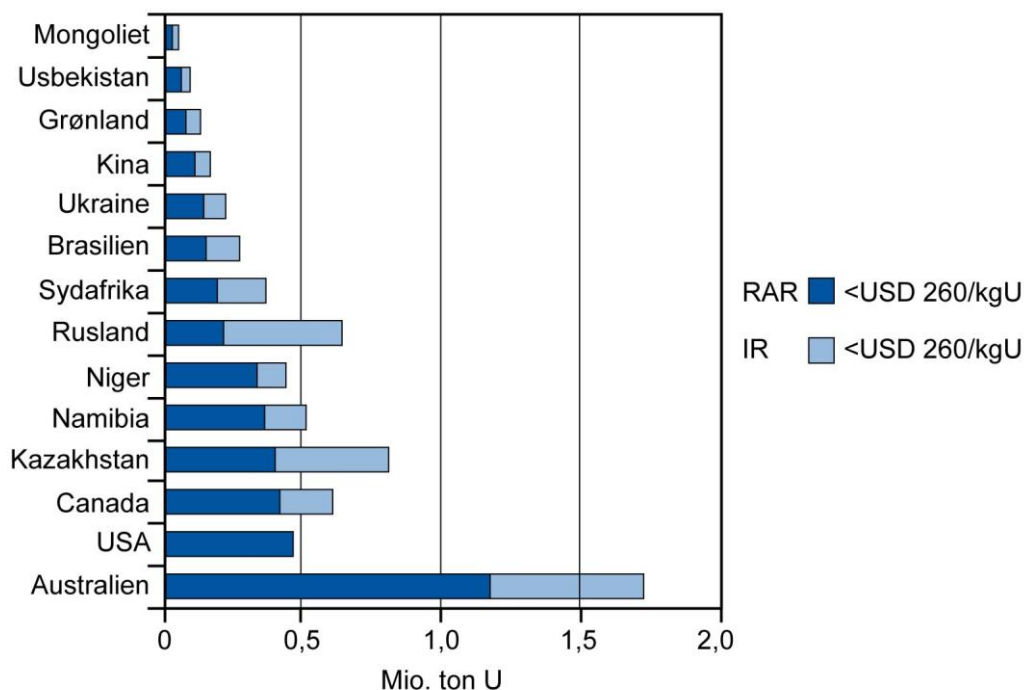


**Figur 5.** Fordeling af påviste uranforekomster (RAR) fordelt på de 13 lande, der har de største, kendte uranressourcer. Kilde: OECD (2012).



**Figur 6.** Fordeling af skønnede uranressourcer (IR) fordelt på lande og kategori. Kilde: OECD (2012).

Den samlede uranressource af påviste forekomster (RAR) udgjorde i 2011 ca. 4,4 mio. ton U, hvoraf Australien råder over langt den største andel (27 %) efterfulgt af USA (11 %), Canada (10 %), Kasakhstan (9 %), Namibia (8 %), Niger (8 %), Rusland (5 %), Sydafrika (4 %), Brasilien (4 %) og Ukraine (3 %). I alt har disse lande en samlet andel på 89 % af de påviste uranressourcer (se Tabel 5 og Figur 5). Betragtes både de påviste (RAR) og skønnede forekomster (IR), er den samlede mængde af ressourcen ca. 7,1 mio. ton U og landefordelingen lidt anderledes (Figur 7). Australien råder stadig over den største del af uranressourcerne (25 %) men efterfølges nu af Kasakhstan (12 %), Rusland (9 %), Canada (9 %), Namibia (7 %), USA (7 %), Niger (6 %), Sydafrika (5 %), Brasilien (4 %) og Ukraine (3 %). Samlet råder disse 10 lande over 86 % af uranressourcerne, mens resten er fordelt på 38 lande. OECD (2012) angiver Grønlands uranressourcer til 77.000 ton U i klassen for påviste forekomster (RAR) og 57.700 ton U i klassen for skønnede forekomster (som alene refererer til Kvanefjeld), hvilket svarer til 2 % af verdens uranressourcer og dermed giver Grønland en 12. plads med hensyn til størrelsen af uranressourcerne.



**Figur 7.** Påviste (RAR) og skønnede uranressourcer (IR) fordelt på de 14 lande med de største ressourcer og sorteret efter de største påviste mængder. Grønland er på en 12. plads. Kilde: OECD (2012).

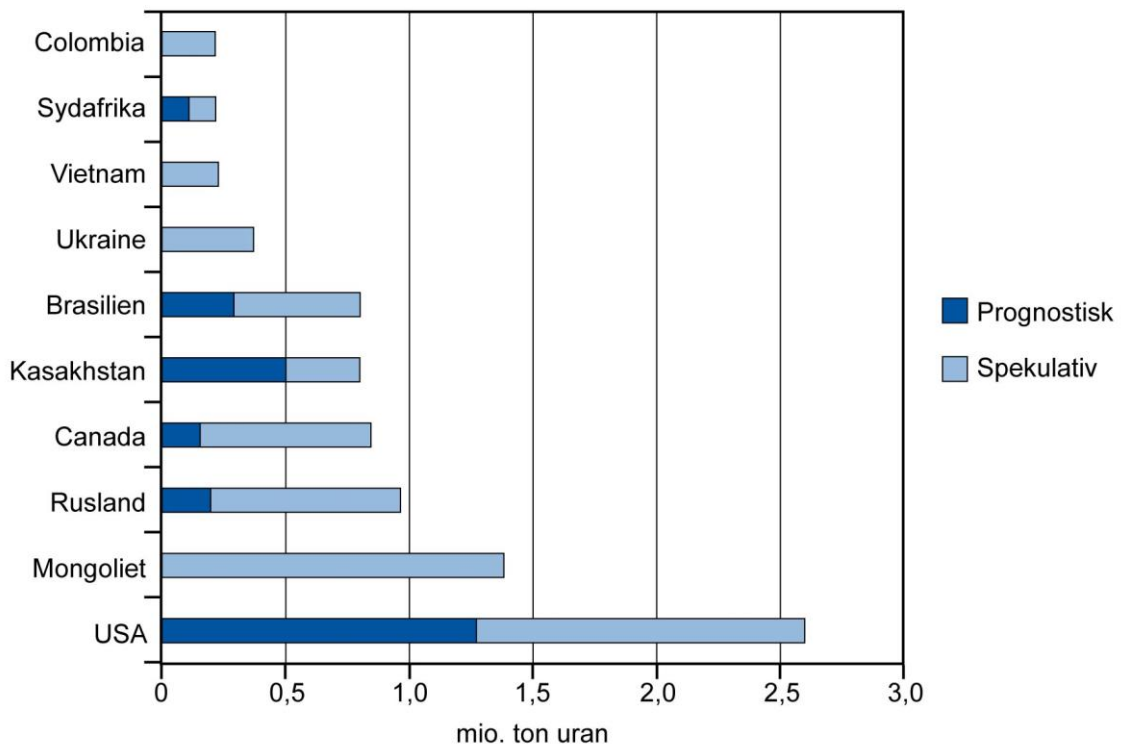
**Tabel 5.** Landeoversigt over mængderne (ton U) af de påviste (RAR) og de skønnede ressourcer (IR) fordelt på lande og ressourcernes lødighed; tallene angiver 2011-indrapporteringer. Tabellen er sorteret efter største mængde af påviste ressourcer inden for kategorien <USD 260/kg U. Baseret på OECD (2012).

	RAR				IR			
	<USD 40/kg U	<USD 80/kg U	<USD 130/kg U	<USD 260/kg U	<USD 40/kg U	<USD 80/kg U	<USD 130/kg U	<USD 260/kg U
Australien	-	961.500	1.158.000	1.180.100	-	387.900	503.600	558.700
USA	-	39.100	207.400	472.100	-	-	-	-
Canada	237.900	292.500	319.700	421.900	112.900	124.300	149.000	192.500
Kasakhstan	17.400	244.900	319.900	402.400	30.000	240.900	309.200	417.300
Namibia	-	5.900	234.900	362.600	-	700	26.100	155.500
Niger	5.500	5.500	339.000	340.600	-	-	82.000	104.900
Rusland	-	11.800	172.900	218.300	-	43.600	314.300	432.000
Sydafrika	-	96.400	144.600	192.900	-	89.600	134.500	179.200
Brasilien	137.900	155.700	155.700	155.700	-	73.600	121.000	121.000
Ukraine	2.800	44.600	86.800	143.300	3.600	16.900	32.800	81.300
Kina	45.800	88.500	109.500	109.500	13.400	46.500	56.600	56.600
Grønland	-	-	-	77.000	-	-	-	57.700
Usbekistan	46.600	46.600	64.300	64.300	24.700	24.700	31.900	31.900
Mongoliet	-	-	30.600	30.600	-	-	25.100	25.100
Tanzania	-	-	28.700	30.100	-	-	8.000	15.600
Botswana	-	-	-	23.100	-	-	-	59.100
Algeriet	-	-	-	19.500	-	-	-	-
Spanien	-	-	-	14.000	-	-	-	-
CAR*	-	-	12.000	12.000	-	-	-	-
Frankrig	-	-	-	11.500	-	-	-	100
Malawi	-	-	10.000	11.300	-	-	2.300	5.700
Zambia	-	-	-	9.900	-	-	-	5.700
Argentina	-	5.000	8.600	8.600	2.400	4.000	9.900	11.000
Ungarn	-	-	-	8.400	-	-	-	200
Tyrkiet	-	7.300	7.300	7.300	-	-	-	-
Iran	-	-	700	6.600	-	-	1.800	4.100
Portugal	-	4.500	6.000	6.000	-	-	1.000	1.000
Somalia	-	-	-	5.000	-	-	-	2.600
Sverige	-	-	4.000	5.000	-	-	6.000	8.500
Gabon	-	-	4.800	4.800	-	-	-	1.000
Indonesien	-	2.000	8.400	4.800	-	-	-	5.800
Rumænien	-	-	3.100	3.100	-	-	3.600	3.600
Tyskland	-	-	-	3.000	-	-	-	4.000
Mexico	-	-	2.800	2.800	-	-	-	-
Slovenien	-	1.700	1.700	1.700	-	3.800	7.500	7.500
Zimbabwe	-	-	-	1.400	-	-	-	-
Congo DCR	-	-	-	1.400	-	-	-	1.300
Peru	-	1.300	1.300	1.300	-	1.300	1.300	1.300
Finland	-	-	1.100	1.100	-	-	-	-
Grækenland	-	-	-	1.000	-	-	-	6.000
Vietnam	-	-	-	1.000	-	-	-	5.400
Chile	-	-	-	700	-	-	-	1.200
Indien	-	-	-	700	-	-	-	104.200
Tjekkiet	-	-	300	300	-	-	100	100
Egypten	-	-	-	0	-	-	-	1.900
Italien	-	-	4.800	-	-	-	1.300	6.100
Japan	-	-	6.600	0	-	-	-	6.600
Jordan	-	-	-	0	-	-	33.800	33.800
Slovakiet	-	-	-	-	-	5.900	9.000	9.000
<b>TOTAL</b>	<b>493.900</b>	<b>2.014.800</b>	<b>3.455.500</b>	<b>4.378.700</b>	<b>187.000</b>	<b>1.063.700</b>	<b>1.871.700</b>	<b>2.717.900</b>

\* Centralafrikanske Republik

### 2.4.1 Ikke-identificerede uranressourcer

"Ikke-identificerede ressourcer" er de ressourcer, som geologer har en forventning om findes i bestemte geologiske miljøer. Estimatet af sådanne ressourcer kan være baseret på en række geologiske indikationer (prognostiske), eller de kan være spekulative. Kun hvis der gennemføres omfattende geologisk efterforskning, vil det være muligt at påvise eksistensen af sådanne ressourcer og efterfølgende bestemme deres reelle størrelse og lødighed. OECD (2012) angiver, på basis af 34 landes indrapporteringer, at den samlede mængde af de prognostiske og spekulative forekomster udgør ca. 10,4 mio. ton U, hvoraf de prognostiske ressourcer udgør 2,7 mio. ton U. Det fremgår af denne opgørelse (Figur 8), at USA har langt den største prognostiske ressource efterfulgt af Kasakhstan og Brasilien. Den største mængde af de spekulative ressourcer findes i Mongoliet efterfulgt af USA, Rusland og Canada. I disse tal indgår Australien og Namibia ikke, da disse lande, trods betydelige ressourcepotentialer, ikke indrapporterer prognostiske og spekulative ressourcer.



**Figur 8.** Opgørelse over prognostiske og spekulative uranressourcer fordelt på de 10 lande med de største ressourcer i disse grupper. Australien og Namibia opgør ikke prognostiske og spekulative ressourcer. Kilde: OECD (2012).

### 2.4.2 Grønlands uranressourcer

Indenfor Kongeriget Danmark findes der – bortset fra den uranholdige alunskifer på Bornholm – kun uranressourcer i Grønland. Kendskabet til det grønlandske uranpotentiale er dog ret beskedent, da der kun er foretaget sporadisk efterforskning efter dette råstof. De bedst kendte uranforekomster er vist i Tabel 6, hvoraf det ses at hovedparten af de kendte forekomster er af typen vein-forekomster (bl.a. Vatnahverfi og Ulungarssuaq i Sydgrønland

og Moskusokseland og Gauss Halvø i Østgrønland) og intrusioner (særligt Kvanefjeld og Motzfeldt i Sydgrønland). De grønlandske uranmineraliseringer er beskrevet i større detalje i Keulen *et al.* (2014), som tillige diskuterer mulighederne for at finde nye uranforekomster i Grønland. Rapporten konkluderer, at uranpotentialet i Grønland er stort. Kvanefjeld er den eneste forekomst, hvor der er påviste uranressourcer (RAR). Licenshaveren vurderer, at forekomsten indeholder 619 mio. ton malm (både RAR- og IR-kategorier) med en lødighed på 0,0257 %  $U_3O_8$ , svarende til omkring 160.000 ton  $U_3O_8$  ([www.ggg.gl](http://www.ggg.gl)). Derudover er to nye zoner relateret til Kvanefjeld (Sørensen zonen og Zone 3) med skønnede (IR) uranressourcer blevet identificeret. Disse to zoner omfatter tilsammen 337 mio. ton malm med en lødighed på 0,030 %  $U_3O_8$ , svarende til omkring 102.000 ton  $U_3O_8$ . Tilsammen udgør de tre zoner en af de fem største forekomster i verden. Yderligere information om forhold knyttet til eventuel brydning af uran i Grønland er behandlet i Kalvig *et al.* (2014). De grønlandske uranforekomster er generelt meget lidt undersøgt, og der er derfor ikke tilstrækkelige informationer til at indplacere nogle af de andre grønlandske uranressourcer i de internationale ressourcekategorier.

**Tabel 6.** Oversigt over kendte uranmineraliseringer i Grønland. Baseret på Keulen *et al.* (2014).

Forekomststyper	Lokalitet	Værtsbjergart	Lødighed	Uranholdige mineraler	Andre økonomiske elementer	Licensstatus
Sandstone	Illorsuit	Årer i sandsten	gennemsnit 0,3 %; op til 7 %	uraninit		Samarium Group Corp.
Vein	Foldaelv, Gauss Halvø	Årer i granit	op til 600 ppm, men generelt meget lave	begblende	Pb, Zn, Au	ARC Mining
	Moskusokseland	Årer i rhyolit	Op til 1 %	begblende		ARC Mining
	Nord for Bredefjord	Årer og frakturer	>100 ppm			
	Puissattaq	Årer i dolorit	0,7 % (op til 6,3 %)	begblende		
	Nedre Arkosedal (Stauning Alper)	Årer i granit. Frakturer og forkastninger	gennemsnit 250 ppm (max. 2,3 %)	begblende	Zn, Cu, Sr	Avannaa Exploration
	Qingua	Årer i frakturer og forkastninger	op til 1.000 ppm	begblende		
	Vatnahverfi	Årer i frakturer og forkastninger		begblende, brannerit		
	Ulungarssuaq	Årer i frakturer og forkastninger	op til 3.000 ppm	begblende		
Intrusive	Kvanefjeld	Nephelin syenit	gennemsnit 273 ppm	steenstrupin	REE, Zn, Y	GME Ltd.
	Motzfeldt Centre	Nephelin syenit	100-500 ppm	pyrochlor, begblende, uraninit	REE, Nb, Ta	RAM Resources Ltd.



### 2.4.3 Samlet vurdering af verdens uranressourcer

NEA-IAEA (2010) og OECD (2012) har foretaget opgørelser over mængderne af de globale uranressourcer (Figur 9). OECD (2012) estimerer, at der i kategorien påviste ressourcer (RAR) er ca. 2 mio. ton U i de to lødigste grupper. Heraf findes langt hovedparten i Australien, Canada, Kasakhstan, Brasilien, Sydafrika og Kina. Hvis det antages, at forbruget stiger til ca. 100.000 ton U/år, vil denne mængde række til omkring 20 års forbrug. De skønnede uranressourcer (IR) udgør omkring 1 mio. ton U for de to lødigste grupper, hvilket med de samme antagelser for forbruget vil svare til omkring 10 års produktion. Hovedparten af forekomsterne for de to lødigste grupper af IR-ressourcerne findes i Australien, Kasakhstan, Canada, Sydafrika, Brasilien og Kina.

Samlet set må den sikkert påviste, økonomiske ressource betragtes som forholdsvis beskeden, idet identifikation og påvisning af nye ressourcer typisk tager 10-20 år. Det faktum, at ressourcen er forholdsvis lille, kan muligvis udløse prisstigninger; hvis dette er tilfældet kan nogle af de forekomster, som er sub- eller ikke-økonomiske i dag, blive opgraderet til økonomiske, hvilket vil øge ressourcebasen til omkring dobbelt størrelse. Omvendt vil et fald i uranpriserne kunne reducere de tilgængelige uranressourcer til omkring 5 års global drift for de sikkert påviste (RAR) og blot et par års drift for de skønnede ressourcer (IR). Mængderne af de prognostiske uranressourcer er store og giver et fingerpeg om, at uran som ressource ikke bliver en mangelvare i de første par hundrede år. Problemet bliver at finde ressourcer, hvor både de økonomiske, tekniske og politiske forhold kan tiltrække de nødvendige investeringer.

← Øget geologisk viden

		Identificerede og indikerede (RAR) (mio. ton U)	Skønnede (IR) (mio. ton U)	Prognostiske (mio. ton U)	Spekulative (mio. ton U)
Forbedrede økonomiske forhold ↑	Økonomisk USD 80/Kg U	2,014	1,064	1,702	Ikke rapporteret
	Økonomisk USD 80-130/Kg U	1,450	0,808	1,113	3,738
	Sub-økonomisk USD 130-260/Kg U	0,923	0,846	0,902	3,594

**Figur 9.** Oversigt over globale uranressourcer. Kilde for RAR og IR: OECD (2012); kilde for ikke-identificerede ressourcer: NEA-IAEA (2010).

## 2.5 Sammenfatning – uranressourcer

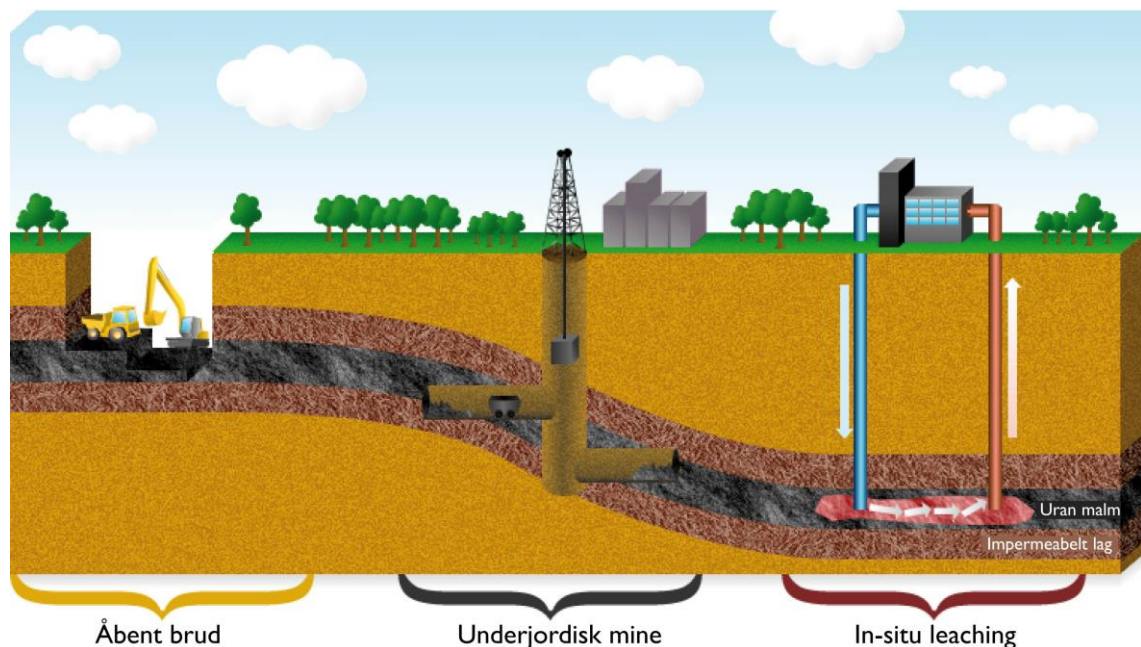
- Uran er et meget mobilt grundstof og findes i mange forskellige geologiske miljøer og i mange forskellige mineraler. Uranmalme er derfor meget forskellige med hensyn til uranindhold og -mængder, samlet omtalt som ressourcer. Uranindholdet i de malme, der brydes, varierer fra omkring 0,03 % og helt op til 20 %.
- Uranindustrien opgør ressourcerne i fire klasser i forhold til, hvor godt ressourcerne er påvist: De påviste (RAR), skønnede (IR), samt prognostiske og spekulative ressourcer. Desuden inddrages ressourcerne i forhold til lødighed udtrykt som omkostningskategori.
- Tre geologiske uranalmstyper indeholder langt de største mængder af de kendte ressourcer: sandstone, hematite breccia complex og unconformity-related.
- Opgørelsen for 2011 viste, at følgende 10 lande råder over ca. 89 % af de sikkert påviste (RAR) uranreserver: Australien, USA, Canada, Kasakhstan, Namibia, Niger, Rusland, Sydafrika, Brasilien, Ukraine, hvoraf Australien har langt de største reserver.
- I Grønland dominerer uranforekomsterne i og nær Kvanefjeld, men der er desuden lokaliseret et betydeligt antal mindre uranforekomster, især i Syd- og Østgrønland. Bortset fra Kvanefjeld er ingen af disse dog undersøgt tilstrækkeligt til, at de kan indplaceres i de internationale kategorier med mængdeangivelser.
- Opgørelser fra 2010 viser, at de sikkert påviste ressourcer udgør ca. 2 mio. ton U svarende til ca. 20 års forbrug, hvis forbruget antages at være 100.000 ton U/år og til ca. 10 års forbrug for de skønnede ressourcer. Denne tidshorisont er kort, set i lyset af den tid der typisk går til at bringe nye forekomster i produktion. Prisfald på uran kan reducere ressourcerne til ca. 5 år for de påviste ressourcer og et par år for de skønnede ressourcer. Tilsvarende kan prisstigninger øge de anvendelige forekomster ganske betydeligt.
- Mængderne af de prognostiske uranressourcer er store og giver et fingerpeg om, at uran som ressource ikke bliver en mangelvare i de første par hundrede år.

### 3 Uranproduktion

Uran til kommercielle formål, hvoraf kernekraft er langt det største marked, kommer fra forskellige kilder: (i) de primære geologiske uranforekomster, hvor uran almindeligvis er hovedproduktet; (ii) fra ukonventionelle ressourcer, hvor uran udvindes som biprodukt ved brydning af eksempelvis fosfat, sjældne jordartsmetaller og black shale sulfid-forekomster samt fra (iii) sekundære kilder, eksempelvis fra højt beriget uran, som forarbejdes til mindre beriget uran, genberigning af brændselsstave, MOX og processeret uran. De langsigtede forsyninger af uran/yellowcake til brændsel til kernekraftværker er dog helt afhængig af, at der er tilstrækkelige forekomster af de primære uranressourcer, hvilket igen er betinget af tilstrækkelig efterforskningsaktivitet til at påvise nye forekomster. I perioden 1960 til 2002 har der været et stigende globalt forbrug af uran, og i 1991 var det årlige forbrug større end den årlige uranproduktion; underskuddet er hidtil dækket af uran fra sekundære ressourcer og nationale lagre af yellowcake.

#### 3.1 Metoder til brydning og udludning af uran

Udvinding af uran fra den uranholdige malm foretages ved forskellige metoder, som varierer i forhold til malmlegemetets form, orientering, hvor dybt malmen ligger, malmens lødighed, hvilke uranmineraler malmen består af, samt hvilke bjergarter uranmineralerne sidder i. Selve minedriften kan foregå i åbent brud, underjordisk mine eller som in-situ leaching af ubrudt malm (Figur 10). Principperne i disse metoder beskrives kort nedenfor.



Kilde: HKNIC.com

**Figur 10.** Illustration af forskellige metoder anvendt til brydning og produktion af uran. Til venstre ses princippet i åbent brud, i midten underjordisk mine og til højre in-situ leaching. Kun undtagelsesvist vil mere end en metode blive anvendt på samme tid. Kilde: HKNIC.com.

### **3.1.1 Brydning i åbent brud (open pit)**

Denne produktionsform bruges, hvis uranmalmen ligger tæt på overfladen og har en betydelig 3-dimensionel udstrækning. Der er en grænse for, hvor dybt der kan brydes med denne metode, og desuden vil det være nødvendigt at bryde en del omgivende sten (gråbjerg), som ikke indeholder uran for at kunne bryde den malmholdige del. Metoderne ved brydning i åbent brud omfatter følgende trin, som udføres successivt, i takt med at minen udbygges: a) overjord og vegetation, som ligger ovenpå de uranholdige bjergarter, fjernes; b) bjergarten sprænges til store stykker, da de fleste bjergarter er hårde, gøres dette ved at bore huller, som fyldes med sprængstof; c) de sprængte bjergartsstykker, som indeholder uranmalm, lastes ud med meget store gravemaskiner og lastes på specielle trucks, som transporterer malmen til et knuseværk; d) på knuseværket findeles malmen til mineralbestanddele (typisk finsandsstørrelse) ved hjælp af en række forskellige knusere; dette materiale behandles videre (se afsnit 3.1.3). Brydning i åbent brud vil kunne forårsage støvgener.

### **3.1.2 Underjordisk mine (underground)**

Visse malme, som ligger dybt, eller som er meget smalle, brydes under jorden (underground mining). Ved brydning under jorden følger brydningen malmlegemet og kun malmlegemet brydes. Omkostningerne til investering og drift af denne metode er betydeligt større end omkostningerne for tilsvarende produktion fra åbent brud. Brydningstrinene er i princippet de samme som i et åbent brud, men udføres i minegange, som designes, så de sikrer, at man kan bryde så meget som muligt af malmen uden at gangene kollapser. Denne produktionsmetode skal tilrettelægges, så både støv og stråling minimeres for de arbejdere, der bryder malmen.

### **3.1.3 Koncentrering af de uranholdige mineraler**

Efter knusningen til finsandsstørrelse separeres de uranholdige mineraler fra de øvrige mineraler. Der findes et antal metoder hertil, som i princippet er de samme som ved brydning af andre metaller. Separationsmetoderne er baseret på, at mineraler har forskellige fysiske egenskaber og kan adskilles fra hinanden med magnetiske, gravitative og flotationsmetoder. Der indgår næsten altid vand i disse processer, og efter koncentreringen skal dette procesvand renses inden udledning. De uranholdige mineraler bliver efterfølgende opløst i syre eller base (afhængigt af mineralerne), og fra denne uranholdige væske fremstilles der yellowcake.

### **3.1.4 Tailings**

Når de uranholdige mineraler er separeret fra det knuste materiale, skal de resterende ikke-uranholdige mineraler, som almindeligvis er mere end 90 % af malmen, deponeres (tailings). Tailings består udover de værdiløse mineraler (som godt kan indeholde små mængder uran samt eventuelt thorium) af procesvand. Tailingsbassiner skal derfor konstrueres, så de tillader, at vandet kan afstrømme kontrolleret og renses inden udledning, og desuden

skal miljøet og mennesker sikres i forhold til de radioaktive restminerale. Efter afslutning på minedriften skal tailingsbassinet overdækkes og afstrømningsforhold etableres, så en langsigtet miljømæssig forsvarlig opbevaring sikres.

### 3.1.5 In-situ leaching

Malmtyper, som 1) ligger horisontalt, 2) er delvist permeable, 3) ikke ligger dybere end omkring 500 m og 4) består af uranminerale uraninit, begblende og/eller coffinit, kan være egnet til udludning under jorden, det vil sige at der ikke foregår egentlig brydning af malmen. Metoden kaldes in-situ leaching og er baseret på, at væske, som kan opløse (udlunde) uran fra de uranholdige minerale i bjergarten, pumpes ned i undergrunden, hvorefter den uranholdige væske pumpes op til et behandlingsanlæg, hvor uranen udfældes. Under in-situ leaching anvendes enten sure eller basiske opløsninger, afhængigt af hvilket mineral uran er bundet til. Produktionen tilrettelægges i et mønster af borehuller, og efter ca. 1-18 måneder er omkring 80 % af uranen udludet. I visse tilfælde kombineres produktion fra åbent brud eller underjordisk mine, ved at den brudte malm dynges op i store bunker og overhældes med udludningsvæske, hvorefter den uranholdige væske opsamles og behandles; denne metode kaldes heap leaching.

### 3.1.6 Anvendelse af produktionsmetoder

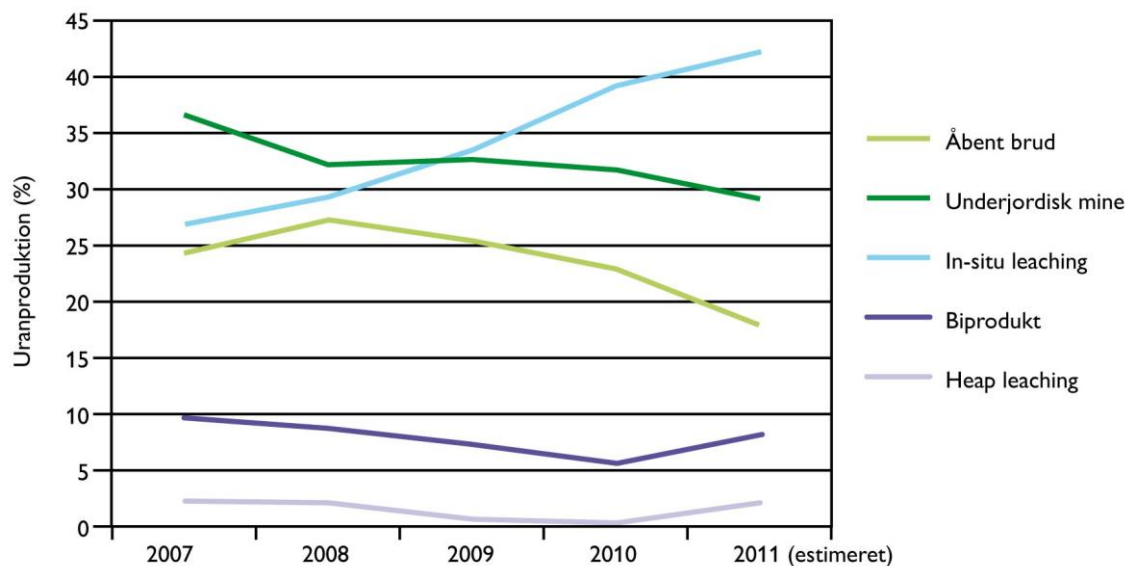
Produktioner fra åbent brud og underjordisk minedrift har tidligere domineret uranproduktionen med den underjordiske som den væsentligste. Underjordisk minedrift, som er den dyreste driftsform, anvendes kun på malme med høj lødighed. Efter udviklingen af in-situ leaching har denne produktionsform været stigende og blev i 2009 den mest betydningsfulde metode. Metoden er bedst egnet til produktion af uran fra sandstone-forekomster og bruges derfor især i uranproduktioner i Kasakhstan og USA, som har store forekomster af denne type.

Det forventes, at andelen af uran fra biproduktioner/co-produktioner vil vokse som følge af den øgede brydning af flermetalforekomster som Olympic Dam og fra planlagte brydninger af malme med sjældne jordartsmetaller, i hvilke uran er biprodukt. Fordelingen af, hvilke produktionsmetoder, der har produceret mest i perioden 2007 til 2011, er vist i Figur 11.

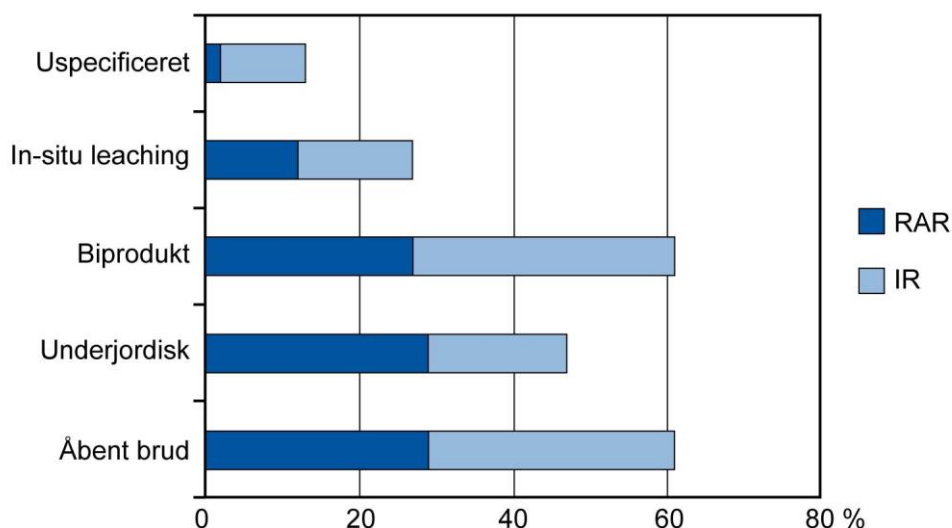
For de påviste uranreserver (RAR) udgør den mængde, som skønnes egnet til produktion i enten åbent eller underjordisk brud til hver ca. 30 %, og den mængde, som kan være egnet til produktion ved in-situ leaching, udgør ca. 12 %; den resterende mængde kan enten blive produceret som biprodukter eller ved heap leaching; Det betyder, at in-situ leaching metoden på sigt må forventes at spille en mindre rolle, end den gør i dag (Figur 12; Tabel 7). For de skønnede ressourcer (IR) er det sandsynligt, at 32 % af produktionen kan foretages i åbent brud, 18 % i underjordiske miner og 15 % ved in-situ leaching. For 11 % af de skønnede ressourcer er der ikke angivet forventet produktionsform (Tabel 8).

I malmkategorien <USD 40/kg U dominerer underjordiske miner, hvilket især skyldes produktion fra store, højlødige forekomster i Canada. Namibia og Niger har de største uranforekomster, som er egnet til produktion i åbent brud. Ressourcebidraget af uran fra bipro-

duktionen er størst i malmkategorien USD 40-80/kg U, hvilket især skyldes de meget store ressourcer fra Olympic Dam, Australien. De mest sandsynlige produktionsformer for de skønnede ressourcer (IR) afviger ikke væsentligt fra de påviste ressourcer (RAR) (Tabel 7 og 8).



**Figur 11.** Uranproduktionen (%) i perioden 2007 til 2011 fordelt på forskellige produktionstyper. In-situ leaching forventes i fremtiden at blive afløst af andre produktionsformer (se Tabel 7 og 8). Kilde: OECD (2012).



**Figur 12.** Forventede produktionsmetoder fordelt på de påviste (RAR) og de skønnede ressourcer (IR) viser, at såfremt disse forekomster kommer i produktion vil hovedparten af fremtidig uranproduktion vil blive baseret på åbent brud og underjordisk minedrift. Kilde: OECD (2012).

**Tabel 7.** Tonnagefordeling for de mest sandsynlige produktionsmetoder for uran for gruppen af påviste ressourcer (RAR). Kilde: OECD (2012).

Produktionsform	<USD 40/kg U	USD 40-80/kg U	USD 80-130/kg U	USD 130-260/kg U	Total	% af total
Åbent brud	28.600	71.000	769.100	417.300	1.286.000	29
Underjordisk mine	313.800	115.100	446.900	396.200	1.272.000	29
Biproduktion	71.100	1.031.200	48.400	48.200	1.198.900	27
In-situ leaching	80.400	302.600	144.200	10.500	537.700	12
Uspecificeret	0	0	33.100	51.000	84.100	2
<b>TOTAL</b>	<b>493.900</b>	<b>1.520.900</b>	<b>1.440.700</b>	<b>923.200</b>	<b>4.378.700</b>	<b>100</b>

**Tabel 8.** Tonnagefordeling for de mest sandsynlige produktionsmetoder for uran for gruppen af skønnede ressourcer (IR). Kilde: OECD (2012).

Produktionsform	<USD 40/kg U	USD 40-80/kg U	USD 80-130/kg U	USD 130-260/kg U	Total	% af total
Åbent brud	120.500	60.300	425.600	267.300	873.700	32
Underjordisk mine	13.300	11.300	170.300	302.000	496.900	18
Biproduktion	-	503.500	92.200	52.300	648.000	24
In-situ leaching	53.100	261.800	73.100	7.000	395.000	15
Uspecificeret	-	40.000	46.700	217.600	304.300	11
<b>TOTAL</b>	<b>186.900</b>	<b>876.900</b>	<b>807.900</b>	<b>846.200</b>	<b>2.717.900</b>	<b>100</b>

### 3.2 Uranproducerende lande

I 2010 blev der produceret 54.670 ton uran i 22 lande, hvoraf 10 lande stod for 98 % af uranproduktionen: Kasakhstan, Canada, Australien, Niger, Namibia, Rusland, Usbekistan, USA, Kina og Ukraine (nævnt i faldende orden). Siden 2009 har Kasakhstan været den største producent af uran efterfulgt af Canada, Australien, Niger og Namibia. I en række lande, herunder Tyskland, Bulgarien, Frankrig og Ungarn, produceres der hvert år ganske lidt uran som led i en oprensning af minevand fra tidligere minedrift (Tabel 9) (OECD, 2012).

Det fremgår desuden af Tabel 9, at produktion af uran er ophørt eller er ubetydelig i en række lande, som tidligere har haft ret betydelige produktioner. Det gælder eksempelvis Tyskland, Bulgarien, Tjekkiet og Frankrig, og det ses at produktionen i eksempelvis Sydafrika er reduceret væsentligt. Namibia, som er et af de største produktionslande, har reduceret produktionen på grund af tekniske problemer med udbygning af Rössing-minen.

Omkring to tredjedel af verdens uranproduktion blev i 2010 produceret fra 15 miner beliggende i seks lande (Canada, Australien, Niger, Kasakhstan, Namibia, Rusland) (Tabel 10).

**Tabel 9.** Uranproduktion (ton U) fordelt på lande for perioden før 2008 og fra 2008 til 2011. Tabellen er sorteret efter højeste forventede produktion i 2011. Kilde: OECD (2012).

Land	Før 2008	2008	2009	2010	Totalt til 2010	2011 (forventet)
Kasakhstan	118.388	8.512	14.020	17.803	158.723	19.968
Canada	417.670	9.000	10.174	9.775	446.619	8.600
Australien	147.996	8.433	7.934	5.918	170.281	7.300
Niger	103.911	2.993	3.245	4.197	114.346	4.264
Namibia	91.098	4.365	4.626	4.503	104.592	3.781
Rusland Fed.	136.214	3.521	3.565	3.562	146.862	3.364
Usbekistan	110.077	2.283	2.657	2.874	117.891	3.350
USA	362.148	1.492	1.594	1.630	366.864	1.555
Kina	30.629	770	1.200	1.350	33.949	1.500
Ukraine	123.557	830	815	837	126.039	875
Malawi	-	-	90	681	771	850
Sydafrika	155.679	566	563	582	157.390	615
Indien	8.903	250	290	400	9.843	400
Brasilien	2.509	330	347	148	3.334	360
Tjekkiet	110.152	275	258	254	110.939	226
Rumænien	18.339	80	80	80	18.579	80
Tyskland	219.517	-	-	8	219.525	80
Pakistan	1.119	45	50	45	1.259	45
Iran	11	6	8	7	32	9
Frankrig	75.980	5	8	9	76.002	5
Ungarn	21.051	1	1	6	21.059	2
Bulgarien	16.361	1	1	1	16.364	1
Rusland	102.886	-	-	-	102.886	-
Congo DRC	25.600	-	-	-	25.600	-
Gabon	25.403	-	-	-	25.403	-
Spanien	5.028	-	-	-	5.028	-
Portugal	3.720	-	-	-	3.720	-
Argentina	2.582	-	-	-	2.582	-
Belgien	686	-	-	-	686	-
Madagaskar	785	-	-	-	785	-
Polen	650	-	-	-	650	-
Mongoliet	535	-	-	-	535	-
Slovenien	382	-	-	-	382	-
Slovakiet	211	-	-	-	211	-
Sverige	200	-	-	-	200	-
Zambia	86	-	-	-	86	-
Japan	84	-	-	-	84	-
Mexico	49	-	-	-	49	-
Finland	30	-	-	-	30	-
<b>TOTAL</b>	<b>2.440.226</b>	<b>43.758</b>	<b>51.526</b>	<b>54.670</b>	<b>2.590.180</b>	<b>57.230</b>



**Tabel 10.** Oversigt over de mest betydende uranminer med angivelse af produktionstype og –mængde pr. år (2010). Kilde: World Uranium Mining Production (2011). ISL: in-situ leaching.

Mine	Land	Majoritetsejer	Type	Produktion (ton U)	% af global produktion
McArthur River	Canada	Cameco	Underjordisk	7.520	13
Olympic Dam	Australien	BHP Billiton	Biprodukt/ underjordisk	3.386	6
Ranger	Australien	ERA (Rio Tinto 68 %)	Åbent brud	3.146	5
Arlit	Niger	Somair/ Areva	Åbent brud	3.065	5
Tortkuduk (est)	Kasakhstan	Katco JV/ Areva	ISL	2.661	5
Rössing	Namibia	Rio Tinto (69 %)	Åbent brud	2.289	4
Budenovskoye 2	Kasakhstan	Karatau JV/KazAtomProm- Uranium One	ISL	2.135	4
Kraznokamensk	Rusland	ARMZ	Underjordisk	2.011	3
Langer Heinrich	Namibia	Paladin	Åbent brud	1.955	3
South Inkai	Kasakhstan	Betpak Dala JV/ Urani- um One	ISL	1.870	3
Inkai	Kasakhstan	Inkai JV/Cameco	ISL	1.701	3
Central Mynkuduk	Kasakhstan	Ken Dala JV/ KazAtom- Prom	ISL	1.622	3
Akouta	Niger	Cominak/ Areva	Underjordisk	1.506	3
Rabbit Lake	Canada	Cameco	Underjordisk	1.479	3
Budenovskoye 1 & 3	Kasakhstan	Akbastau JV/ KazAtom- Prom-Uranium One	ISL	1.203	2
<b>Top 15 total</b>				<b>37.549</b>	<b>64</b>

**Canada og USA.** Den canadiske produktion kommer overvejende fra McArthur River-minen, Saskatchewan, som er verdens største, højlydige, underjordiske mine. Malmen herfra pumpes til det nærliggende processeringsanlæg ved Key Lake, der også modtager malm fra Eagle Point-minen. Desuden produceres der uran fra den underjordiske mine Rabbit Lake og Cigar Lake forventes sat i gang i 2014. Malmen herfra skal processeres i McClean Lake-anlægget, Saskatchewan (Tabel 11). I USA er produktionen baseret på fire miner, som benytter fælles processeringsanlæg (White Mesa), samt på fem in-situ leaching-produktioner.

**Kasakhstan.** I Kasakhstan blev der i 2010 overvejende produceret uran fra følgende in-situ leaching-produktionssteder: Kanzhugan, Moinkum, Akdala, Uvanas, Mynkuduk, Inkai, Budenovskoye, North Karmurun, South Karmurun, Irkol, Zarechnoye, Semizbai, North Charasan, Vostok, samt fra de to underjordiske miner Tortkuduk og Zvezdnoye (jf. Tabel 11). De to sidstnævnte bidrager kun med få procent til Kasakhstans samlede produktion. Omkring 54 % af produktionen er ejet af statskontrollerede selskaber. Kasakhstan forventer at udbygge produktionen i de kommende år.

**Australien.** Produktionen har været faldende i perioden 2008-2010 bl.a. som følge af 1) forsinkelse af udbygningen af Olympic Dam (underjordisk), 2) at produktionen ved Beverley er neddroset, 3) produktionsnedbrud af Ranger (åbent brud) samt 4) forsinkelsen af igangsætningen af Four Mile in-situ leaching-produktionen. Australien forventer at kunne nå en kapacitet på ca. 16.000 ton U/år, når disse forhold er på plads.

**Rusland og Ukraine.** Produktionen i Rusland er overvejende baseret på forekomsterne Krasnokamensk (underjordisk), Antei, Streltsovskoye, Oktyabrskoe (alle underjordiske og heap leaching) ved Priargunsky; Dalmatovskoye og Chkalovskoe (in-situ leaching) ved Dakur, Khiagda og Vershinnoe (in-situ leaching) ved Khiagda; Yuzhnoe og Sevemoe (underjordiske) ved Elkon; Gomoe og Beryozovoe (underjordisk/in-situ leaching og heap leaching) ved Gomoe og Olovskoe (underjordisk og heap leaching). Uranproduktionen i Ukraine foregår ved forekomsterne Michurinskoye (underjordisk) ved Kirovograd og Vatutinskoye (underjordisk) ved Smolino; der planlægges produktion fra forekomsten Novokonstantinovskoye (underjordisk) ved Kirovograd.

**Afrika.** De største producentlande er Namibia, Niger og Sydafrika. Desuden blev der i 2008 etableret uranproduktion fra Kayelekera-minen i Malawi, som dog er sat på standby primo 2014 på grund af lave uranpriser. Som følge af udbygning af produktionerne i både Namibia og Niger og af en række projekter i Botswana, Tanzania, Zambia og Sydafrika forventes stigende produktion i Afrika de kommende år.

**Mellemøsten.** Iran forventer, at produktionerne ved både Gachin-minen og processeringsanlægget Saghand snart kommer i gang. Jordan forventes ikke at iværksætte uranproduktion i de nærmeste år.

**Asien.** Hverken Indien eller Pakistan indrapporterer produktionstal for uran, men IAEA skønnede den samlede produktion for disse lande til ca. 450 ton U i 2010 (OECD, 2012). Kina, den eneste uranproducent i Østasien, producerede ca. 1.500 ton U i 2011 fra seks produktionscentre; Fuzhou i Fujian, Chongyi og Lantian i Shaanxi, Benxi i Liaoning, Shaoguan i Guangdong, som alle er underjordiske miner, og fra in-situ leaching produktionen Yining i Xinjiang. Hele den kinesiske uranindustri er statsejet.

**EU.** Den samlede uranproduktion i EU i 2010 var 358 ton U fra produktion i Tjekkiet og Rumænien samt lidt uran fra oprensning af minevand i Bulgarien, Frankrig, Tyskland og Ungarn. Finland forventer at igangsætte uranproduktion fra Talvivaara nikkel-zink-kobberkobolt-uran-minen, hvorfra der forventes produceret ca. 350 ton U/år.

**Tabel 11.** Oversigt over den globale uranproduktion fordelt på lande, miner og ejere (2011); baseret på diverse internetkilder – ikke komplet. Der er anvendt følgende forkortelser: OP: åbent brud; UG: underjordisk mine; ISL: in-situ leaching, HL: heap leaching.

	Aktive miner i 2011	
	Minenavn/lokaltetsnavn	Hovedaktionær
Australien	Ranger (OP)	Energy Resources
	Olympic Dam (UG)	BHP Billiton
	Beverley	Heathgate Resources
	Honeymoon	JSC Atomenergoprom/Uranium One
Brasilien	Cachoeira (OP)	Industrias Nucleares do Brasil SA
	Pitinga	
Canada	Rabbit Lake (UG)	Cameco Corporation
	McArthur River/Key Lake (UG)	Cameco Corporation
	McClellan Lake (OP/UG)	Areva
	Rabbit Lake/Eagle Point (UG)	Cameco Corporation
	Cigar Lake (UG)	Cameco Corporation
Finland	Kuusilampi (OP)	Talvivaara Mining Co.
	Kolmisoppi	Talvivaara Mining Co.

	Aktive miner i 2011	
	Minenavn/lokalitetsnavn	Hovedaktionær
<b>Indien</b>	Jaduguda(UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Bhatin (UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Narwapahar (UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Turamdih (UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Banduhuran (OP)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Baghjanta (UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
	Mohuldih (UG)	Uranium Corporation of India Ltd.
<b>Iran</b>	Gachin mine/Bandar Abbas (OP)	
	Saghand mines (UG)	
<b>Kasakhstan</b>	Stepnogorsk (UG)	
	Zhalpak	CNNC
	Semyzbai (ISL)	CGNPC/CNEIC
	Appak (ISL)	Sumitomo; Kansai
	South Inkai (ISL)	Uranium One/Cameco
	Karatau (ISL)	Uranium One
	Akbastau (ISL)	Uranium One
	Mining Gr #6 (ISL)	
	Kyzylkum (ISL)	
	Baiken (ISL)	KazAtomProm
	NAC KazAtomProm (ISL)	
	Betpak Dala (ISL)	Uranium One
	Stepnoye (ISL)	
	Tortkuduk (UG)	
	Southern Moinkum	
	Akdala (ISL)	Uranium One (JV Betpak Dall LLP)
	Budyonovskoye (ISL)	Karatau LLP
	Kharasan	Uranium One
	Zarechnoye (ISL)	Uranium One
	Kanzhugan (ISL)	Mining Company LLP
	Moinkum (ISL)	NAC KazAtomProm JSC
	Uvanas (ISL)	Mining Company LLP
	Mynkuduk (ISL)	NAC KazAtomProm JSC
	North Karamurun (ISL)	Mining Company LLP
	South Karamurun (ISL)	
	Irkol (ISL)	Semyzbai-U LLP
	North Charasan (ISL)	
Vostok (ISL)	Stepnogorskiy Mining & Chemical Complex LLP	
Zvezdnoye (UG)	Stepnogorskiy Mining & Chemical Complex LLP	
<b>Kina</b>	Shaoguan (UG/HL)	China National Nuclear Corp.
	Chongyi, Shaanxi Pr. (UG/HL)	China National Nuclear Corp.
	Fuzhou, Fujian Pr. (UG)	China National Nuclear Corp.
	Lantian, Shaanxi Pr. (UG/HL)	China National Nuclear Corp.
	Benxi, Liaoning Pr. (UG/HL)	China National Nuclear Corp.
	Yining (ISL), Zinjuang Aut. Reg. (ISL)	China National Nuclear Corp.
	Chenxian, Hunan Pr.	China National Nuclear Corp.
	Tengchong (ISL), Yunnan Pr.	China National Nuclear Corp.
Quinglong field, Lianoning Pr.	China National Nuclear Corp.	
<b>Malawi</b>	Keyelekera (OP) (lukket)	Paladin
<b>Namibia</b>	Rössing (OP)	Rio Tinto
	Langer Heinrich (OP)	Paladin Energy Ltd.
	Trekkopje (OP) (på stand-by)	Areva
<b>Niger</b>	Arlit (OP/HL)	Areva; Sopamin
	Akouta (UG)	Areva; Sopamin; OURD; ENUSA
	Azelik (OP/UG)	China National Nuclear Corporation (CNNC)
<b>Rusland</b>	JSC Dalur (ISL)	ARMZ (JSC AtomRedMetZoloto)
	Priargunsky (UG/HL)	ARMZ (JSC AtomRedMetZoloto)
	Khiagda (ISL)	ARMZ (JSC AtomRedMetZoloto)

	Aktive miner i 2011	
	Minenavn/lokalitetsnavn	Hovedaktionær
	Dalmatovskoye (ISL)	Atomenergoprom
	Luchistoye	
	Martovskoye	
	Novogodneye	
	Oktyabrskoe (UG/ISL)	
	Streltsovskoye (UG/ISL)	
	Yubileinoye	
	Zherlovoye	
	Sydafrika	Ezulwini (UG)
Wits Basin (UG)		Anglo Gold Ashanti
Hartebeestfontein (tailings proc.)		First Uranium
Dominion Reefs (UG)		Shiva Uranium
Great Nolingwa		
Kopanang		
President Steyn		
Tjekkiet	Straz pod Ralskem (ISL) (lukket?)	Diamo
	Rozna (UG) (lukket?)	
Ukraine	Centralnoe (UG)	
	Michurinskoye (UG)	
	Vatutinskoye (UG)	
Ungarn	Keyelekera (OP)	
USA	Pandora	Union Carbide
	Bingham Canyon	
	Willow Crees Mine (ISL)	Uranium One
	Smith Ranch Highland (ISL)	Power Resources Inc.
	Crow Butte (ISL)	Cameco Resources
	La Palangana (ISL)	South Texas Mining Ventures
	Hobson (ISL)	Uranium Energy Corp.
	Alta Mesa (ISL)	Mesteña Uranium LLC
	Church Rock (ISL)	
	Crowpoint (ISL)	
	Ingaray Ranch (ISL)	
	Christensen Ranch (ISL)	
	Usbekistan	Aulbek
Alendy		
Sugrally		
Severny Kanimekh		
Kanimekh		
Tutly		
Agron		
Uchkuduk mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Kendyktjube mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
North Bukinay mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
South Bukinay mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Lyuavlyakan mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Beshkak mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Tokhumbet mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Sabyrsay mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Ketmenchi mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Shark mine (ISL)		Navoi Mining and Milling Combine
Navoi mill (ISL)	Navoi Mining and Milling Combine	

Kvanefjeld-projektet i Grønland forventes at kunne producere mellem 500-1.000 ton U/år (GME, offentligt møde, februar 2013), hvilket svarer til mindre end 2 % til den globale, årlige uranproduktion.

### 3.3 Produktionskapaciteter

Hall & Coleman (2012) anfører, at den globale uranproduktionskapacitet er opgjort til ca. 76.000 ton U/år, men at kapaciteten ikke er blevet udnyttet fuldt ud, idet der i 2010 kun blev produceret 53.633 ton U. OECD (2012) angiver den globale produktion i 2011 til 54.670 ton U, hvilket svarer til ca. 70 % af den samlede produktionskapacitet. OECD (2012) anfører, at produktionen aldrig har oversteget 89 % af kapaciteten, hvilket de bl.a. tilskriver tekniske nedbrud og markedsforhold. Tabel 12 viser en landebaseret fremskrivning af de produktionsstørrelser, som selskaberne har kontrakter på (A-II) samt de prognostiske produktionsmængder (B-II). Det ses af tabellen, at de eksisterende producentlande forventer at øge produktionen til 95.000-134.000 ton U/år i 2020, hvorefter niveauet forventes at falde til 65.000-110.000 ton U/år i 2035; i disse estimater indgår ikke produktion fra nye producentlande. Det fremgår desuden af Tabel 12, at der forventes en betydelig forskydning i rangfordelingen mellem de betydeligste produktionslande i år 2035, idet Kasakhstan vil rykke betydeligt ned, og Ukraine og Usbekistan vil rangere blandt de fem største producentlande.

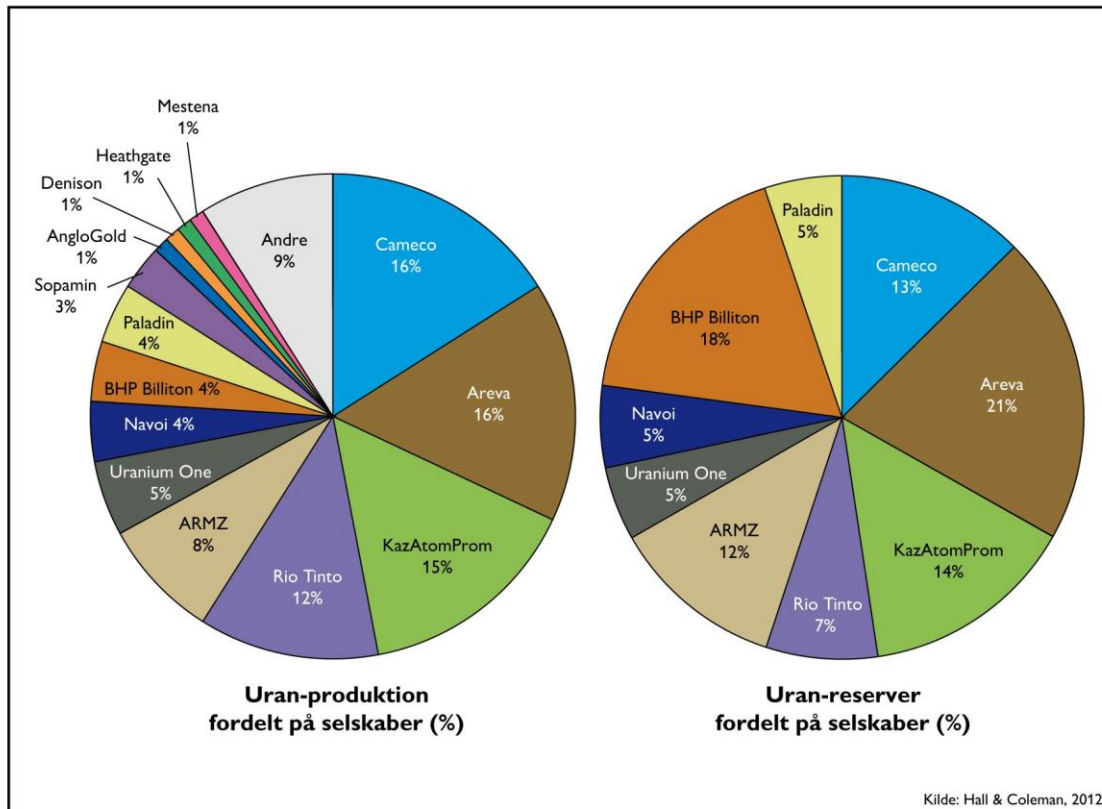
**Tabel 12.** Den forventede globale uranproduktionskapacitet (ton U) frem til 2035 fordelt på de eksisterende produktionslande. A: Eksisterende og forpligtede produktioner i forhold til kontrakter; B: Eksisterende, forpligtede, planlagte og antagede produktionsmængder. Kilde: OECD (2012).

Land	2015		2020		2025		2030		2035	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Canada	17.730	17.730	17.730	19.000	17.730	19.000	17.730	19.000	17.730	19.000
Australien	10.100	16.600	10.100	24.200	10.100	27.900	9.800	27.600	9.800	27.600
Rusland	4.480	4.790	5.840	6.610	6.410	7.270	2.620	11.240	5.450	10.450
Ukraine	2.700	2.700	2.700	2.700	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200
Usbekistan	4.150	4.150	4.500	4.500	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Kasakhstan	24.000	25.000	24.000	25.000	14.000	15.000	12.000	13.000	5.000	6.000
Niger	5.500	10.500	5.500	10.500	5.500	10.500	2.500	7.500	2.500	7.500
USA	3.400	6.100	3.800	6.600	3.700	6.500	3.100	5.600	3.100	5.600
Brasilien	1.600	1.600	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Jordan	-	-	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Kina	1.800	2.000	1.800	2.000	1.800	2.000	1.800	2.000	1.800	2.000
Namibia	7.600	13.400	9.450	19.250	5.450	15.250	1.600	11.400	1.600	10.050
Sydafrika	1.588	2.360	2.686	3.460	2.795	3.565	1.386	2.155	1.381	2.150
Indien	980	980	980	1.200	1.000	1.600	1.000	2.000	1.000	2.000
Argentina	150	150	150	250	500	500	500	500	500	500
Rumænien	230	230	350	475	350	475	350	630	350	630
Mongoliet	-	500	150	1.000	150	1.000	150	1.000	150	1.000
Pakistan	70	110	140	150	140	140	140	650	140	650
Iran	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
Tjekkiet	50	50	50	50	50	50	50	50	30	30
Finland	-	350	-	350	-	350	-	350	-	350
Malawi	1.270	1.270	1.425	2.525	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>87.488</b>	<b>110.660</b>	<b>95.451</b>	<b>133.920</b>	<b>83.975</b>	<b>125.400</b>	<b>69.026</b>	<b>118.975</b>	<b>64.831</b>	<b>109.810</b>

Det er IAEA's opfattelse (Woods, 2012), at der er knyttet en række risici til produktionen af uran, som kan gøre det vanskeligt at producere tilstrækkeligt til at kunne imødekomme fremtidige behov. Dette skyldes primært: (i) at der er omfattende lovmæssige forhold i tilknytning til nye uranproduktioner, hvilket kan gøre opstarten af uranminer særligt tidskrævende, (ii) at produktionsomkostningerne er steget, mens priserne har været faldende, og (iii) at forsyningskæden anses for sårbar, da en del af de vigtige produktionsanlæg er gamle og under udfasning.

### 3.4 Den uranproducerende industri

Der er omkring 25 uranproducerende mineselskaber i verden, hvoraf otte aktieselskaber i 2010 stod for ca. 80 % af den globale uranproduktion (Figur 13) og fire selskaber (Cameco, Areva, KazAtomProm og Rio Tinto) stod for mere end halvdelen af den globale produktion (60 %). Det ses af Tabel 13, at der i 2013 er sket mindre forskydninger mellem disse selskaber; tabellen viser de vigtigste aktiviteter for de otte mest betydende mineselskaber. Den indbyrdes fordeling for 2010-produktionen mellem de 14 største selskaber er vist i Figur 13.



**Figur 13.** Den globale uranproduktion (2010) fordelt på de største selskaber (venstre) samt de ni største selskabers indbyrdes fordeling af uranreserverne (højre), begge i %. Kilde: Hall & Coleman (2012).

Ux Consulting Company LLC (2010) estimerer, at der i 2020 vil være sket en forskydning mellem de største produktionsselskabers andele med Areva (ca. 20 %) som det største efterfulgt af Cameco (13 %), KazAtomProm (12 %), Rio Tinto (10 %) samt ARMZ og BHP Billiton begge på 5 %. Som det ses af Figur 13, havde Areva i 2010 den største påviste ressourcebase (RAR) efterfulgt af BHP Billiton, KazAtomProm og Cameco, hvilket på sigt kan føre til ændringer i selskabernes dominans på produktionsområdet.

De nationale tilhørsforhold for uranindustrien er i lighed med mineindustrien i øvrigt vanskelig at gennemskue. Eksempelvis er det russiske selskab JSC AtomRedMetZoloto det kontrollerende selskab i Uranium One, som er et uranproducerende aktieselskab, der er listet på den canadiske børs; gennem Uranium One er JSC AtomRedMetZoloto involveret i selskaber i USA (i Wyoming, Arizona og Utah) samt i Kasakhstan (Zarechnoye, Akbastau,

Karatau, Betpak Dal og Kyzylkum) og efterforskningsprojekter i Namibia, Mongoliet og Armenien (JSC AtomRedMetZoloto, 2011).

**Tabel 13.** Oversigt over de otte største uranmineselskaber med angivelse af, hvilke miner der er i produktion (overvejende baseret på World Nuclear Association – World Uranium Mining Production, July 2013, samt diverse web-sites). Listen over producerende miner er ikke komplet; der er mindre uoverensstemmelser med Figur 13.

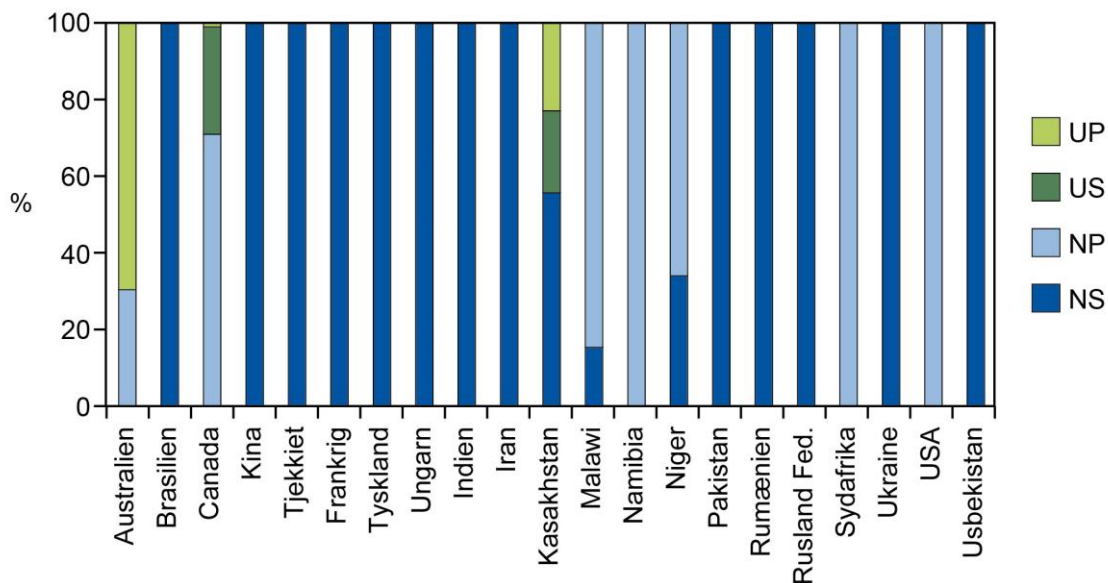
Selskab	ton U	%	Uranminer	Hjemmeside
<b>KazAtomProm</b>	8.863	15	Budenovskoye, Kasakhstan Central Mynkuduk, Kasakhstan Budenovskoye, Kasakhstan	Statsselskab. Ejet af Kasakhstan. <a href="http://www.kazatomprom.kz/en">www.kazatomprom.kz/en</a>
<b>Areva</b>	8.641	15	McClellan Lake, Canada McArthur, Canada Cirgar Lake, Canada Bakouma, Central Afrikanske Republik Trekopje, Namibia Arlit, Niger Akouta, Niger Tortkuduk, Kasakhstan	Aktieselskab. Hjemmehørende i Frankrig. <a href="http://www.areva.com">www.areva.com</a>
<b>Cameco</b>	8.437	14	McArthur River, Canada Key Lake, Canada Rabbit lake, Canada Cigar lake, Canada Crow Butte, Canada Smith Ranch Highland, Canada Inkai, Kasakhstan	Aktieselskab. Hjemmehørende i Canada. <a href="http://www.cameco.com">www.cameco.com</a>
<b>ARMZ - Uranium One</b>	7.629	13	Uranium One Inc. (USA – 3 miner) Uranium One Inc. (Canada – 1 mine) Honeymoon, Australien Dalur, Rusland Khiagda, Rusland Priargunsky, Rusland	Statsselskab. AtomRedMetZoloto; hjemmehørende i Rusland, ejet af Atomenergoprom, som er datterselskab af Rosatom, der er stasejet. <a href="http://www.armz.ru">www.armz.ru</a>
<b>Rio Tinto</b>	5.435	9	Rössing Mine, Namibia Ranger, Australien	Aktieselskab. Hjemmehørende i Australien. <a href="http://www.riotinto.com">www.riotinto.com</a>
<b>BHP Billiton</b>	3.386	6	Olympic Dam, Australien	Aktieselskab. Hjemmehørende i Australien. <a href="http://www.bhpbilliton.com">www.bhpbilliton.com</a>
<b>Paladin</b>	3.056	5	Langer Heinrich Mine, Namibia Kayelekera Mine, Malawi (midlertidigt lukket per januar 2014).	Aktieselskab. Hjemmehørende i Australien. <a href="http://www.paladinenergy.com.au">www.paladinenergy.com.au</a>
<b>Navoi Mining &amp; Metallurgy Combinat (NMMC)</b>	2.400	4	Kendyktube, Usbekistan Lyavlyakan, Usbekistan Sugrally, Usbekistan Takhumbet, Usbekistan Kanimekh, Usbekistan Alendy, Usbekistan Meylisay, Usbekistan	Statsselskab. Hjemmehørende i Usbekistan. <a href="http://www.ngmk.uz/en">www.ngmk.uz/en</a>
<b>Andre</b>	10.548	18		
<b>TOTAL</b>	<b>58.394</b>	<b>100</b>		

**Tabel 14.** Produktionen af uran i ton fordelt på de respektive landes aktieselskaber og statsejede selskaber. Kilde: OECD (2012).

Land	Nationale mineselskaber		Ikke-nationale mineselskaber		Sub-Total	Sub-Total	TOTAL
	Statslige	Aktieselskab	Statslige	Aktieselskab	Statslige	Aktieselskab	
Australien	-	1.787	-	4.131	-	5.918	5.918
Brasilien	148	-	-	-	48	-	148
Bulgarien	1	-	-	-	1	-	1
Canada	-	6.955	2.771	49	2.771	7.004	9.774
Kina	1.350	-	-	-	1.350	-	1.350
Tjekkiet	254	-	-	-	254	-	254
Frankrig	9	-	-	-	9	-	9
Tyskland	8	-	-	-	8	-	8
Ungarn	6	-	-	-	6	-	6
Indien	400	-	-	-	400	-	400
Iran	7	-	-	-	7	-	7
Kasakhstan	9.959	-	3.785	4.059	13.744	4.059	17.803
Malawi	102	579	-	-	102	579	681
Namibia	135	4.368	-	-	135	4.368	4.503
Niger	1.427	-	2.770	-	4.197	-	4.197
Pakistan	45	-	-	-	45	-	45
Rumænien	80	-	-	-	80	-	80
Rusland Fed.	3.562	-	-	-	3.562	-	3.562
Sydafrika	-	582	-	-	0	582	582
Ukraine	837	-	-	-	837	-	837
USA	-	1.630	-	-	0	1.630	1.630
Usbekistan	2.874	-	-	-	2.874	-	2.874
<b>TOTAL</b>	<b>21.204</b>	<b>15.901</b>	<b>9.326</b>	<b>8.239</b>	<b>30.530</b>	<b>24.140</b>	<b>54.670</b>

I 2010 kontrollerede nationale mineselskaber ca. 68 % af den globale uranproduktion (Tabel 14). Det er til tider uklart, i hvilket omfang der er tale om datterselskaber af udenlandske selskaber, som er registreret i produktionslandet. Canada, Australien og Kasakhstan er de eneste lande, hvor udenlandske selskaber udvinder uran. Generelt er der i disse lande sket en betydelig stigning i den udenlandsk kontrollerede andel af uranproduktionen; fra ca. 10 % i 2008 til ca. 17 % i 2010. Denne ændring kan særligt tilskrives Kina, Frankrig og Ruslands engagement i Kasakhstan, samt Kina, Frankrig og Sydkoreas engagement i Niger. I de øvrige lande produceres uran enten af egne statsejede selskaber eller selskaber, som er registreret som hjemmehørende i det pågældende land. Det er i øvrigt karakteristisk, at uranproduktionen i de store producentlande (Australien, Canada, Kasakhstan, Namibia, Niger og USA) i betydelig grad forestås af aktieselskaber; undtaget fra denne regel er Rusland, Kina og Usbekistan (Figur 14).





**Figur 14.** Produktionen af uran foretages af både aktieselskaber og af statsjede selskaber; en del af både aktieselskaberne og de statslige selskaber arbejder internationalt. Figuren viser den procentvise fordeling af uranproduktionen i de største producentlande fordelt på nationale statselskaber (NS), aktieselskaber som arbejder nationalt (NP), statselskaber der arbejder internationalt (US) og aktieselskaber som arbejder internationalt (UP) (baseret på Tabel 14).

### 3.5 Beskæftigelse i uranindustrien

Det fremgår af OECD (2012), at den globale uranindustri i 2010 beskæftigede omkring 44.500 personer, som fremstillede 54.000 ton U (Tabel 15), hvoraf Usbekistan, Kina, Kasakhstan og Rusland alene beskæftiger ca. 60 % af uranindustriens ansatte. Samlet stod de for ca. 47 % af uranproduktionen i 2010. Der er store nationale forskelle i antallet af beskæftigede i forhold til produktionen, som varierer fra 0,2 til 7,5 ton U per beskæftiget medarbejder. Årsagerne hertil kan dels være et udtryk for, at nogle lande kun angiver yellowcake-produktion, mens andre lande medtager beskæftigelsen i en større del af værdikæden. Det kan også være udtryk for, at uran eventuelt ikke er det eneste produkt, minen producerer; eksempelvis er uran flere steder biprodukt til guld (Sydafrika) og kobber (Australien), ligesom brydningstype og mekaniseringsgrad spiller en rolle for beskæftigelsen.

**Tabel 15.** Antal beskæftigede (fuldtidsbeskæftigede) i de uranproducerende lande. Tabellen er ikke komplet og skal kun betragtes som retningsgivende. Kilde: OECD (2012).

Land	2008		2009		2010	
	Person-år	Produktion (ton U)	Person-år	Produktion (ton U)	Person-År	Produktion (ton U)
Usbekistan	8.750	2.283	8.800	2.657	8.860	2.874
Kina	6.740	770	6.800	1.200	6.860	1.350
Kasakhstan	6.598	8.512	7.643	14.020	6.718	17.803
Rusland	5.120	3.521	4.650	3.565	4.810	3.562
Australien	4.322	8.433	3.512	7.933	4.514	5.918
Namibia	3.400	4.365	3.400	4.626	3.400	4.503
Canada	1.416	9.000	1.379	10.174	1.305	9.775
Niger	1.300	2.993	1.850	3.245	1.900	4.197
Ukraine	1.500	830	1.460	815	1.420	837
Sydafrika	2.230	566	1.420	563	1.400	582
Tjekkiet	1.122	275	1.122	258	1.118	254
Malawi	-	-	1.033	90	1.036	681
USA	952	1.492	759	1.594	737	1.630
Brasilien	340	330	340	347	340	148
Indien	na	250	na	na	na	na
Iran	na	6	na	8	na	7
<b>TOTAL</b>	<b>43.790</b>	<b>43.626</b>	<b>44.168</b>	<b>51.095</b>	<b>44.418</b>	<b>54.121</b>

### 3.6 Sammenfatning – uranproduktion

- Uran brydes på tre forskellige måder: åbent brud, underjordisk mine og som in-situ leaching, hvoraf den sidstnævnte i 2009 blev den metode, der producerede mest uran. Meget peger dog på, at uranproduktionen i 2025 vil blive domineret af åbent brud efterfulgt af underjordisk minedrift.
- I 2010 blev der produceret ca. 55.000 ton U, som helt overvejende er produceret fra 15 miner beliggende i 12 lande med Kasakhstan som den største producent efterfulgt af Canada, Australien, Niger, Rusland og Namibia.
- Det skønnes, at de eksisterende anlæg har kapacitet til at kunne producere ca. 76.000 ton U/år, og at kapaciteten i 2035 vil kunne øges til omkring 110.000 ton U/år.
- Der er ca. 25 uranproducerende selskaber i verden, hvoraf fire selskaber (Kaz-AtomProm, Areva, Cameco og ARMZ-Uranium One) står for omkring halvdelen (57 %) af produktionen.
- De uranproducerende selskaber omfatter både aktieselskaber og statsejede selskaber; blandt begge grupper er der selskaber, som arbejder internationalt. I en del lande udføres uranproduktionen kun af statsejede, nationale selskaber.
- I 2010 var der globalt omkring 44.500 personer beskæftiget med udvinding af uran. Der er store forskelle mellem, hvor meget der produceres per person i de enkelte lande, hvilket særligt skyldes at forskellige malmtyper og brydningsmetoder har forskellige behov for man-power.

## 4 Uranefterforskning

Uranefterforskning udføres i princippet som al anden mineralefterforskning i en række trin, som er tilrettelagt, så omkostningerne minimeres, og chancerne for at finde brydeværdige forekomster maksimeres. De anvendte efterforskningsmetoder afhænger af områdets størrelse, om forekomsterne forventes at være tæt på eller dybt under overfladen, samt af hvilken type geologisk forekomst som efterforskes. Første fase skal almindeligvis afsøge relativt store områder. Det skal derfor kunne gøres hurtigt og billigt og har primært til formål at udpege områder, som efterfølgende skal undersøges nærmere. Til denne fase af uranefterforskningen anvendes typisk flybårne spektrometre, som kan måle gammastråling, der stammer fra uran- og thoriumminerale i de overfløjne områder. Områder med forhøjet gammastråling vil efterfølgende indgå i mere detaljerede undersøgelser.

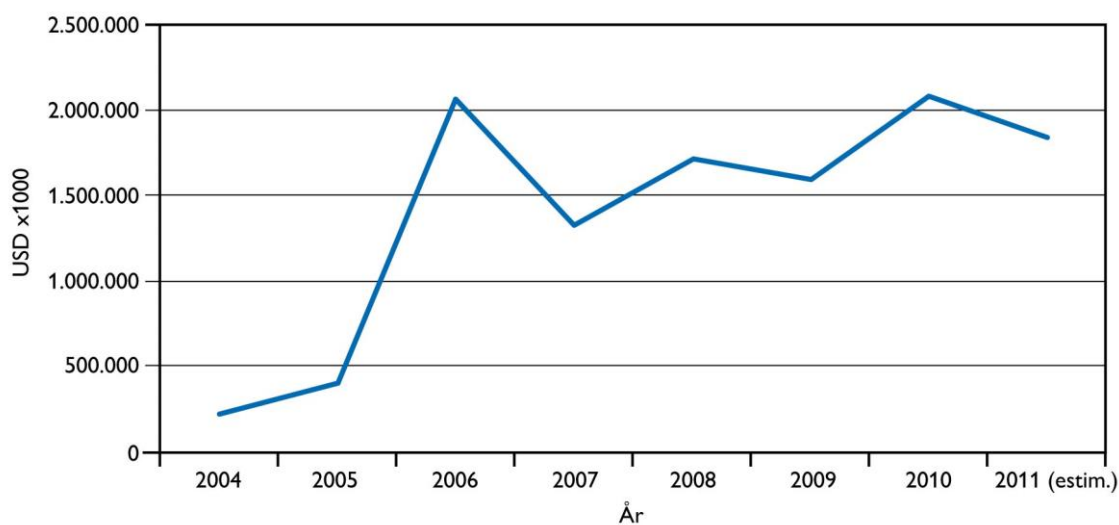
De lokale opfølgende undersøgelser anvender typisk geokemiske indsamlingsprogrammer, hvor der indsamles vandprøver, sedimenter fra vandløb og/eller jordbundsprøver samt prøver af bjergarter. Prøverne analyseres både for uran og en række andre grundstoffer, som ofte følger uranberigning, fx molybdæn, guld, arsen, kviksølv, vanadium, kobber, bly og zink. Først når der foreligger mange sammenfaldende informationer, som indikerer tilstedeværelse af en uranforekomst, vil de yderligere undersøgelser omfatte borer. Borer bidrager med oplysninger om malmens volumen, kvalitet og rumlige udbredelse. Såfremt borerne er positive, beregnes malmreserven, og der udføres økonomiske rentabilitetsstudier og indledende produktionsberegninger og -modeller samt omfattende miljøundersøgelser.

OECD (2012) rapporterer, at mange af de store uranefterforskningsselskaber har opretholdt efterforskningsniveauet trods faldende uranpriser, hvorimod en del mindre (junior) efterforskningsselskaber har været tvunget til at reducere deres efterforskningsaktiviteter. OECD (2012) har opgjort det samlede beløb til uranefterforskning i 2010 til 2,07 mia. USD (Tabel 16 og Figur 15), hvilket tangerer rekorden fra 2006. Cirka 25 % blev anvendt til uranefterforskning i Afrika og indikerer, at selskaberne nu lægger større vægt på efterforskning her.

Af Tabel 16 fremgår det, hvor meget selskaberne anvendte på uranefterforskning i perioden 2004 til 2010, ligesom estimerede værdier for 2011 fremgår. Opgørelserne over, hvor meget der blev investeret i de enkelte lande, er ikke komplet; men blandt de lande, der har indrapporteret efterforskningsomkostningerne for 2010, har der været flest investeringer i Canada (585 mio. USD), efterfulgt af Niger (458 mio. USD), Rusland (383 mio. USD), Australien (166 mio. USD) samt USA (144 mio. USD). Canada og Niger står alene for ca. 50 % af efterforskningsbudgettet. I lande som Argentina, Botswana, Chile, Kina, Finland, Indien, Jordan, Rusland og Spanien har der været stigende efterforskningsaktiviteter, antageligt som led i disse landes langsigtede strategi om at udvikle landenes egne uranressourcer (OECD, 2012). Der er ikke oplysninger om, i hvilket omfang disse aktiviteter udføres af nationale eller internationale selskaber.

**Tabel 16.** Oversigt over selskabernes investeringer i uranefterforskning i udvalgte lande i perioden 2004 til 2011 (USD x 1.000). Baseret på OECD (2012). Tabellen er sorteret efter investeringer i uranefterforskning for 2010.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 (estimeret)
Canada	78.676	184.921	316.634	532.710	514.751	457.936	585.106	511.000
Niger	4.222	6.400	12.453	152.984	207.173	306.828	458.000	319.760
Rusland	10.597	24.946	33.496	64.218	221.783	233.998	383.154	436.567
Australien	9.971	31.366	61.603	149.917	211.612	144.605	166.084	192.698
USA	59.000	77.800	1.500.300	245.700	246.400	139.300	144.000	-
Kina	9.500	13.500	28.000	38.000	44.000	55.000	77.000	77.000
Kasakhstan	723	1.169	8.500	34.318	78.155	59.740	57.584	73.376
Indien	14.333	16.588	16.422	19.793	25.093	39.905	55.778	55.616
Namibia	1.747	2.000	2.000	8.000	46.560	44.911	32.984	39.121
Iran	3.751	3.723	4.826	3.930	8.047	23.084	32.165	77.384
Sydafrika	886	1.593	24.698	14.972	11.386	14.552	18.761	5.638
Mongoliet			12.527	26.138	29.156	11.332	18.284	-
Argentina	701	966	649	439	7.153	6.854	12.222	15.353
Spanien	-	-	427	3.887	4.552	3.354	10.223	14.096
Jordan					419	5.166	5.731	5.370
Botswana					377	3.727	5.421	7.273
Slovakiet					7.465	7.454	5.302	3.811
Ukraine	4.259	4.801	6.168	6.568	7.548	3.362	3.207	2.963
Chile	133	84	100	113	480	540	1.272	1.076
Indonesien	31		120	122	74	266	327	877
Brasilien	449		-	-	-	-	223	237
Mexico					50	100	150	500
Tyrkiet	7	23	56	50	74	66	91	195
Tjekkiet	23	53	132	33	373	114	5	5
Etiopien					22			15
Usbekistan	16.995	21.230	21.230	21.230	23.798	25.652	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>216.004</b>	<b>391.163</b>	<b>2.050.341</b>	<b>1.323.122</b>	<b>1.696.501</b>	<b>1.587.846</b>	<b>2.073.074</b>	<b>1.839.931</b>

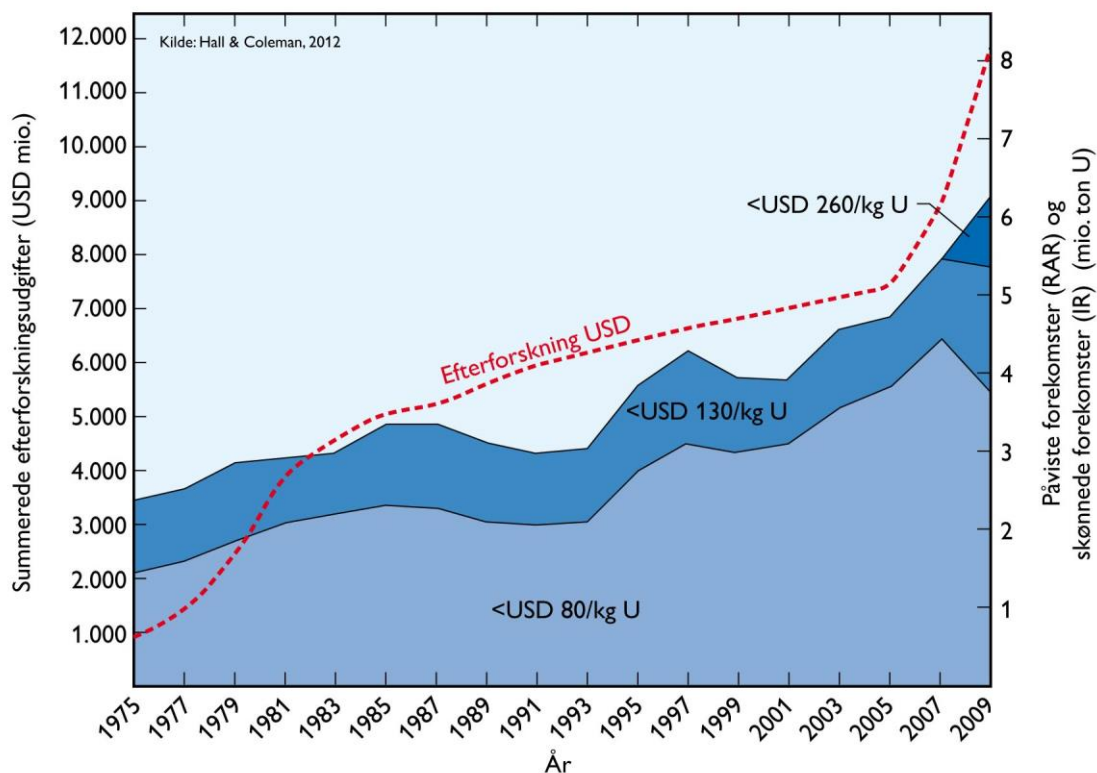


**Figur 15.** De totale globale omkostninger til uranefterforskning i perioden 2004 til 2011 (baseret på Tabel 16).

Der findes ikke en nøjagtig opgørelse over, hvor mange selskaber der er involveret i uranefterforskning, men World Information Service on Energy (WISE) anfører, at ca. 1.000 selskaber er registreret som producenter eller efterforskningselskaber. Denne rapport forfatter antager, at en betydelig del af disse ikke er aktive, og at der næppe er mere end et par hundrede selskaber aktive på verdensplan. Nogle af de større kendte projekter er vist i Tabel 17.

Det tager almindeligvis mindst 15 år at udvikle en uranforekomst, regnet fra det tidspunkt hvor forekomsten bliver lokaliseret, til de færdige vurderinger foreligger, og anlæg af minen i princippet kan påbegyndes. I de fleste tilfælde tager det endda betydeligt længere tid. For at kunne foretage en vurdering af, hvor meget uran der vil være til rådighed til fremtidens kernekraftværker, er det derfor nødvendigt også at vurdere mængderne af de uranressourcer, som endnu ikke er klassificeret som RAR.

I Figur 16 ses, at der i 1970'erne var stærkt stigende omkostninger til global uranefterforskning, hvilket var en følge af oliekrisen, hvor man ønskede alternativer til fossilt brændstof. Den stigende efterforskning førte dog ikke til væsentlig opskrivning af de globale ressourcer. Efter en vis afmatning i 1980'erne øgedes efterforskningen igen markant som en følge af stærkt stigende priser (se også afsnit 6), hvilket har ført til mange nye fund, som har øget de globale uranressourcer betydeligt. En del af omkostningsstigningen til efterforskning skyldes også, at selskaberne har introduceret dyrere efterforskningsmetoder for at kunne finde forekomster, som ikke er blottet på overfladen (geofysiske og geokemiske undersøgelser).



**Figur 16.** Omkostninger til uranefterforskning fordelt på år og kategori. Kilde: Hall & Coleman (2012).

**Tabel 17.** Oversigt over nogle af de største uranefterforskningsprojekter. Baseret på OECD (2012), Hall & Coleman (2012), samt diverse selskabsoplysninger. Tabellen er ikke komplet. Der er anvendt følgende forkortelser: na: ingen oplysninger; OP: åbent brud; UG: underjordisk mine; ISL: in-situ leaching. Tallet for Kvanefjeld refererer kun til denne forekomst og inkluderer ikke Sørensen Zone og Zone 3.

Land	Minenavn	Geologisk type	Foreslået metode	Estimeret kapacitet (ton U/år)	In-situ ressource (ton U)	Grade (% U)	Status	Ejerskab
Argentina	Cerro Solo	Sandstone	OP	na	3.900	0,4	Feasibility study	Commision Nacional de energia Atomica
	Anit	na	na	na	na	na	na	Blue Sky Uranium
	Sierra Colnia	na	na	na	na	na	na	Blue Sky Uranium
	Sirra Pintada	Volcanic	OP	na	2.620	0,1	Feasibility study	Commision Nacional de energia Atomica
Armenien	Lernadzor	na	na	na	na	na	na	Armenian-Russian Mining Company
Australia	Four Mile	Sandstone	ISL	1.000	23.462	0,28	Feasibility study	Quasaar Resources Pth. Ltd.
	Honeymoon	Sandstone	ISL	340	2.500	0,2	Development	Uranium One Inc.
	Lake Maitland	Surficial	OP	na	10.000	0,031	Development	Maga Uranium Ltd.
	Oban	Sandstone	ISL	na	1.781	na	Feasibility study	Curnamona Energy Ltd.
	Wiluna	Surficial	OP	na	9.385	0,02	Feasibility study	Toro Energy Ltd.
	Yeleerie	Surficial	OP	na	44.077	0,15	Feasibility study	BHP Billiton
Brasilien	Itataia-Santa Quiteria	Phosphorite	OP	1.000	67.240	0,08	Feasibility study	Industrias Nucleares do Brazil
Canada	Cigar Lake	Unconformity	UG	6.249	80.500	16,59	Development	Cameco Coroporation
	Kiggavik	Unconformity	UG	na	51.574	0,22	Feasibility study	Areva Resources Canada Inc.
	Centennial	na	na	na	na	na	na	UEM Inc
	Matoush	Vein	UG	na	7.770	0,45	Feasibility study	Strateco Resources Inc.
	Michelin & Jacques Lake	Volcanic	OP/ UG	na	29.923	0,49	Feasibility study	Aurora Energy Resources Ltd.
	Midwest	Unconformity	OP	2.300	16.340	4,4	Feasibility study	Areva Resources Canada Inc.
	Roghridder	na	na	na	na	na	na	Rio Tinto
	Shea Creeak	na	na	na	na	na	na	Areva Resources Canada Inc.
	Wheeler River	na	na	na	na	na	na	Denison Mines Corp
Millenium	Unconformity	UG	5.700	18.002	3,8	Feasibility study	Cameco Corporation	
CAR	Bakouma	Phosphorite	OP	1.200	9.885	1,72	Feasibility study	Areva Resources Centrafrique
Gabon	Mopia	na	na	na	na	nan	na	Areva Central Afrique
Guyana	Roraima	na	na	na	na	na	na	U3O8 Corp
	Kurupunk	na	na	na	na	na	na	U3O8 Corp
Finland	Talvivaara	Black shale	biprodukt	350	17.110	0,0018	Development	Talvivaara Mining Company Plc.
Grønland	Kvanefjeld	Intrusion	biprodukt	500	123.000	0,026	Development	Greenland Minerals & Energy
Indien	Tummalapalle-	Strata-bound	UG	217	12.555	0,04	Committed	Unraium Corporation of India

Land	Minenavn	Geologisk type	Foreslået metode	Estimeret kapacitet (ton U/år)	In-situ ressource (ton U)	Grade (% U)	Status	Ejerskab
	Rahcakuntapalle							
	Mohuldih	Vein	UG	190	Unknown	Unknown	Committed	Uranium Corporation of India
	Lambapur-Peddagattu	na	UG -OP	130	Unknown	Unknown	Committed	Uranium Corporation of India
<b>Iran</b>	Saghand (Ardakan)	Metasomatite	UG	50	900	0,055	Development	Atomic Energy Organization of Iran
<b>Kasakhstan</b>	Kharasan 1 North	Sandstone	ISL	2.000	34.350	0,11	Development	Energy Asia Ltd., KazAtomProm, Uranium One Inc.
	Kharasan 2 North	Sandstone	ISL	2.000	24.751	0,5	Development	Energy Aisa Ltd., KazAtomProm
	Zhalpak	Sandstone	ISL	1.000	15.000	na	Committed	Zhalpak JV, KazAtomProm
<b>Kina</b>	Dongsheng	Sandstone	ISL/OP	na	5.000	na	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Erdos	Sandstone	na	na	21.600	na	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Erlian	Sandstone	ug	na	19.400	Unknown	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Gyyuan	Intrusion	uISL	na	5.000	0,2	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Liahoe	Sandstone	na	na	na	na	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Shihongtoan	Sandstone	ISL	na	3.000	0,03	Feasibility study	China National Nuclear Association
	Turp Hame	Sandstone	na	na	9.000	na	Feasibility study	China National Nuclear Association
Zaohuohao	na	ISL	na	17.000	Unknown	Feasibility study	China National Nuclear Association	
<b>Madagaskar</b>	Folakara	na	na	na	na	na	na	UMC Energy PLC/URAMAD S.A.
<b>Malawi</b>	Kayelekera	na	na	na	na	na	na	Paladin Energy
	Livingstonia	na	na	na	na	na	na	Ressource Star/Globe Metals & Mining
	Kanyika	na	na	na	na	na	na	Globe Metals & Mining
<b>Mali</b>	Kidal	na	na	na	na	na	na	Oklo Resources Ltd.
	Falea	na	na	na	na	na	na	Rockgate Capital
<b>Mauritanien</b>	Bir En Nar	na	na	na	na	na	na	Areva
<b>Mongoliet</b>	Domod District	Volcanic	OP-UG	1.150	24.780	0,116	Feasibility study	Khan Resources Inc., Priargunsky Chemical & Mining Enterprise, Mongol Erdene Holding
<b>Namibia</b>	Marenica	Surficial	OP	1.000	62.856	0,017	Pre-feasibility	Marenica Energy Ltd.
	Rössing South	na	na	na	na	na	na	Extract Resources
	Stage Four	na	na	na	na	na	na	Langer Heinrich Uranium Pty. Ltd.
	Trekkopje/Klain Trekkopje	Surficial	OP	1.600	4.3243	0,015	Development	Areva Resources Namibia
	Valencia	Surficial	OP	1.400	23.269	0,019	Development	Forsus Metals Corp.
<b>Niger</b>	Azelik/Teguidda	Sandstone	OP	1.000	10.800	na	Development	China U International Uranium Corporation , ZC Joy Global Inc.
	Marianne/Marilyn	na	na	na	na	na	na	GoviEx
	Imouraren	Sandstone	OP	5.000	183.520	0,1	Development	Areva Resources Namibia, Societe de Patrimoine des Mines

Land	Minenavn	Geologisk type	Foreslået metode	Estimeret kapacitet (ton U/år)	In-situ ressource (ton U)	Grade (% U)	Status	Ejerskab
								du Niger, Kansai Electric Power Co Inc.
<b>Pakistan</b>	Shanawah	Sandstone	ISL	50	2.578	0,05	Development	Pakistan Atomi Energy Commission
<b>Paraguay</b>	Yuty	na	na	na	na	na	na	Uranium Energy Corp.
<b>Peru</b>	Corachapi	na	na	na	na	na	na	Macusani Yellowcake
<b>Rusland</b>	Budenowskoye Elkon (Yuzhnoe Severnoe)	na	na	na	na	na	na	Ludovika Energy Ltd.
	Gornoe, Beyozovoe	Metasomatite	UG	5.000	71.300	0,15	Development	ARMZ (AtomRedMetZoloty OJSC)
	Khiagda, Vershinnoe	Vein	UG	600	7.918	0,2	Development	ARMZ (AtomRedMetZoloty OJSC)
	South Zarchnoye	Sandstone	ISL	1.000	26.805	0,055	Development	ARMZ (AtomRedMetZoloty OJSC)
	Olovskoye	na	na	na	na	na	na	ARMZ (AtomRedMetZoloty OJSC)
	Olovskoye	Vein	OP-UG	600	12.200	0,082	Development	ARMZ (AtomRedMetZoloty OJSC)
<b>Slovakiet</b>	Kureishkova	na	na	na	na	na	na	Ludovika Energy Ltd.
	Novoveska Huta	na	na	na	na	na	na	Ludovika Energy Ltd.
<b>Spanien</b>	Aquila; Almeda	na	na	na	na	na	na	Berkeley Resources, ENUSA Industrias Avanzadas
	Salamanca I	Metasomatite	OP	769	30.926	0,0563	Feasibility study	Berkeley Resources, ENUSA Industrias Avanzadas
<b>Sydafrika</b>	Beatrix	Quartz-pebble	UG	na	24.600	na	Development	Harmony Gold Mining Co.
	Cooke Dump	Surface dams, dumps	Surface	na	9.464	0,09	Feasibility study	Harmony Gold Mining Co.
	Dominion Reef	Quartz-pebble	UG	1.460	55.753	0,062	Development	Shiva Uranium Pty.
	Henkries	Surficial	OP	na	1.145	na	Development	Niger Uranium Ltd.
	Klerksdorp & Southern Free	Quartz-pebble	ug	na	2.972	0,02	Development	Witwatersrand Consolidated Gold Resources Ltd
	Ezulwini	Quartz-pebble	UG	425	2.692	0,007	Development	First Uranium Corp.
	Ryst Kuil	Sandstone	OP	1.136	7.731	0,1	Development	Gold Fields Ltd., Areva Resources Southern Africa
	Western Rand tailings	Quartz-pebble	OP	na	11.387	0,004	Development	Mintails Ltd.
	MWS Tailings	Surface tailing	OP	515	9.269	0,001	Development	First Uranium Corp.
<b>Tanzania</b>	Mkuju River	na	na	na	na	na	na	Mantra Resources
	Manyoni	na	na	na	na	na	na	Uranex
	Madaba-Mkuju	na	na	na	na	na	na	East African Resources
	Nodwa; Wembere	na	na	na	na	na	na	Syrah Resources
<b>Ukraine</b>	Novokonstantinovskoe	Metasomatite	UG	2.500	93.630	0,139	Development	Vostochny Integrated Mining and Concentrating Plant
	Safonovskoye	Sandstone	ISL	210	6.900	0,035	Development	Vostochny Integrated Mining and Concentrating Plant
<b>USA</b>	Bullfrog	Sandstone	UG	na	1.798	0,33	Development	Denison Mines Corp.
	Canyon	Breccia pipe	UG	na	586	0,92	Development	Denison Mines Corp.



Land	Minenavn	Geologisk type	Foreslået metode	Estimeret kapacitet (ton U/år)	In-situ ressource (ton U)	Grade (% U)	Status	Ejerskab
	Centennial	Sandstone	OP	269	3.989	0,08	Development	Powertech Uranium Corop
	Willow Creek	Sandstone	ISL	385	7.506	0,09	Operational	Uranium One Inc.
	Church Rock	Sandstone	ISL	385	7.154	0,1	Partially permitted	Hydro Resources Inc.
	Cronpoint	Sandstone	ISL	385	5.885	0,16	Partially permitted	Hydro Resources Inc.
	Cewey Burdock	Sandstone	ISL	346	2.571	0,15	Development	Powertech Uranium Corop
	Gas Hills-peach	Sandstone	ISL	no	5.270	0,13	Development	Cameco Corporation
	Goliad	Sandstone	ISL	385	2.106	0,42	Partially permitted	Uranium Energy Corp.
	Hank	Sandstone	ISL	na	860	0,1	Development	Uranerz Energy Corp.
	Lance	Sandstone	ISL	577	3.539	0,039	Feasibility study	Peninsula Energy
	Lost Creek	Sandstone	ISL	770	3.769	0,044	Development	Ur Energy Inc.
	Moore Ranch	Sandstone	ISL	192	2.230	0,085	Permitted	Uranium One Inc.
	Nichols Ranch	Sandstone	ISL	na	1.115	0,1	Partially permitted	Uranerz Energy Corp.
	North Butte-Brown Ranch	Sandstone	ISL	na	3.154	0,1	Development	Cameco Corporation
	Pinenut (AZ Strip)	Breccia pipe	UG	na	336	0,4	Development	Denison Mines Corp.
	Reno Creek	Sandstone	ISL	na	1.651	0,05	Development	Uranerz Energy Corp.
	Roca Honda	Sandstone	ISL	na	6.730	0,196	Feasibility study	Strathmore Minerals Corp.
	Tony M + Southwest Whirdwind, Energy Queen	Sandstone	UG	na	3.131	0,2	Development	Denison Mines Corp.
	Pinon Ridge Mill	Various	UG	96	na	na	Permitting	Energy Fuels Inc.
<b>Zambia</b>	Chimwungo	Metamorphic	OP	na	1.020	0,047	Development	Quinox Minerals Ltd.
	Mutanga	na	na	na	na	na	na	Denison Mines Corp.
	Chirund	na	na	na	na	na	na	African Energy
	Springbook Flats	na	na	na	na	na	na	Holgoun Energy
	Pepegoona, Yadglin	na	na	na	na	na	na	Heathgate Resources

## 4.1 Forbud mod uranefterforskning og -minedrift

I visse lande og delstater er det af en række forskellige årsager ikke tilladt at foretage uranefterforskning og/eller brydning af uran. I Irland er der fx forbud mod uranefterforskning og -udvinding, fordi Irland har erklæret politisk stillingtagen til, at kernekraft ikke skal være en del af Irlands energistrategi, og at det derfor ikke vil være etisk korrekt at tillade andre at udnytte landets eventuelle ressourcer. I Australien har en række delstater besluttet at forbyde efterforskning og udnyttelse ud fra miljømæssige overvejelser; samtidig er Australien samlet set en af de meget store globale udbydere af uran. Tilsvarende forhold gør sig gældende i USA, hvor Virginia har opretholdt et forbud mod uranefterforskning og -udvinding. Grønland har i perioden 1988 til oktober 2013 ikke tilladt ikke-offentlige selskaber at udføre efterforskning efter eller at bryde radioaktive mineraler. Tabel 18 giver en oversigt over de lande og regioner, hvor uranefterforskning/-produktion specifikt ikke er tilladt. Hertil kommer særlige områder, nationalparker og eksempelvis Antarktis, hvor minedrift helt generelt ikke er tilladt.

**Tabel 18.** Oversigt over lande/stater og delområder, hvor uranefterforskning og/eller -minedrift ikke er tilladt (Kilde: C. Vestergaard, DIIS, november 2013, personlig kommunikation).

Land	Region/Stat		Status
Australien	South Australia	Arkaroola Region	Forbud mod minedrift
	New South Wales		Forbud mod minedrift
	Victoria		Forbud mod efterforskning og minedrift
Canada	British Columbia		Forbud mod efterforskning og minedrift
	Nova Scotia		Forbud mod minedrift
	Québec		Forbud mod efterforskning og minedrift
Irland			Forbud mod efterforskning og minedrift
New Zealand			Forbud mod efterforskning og minedrift
USA		Grand Canyon	Ingen nye licenser udstedes (alle mineraler)
		Navajo Nation	Forbud mod efterforskning og minedrift
		Hualapai Tribe	Forbud mod efterforskning og minedrift
	Virginia		Forbud mod efterforskning og minedrift

## 4.2 Sammenfatning – uranefterforskning

- Uranefterforskning udføres i lighed med anden mineralefterforskning i flere trin, og der anvendes mange af de samme metoder, dog kan der til uranefterforskning tillige anvendes teknikker, som registrerer mineralernes radioaktivitet. Dette kan gøres fra fly.
- På globalt plan er der gennem de senere år anvendt mellem 1,5-2 mia. USD per år til uranefterforskning.
- Der er registreret omkring 1.000 uranefterforskningsselskaber; men det er denne rapportes vurdering, at det reelle antal aktive selskaber er betydeligt mindre.
- De største efterforskningsaktiviteter udføres i Canada, Rusland, Niger og Australien.

- Historisk set er efterforskningsaktiviteterne øget, når prisen for uran er høj og er mindsket, når prisen for uran er lav. I 2007 iværksattes mange store efterforskningsprojekter, hvilket også resulterede i en række fund. Uranressourcen udgjorde i 2010 ca. 7,1 mio. ton U, hvoraf de sikkert påviste, økonomiske ressourcer udgjorde ca. 3,5 mio. ton eller omkring 4,5 mio. ton U, hvis de sub-økonomiske ressourcer medtages. Hertil kommer betydelige mængder i kategorien, skønnede (IR) og prognostiske/spekulative ressourcer.

## 5 Uranefterspørgsel

Siden kernekraft blev indført i begyndelsen af 1950'erne og frem til 1990'erne, var produktionen af primær uran større end forbruget, og der blev opbygget uranlagre flere steder i verden. Efter 1995 er tendensen gået den anden vej, og primærproduktionen af uran har været mindre end det samlede behov for uran til kernekraftværker. I det følgende beskrives de nuværende nationale forbrug af uran, og der gives en vurdering af forventningerne til forbruget af uran over de kommende ca. 20 år.

### 5.1 Nuværende forbrug/behov

I januar 2011 var der på verdensplan koblet 434 kommercielle reaktorer på det elektriske net i 29 lande (30 lande, hvis Taiwan medtages som selvstændig nation) (Lauritzen & Ølgaard, 2012; OECD, 2012). Den samlede kapacitet af disse reaktorer var på 372 GWe, svarende til et samlet uranforbrug på ca. 64.000 ton U (inkl. et antaget forbrug for Taiwan på ca. 1.000 ton U). Tabel 19 giver en oversigt over, hvilke lande der anvender kernekraft, hvor stor kapacitet der er etableret, samt angivelse af anlæggenes behov for uran. Det fremgår af tabellen, at USA er langt den største producent af el fra kernekraft efterfulgt af Frankrig, Japan og Rusland; samlet forbruger disse fire lande ca. 60 % af den årlige uranproduktion.

Det samlede udbud af uran (primærproduktion plus uran fra utraditionelle kilder og lagre) har gennem de seneste ca. 15 år nogenlunde modsvaret efterspørgslen. Udbuddet af primær uran er beskrevet i afsnit 3. Det fremgår af Figur 17, at kun Canada og Sydafrika er selvforsynende med uran, de øvrige lande er helt eller delvist afhængige af uranimport. Ingen af de store uranproducerende lande med undtagelse af Canada er selv uranforbrugende.

### 5.2 Planlagt og forventet udbygning af kernekraftsektoren

Det globale udbygningstempo af kernekraftreaktorer er bestemmende for det kommende forbrug af uran. IAEA har opgjort, at der per januar 2011 er 71 reaktorer under konstruktion (Tabel 19), hvoraf 29 reaktorer er i Kina; syv var under etablering i løbet af 2010, og tre var lukket (Japan og Frankrig) (OECD, 2012).

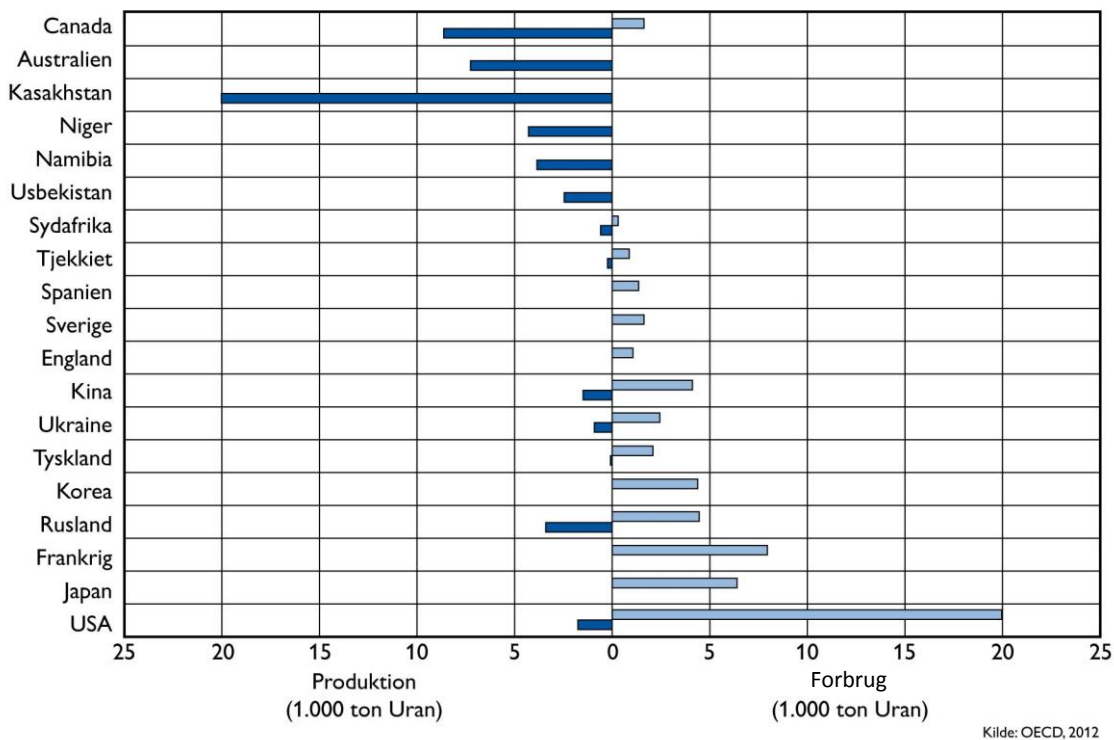
En dansk vurdering (Lauritzen & Ølgaard, 2012) viser derimod, at der globalt er 63 anlæg under konstruktion, hvoraf 26 angiveligt er under opførelse i Kina og to i Taiwan; Rusland og Indien angives at have henholdsvis 11 og fem nye anlæg under konstruktion (Figur 18). Udbygningsplanerne for kernekraft i Nordamerika, Europa og Østasien samt landene uden for disse regioner er vist i Figur 19, hvoraf det også fremgår, at både Nordamerika og Europa forventer en svag stigning i el-produktionen fra kernekraft, hvorimod de øvrige områder alle forventer kraftig vækst og dermed vil få et voksende forbrug af uran.

**Tabel 19.** Kernekraftanlæg, kapacitet per 31. december 2012 (IAEA, 2013); uranforbrug fordelt på lande 2011, samt angivelse af reaktorer under konstruktion (OECD, 2012; Lauritzen & Ølgaard, 2012). Der er lidt varierende oplysninger mellem kilderne på antallet af reaktorer under konstruktion.

Land	Producerende reaktorer	Installeret effekt (GWe)	Omtrentligt uranforbrug ton U per år	Reaktorer under konstruktion
USA	104	101,1	19.140	1
Frankrig	58	63,1	8.000	1
Japan	50	44,2	6.295	2
Rusland	33	23,6	4.500	11
Syd Korea	23	20,7	4.200	5
Kina	17	12,9	3.900	29
Taiwan	6	5,0		2
Tyskland	9	12,1	2.800	0
Ukraine	15	13,1	2.480	2
Canada	19	13,5	1.600	0
Sverige	10	9,4	1.580	0
Spanien	8	7,6	1.390	0
England	16	9,2	985	0
Belgien	7	5,9	925	0
Tjekkiet	6	3,8	885	0
Indien	20	4,4	735	7
Finland	4	2,7	455	1
Brasilien	2	1,9	450	1
Ungarn	4	1,9	435	0
Mexico	2	1,5	405	0
Slovakiet	4	1,8	370	2
Sydafrika	2	1,9	290	0
Bulgarien	2	1,9	255	2
Slovenien	1	0,7	210	0
Schweiz	5	3,3	210	0
Rumænien	2	1,3	190	0
Argentina	2	0,9	120	1
Pakistan	3	0,7	75	2
Armenien	1	0,4	65	0
Holland	1	0,5	60	0
Iran	1	0,9	-	1
Arab. Emir.	-	-	-	1
<b>TOTAL</b>	<b>437</b>	<b>372,1</b>	<b>63.005</b>	<b>71</b>

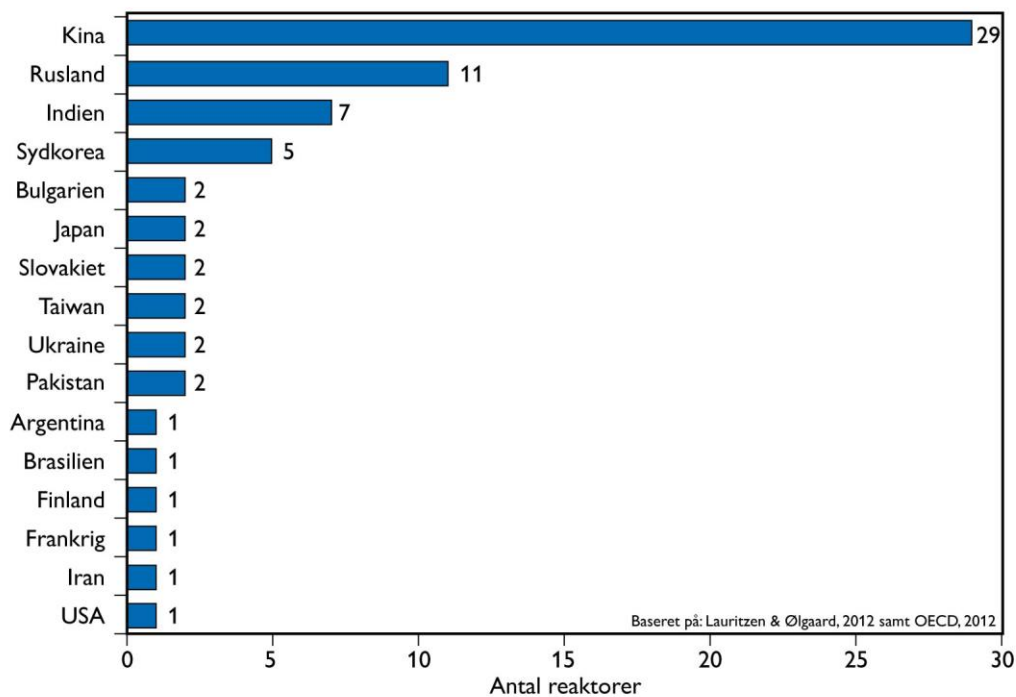
Den alvorlige ulykke ved Fukushima kernekraftværket i Japan 11. marts 2011, som følge af jordskælv og efterfølgende tsunami, har haft energipolitiske konsekvenser i en lang række lande, som enten har eller planlægger etablering af kernekraft. Således overvejer Japan, hvilken rolle kernekraft skal have for landets fremtidige energiforsyning (New York Times, 2014); Tyskland har fremskyndet sin udfasning af kernekraft; Belgien og Schweiz har begge besluttet ikke at bygge nye reaktorer eller erstatningsreaktorer til de eksisterende anlæg; Italien har ved en folkeafstemning truffet beslutning om ikke at indføre kernekraft; Albanien, Kasakhstan, Kroatien og Litauen er alle i en overvejelsesfase; Estland, Polen og Saudi Arabien forventer at indføre kernekraft i 2025. I USA og Canada er situationen uaf-

klaret, og myndighedsarbejde pågår med gennemgang af sikkerheden på de eksisterende anlæg, inden nye tilladelser bliver givet; men de gældende energistrategier, hvori kernekraft er en betydelig komponent, er opretholdt. Følgende lande har ligeledes alle besluttet at opretholde strategien om kernekraft som bidrag til landenes energiproduktion: Argentina, Armenien, Brasilien, Bulgarien, England, Finland, Forenede Arabiske Emirater, Frankrig, Holland, Hviderusland, Indien, Iran, Jordan, Kina, Pakistan, Rumænien, Rusland, Slovakiet, Slovenien, Sydafrika, Sydkorea, Sverige, Tjekkiet, Tyrkiet, Ukraine og Ungarn.

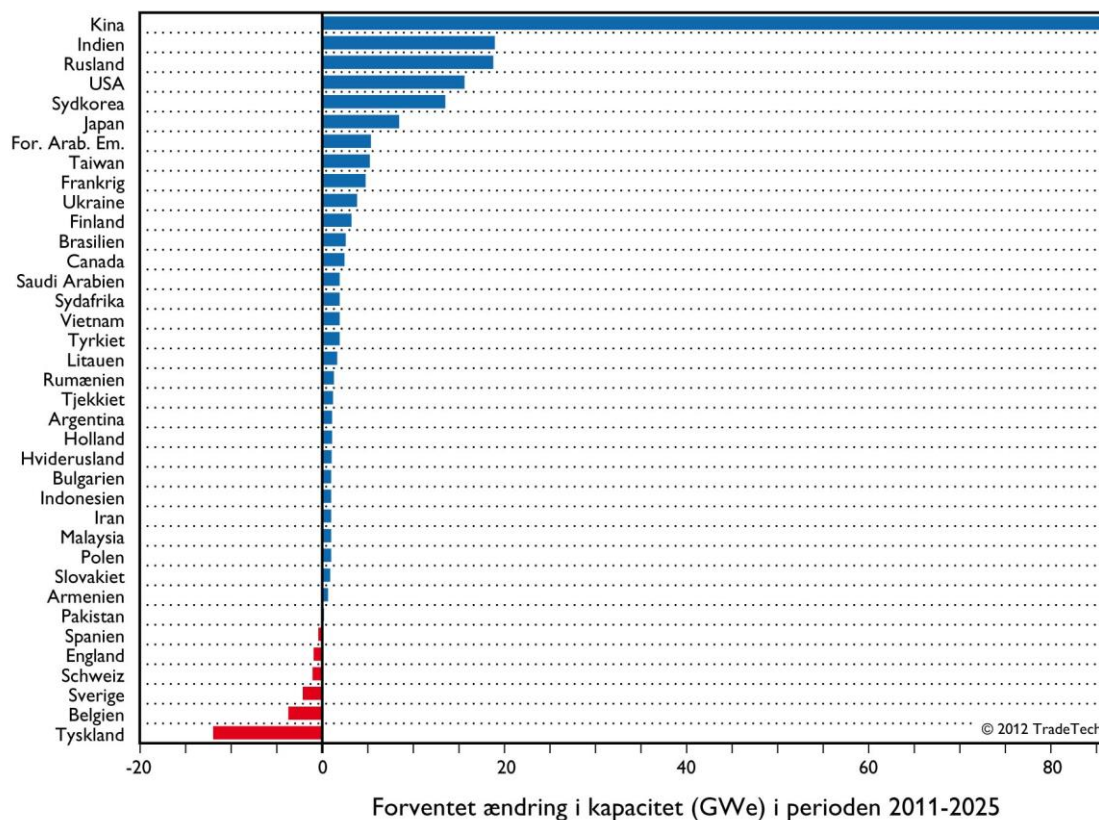


**Figur 17.** Estimeret fordeling af uranproduktion og -forbrug (2011) i de største uranproducerende og uranforbrugende lande. Kilde: OECD (2012).

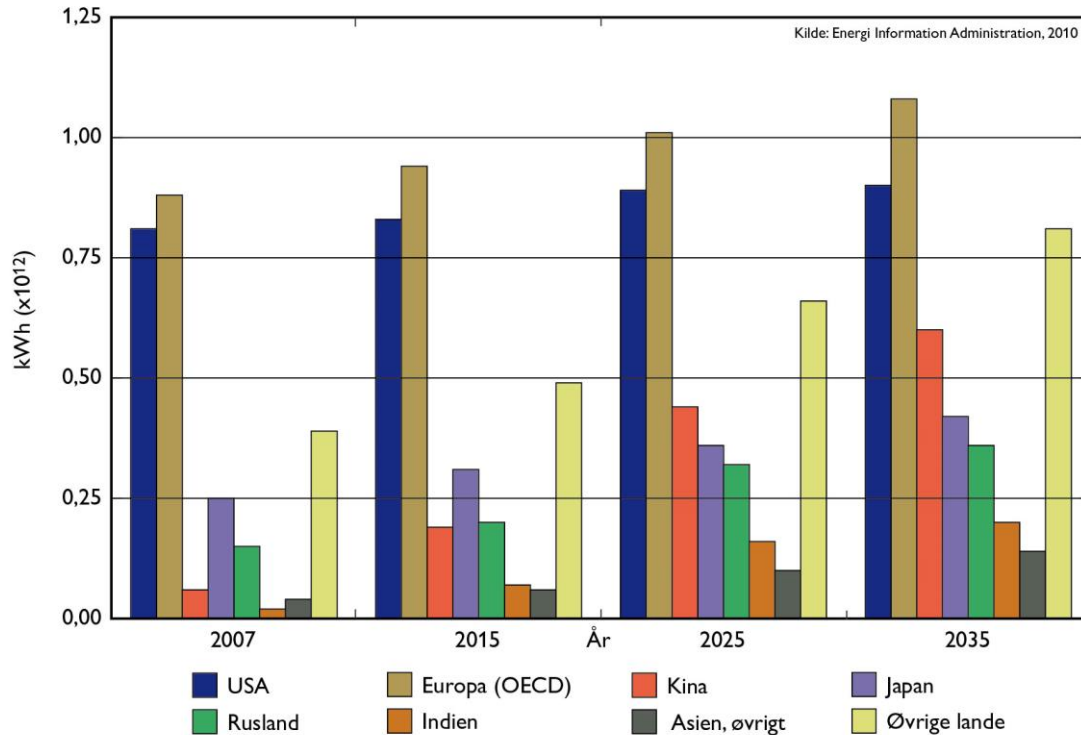
Globalt set er der betydelige udbygningsplaner for kernekraftværker. Som det ses af Tabel 19 og Figur 18 er der 63-71 reaktorer under konstruktion eller planlagt inden for de næste år, hvoraf Kina alene tegner sig for næsten halvdelen (29 reaktorer), efterfulgt af Rusland (11 reaktorer), men der forventes også betydelig udbygning af kapaciteten i USA og Japan (Figur 19), som overvejende vil ske som udbygning af de eksisterende værker. Af Figur 19 fremgår det også, at Spanien, England, Schweiz, Sverige, Belgien og Tyskland forventes at reducere energiproduktionen fra kernekraftværker. Den globale mængde elektricitet baseret på kernekraftværker forventes dog at vokse frem mod 2035 i verdens større regioner, herunder også i OECD-landene (Figur 20).



**Figur 18.** Antal reaktorer under konstruktion per 1. januar 2012 Kilde: Lauritzen & Ølgaard (2012) og OECD (2012).



**Figur 19.** Forventet ændring i kapacitet (GWe) fra kernekraftværker i perioden 2011-2025 fordelt på lande. Det ses af figuren, at seks europæiske lande forventer at reducere kapaciteten. Kilde: Trade Tech (2012).



**Figur 20.** Estimer for den fremtidige globale elektricitetsforsyning fra nukleare anlæg fordelt på verdensdele. Det fremgår, at de største produktionsstigninger forventes i Asien, inklusiv Kina, Japan og Indien. Kilde: Energi Information Administration (2010).

### 5.3 Forventet uranforbrug

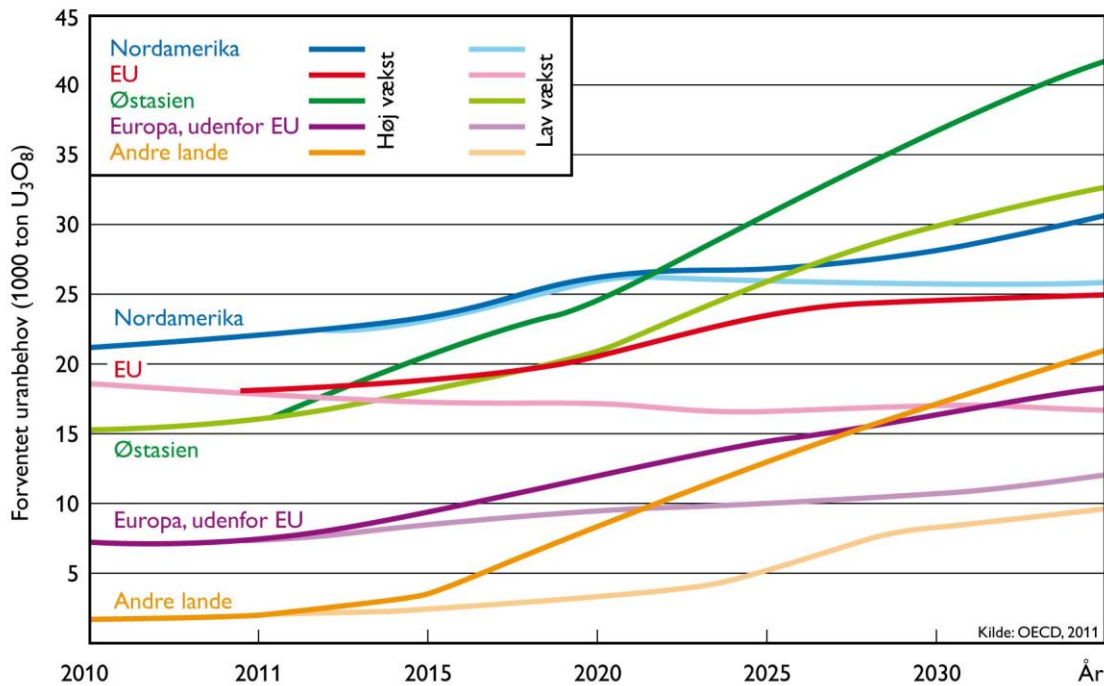
OECD (2012) har estimeret uranforbruget til kernekraft frem til 2035 ved både et høj- og lavvækstscenarie. Estimatet er baseret på henholdsvis et konservativt skøn over udbygning af nye reaktorer samt et skøn baseret på en forventning om en hastigt voksende udbygning af anlæggene. Det fremgår af disse estimer (Tabel 20, samt Figur 21), at uranforbruget i 2035 antageligt vil være 97.000-136.000 ton U/år, svarende til at produktionen af uran skal øges med 70-120 % i forhold til den nuværende produktion. Det fremgår ligeledes af Tabel 19, at mange lande med eksisterende kernekraftinfrastruktur forventer at udbygge denne sektor. En række lande, som ikke tidligere har produceret elektricitet på kernekraft, overvejer at indføre denne teknologi. Det langsigtede estimat er formodentligt usikkert, da en del lande i disse år ændrer deres energistrategier som følge af Fukushima-ulykken, og fordi spørgsmålet om langtidsopbevaring af radioaktive materialer fra kernekraftværkerne ikke er endeligt løst.

Hall & Coleman (2012) estimerer ligeledes behovet ved lav og høj vækst og angiver, at kapaciteten fra kernekraftværkerne vil øges fra de nuværende ca. 372 GWe til et sted mellem 511-782 GWe i 2035, afhængigt af hvilke scenarier der lægges til grund, og anfører, at disse kapaciteter vil modsvare et uranbehov på mellem 87.370-138.165 ton U/år, svarende til en forøgelse på 40-120 % i forhold til det nuværende niveau. Dette er i overensstemmelse med OECD's estimat.

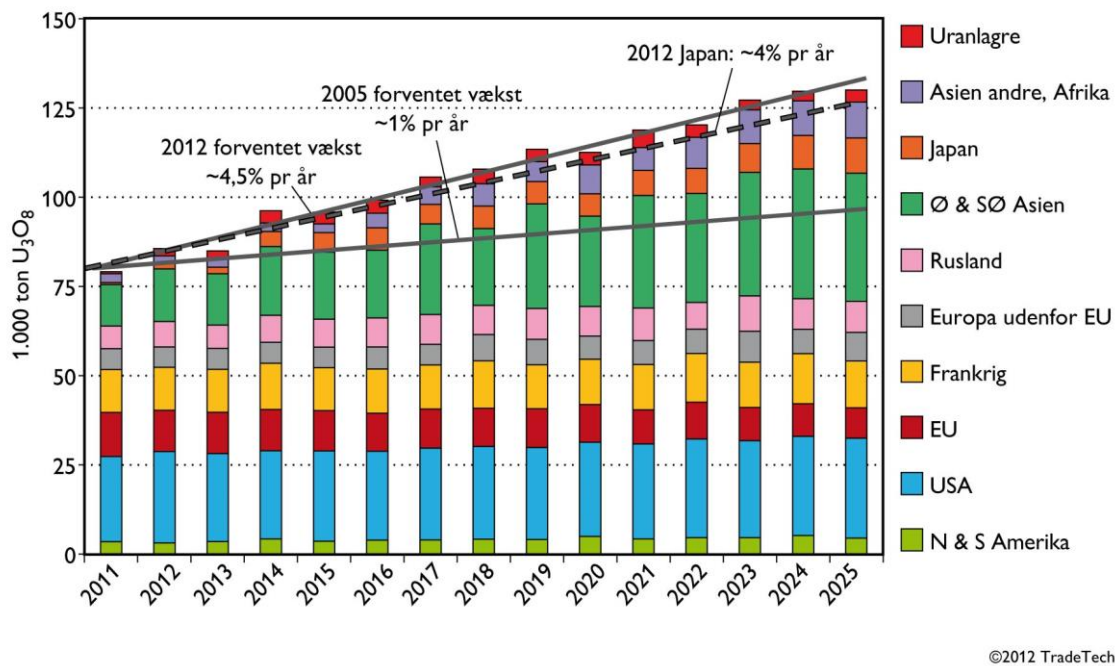
**Tabel 20.** Prognose for uranforbruget (ton U) for perioden 2015 til 2035 fordelt på lande og estimer for hhv. lav og høj vækst i energiforbruget. Kilde: OECD (2012).



Land	2015		2020		2025		2030		2035	
	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj	Lav	Høj
USA	20.930	20.930	24.160	24.160	24.160	24.295	24.160	25.840	24.075	28.070
Kina	4.600	6.450	6.450	8.200	10.100	12.000	12.300	16.200	14.400	20.500
Japan	7.040	7.660	6.920	8.320	7.745	9.680	8.275	10.530	9.000	11.385
Sydkorea	5.100	5.300	6.400	6.500	7.500	7.800	8.800	9.000	8.800	9.000
Frankrig	7.500	8.500	7.500	8.500	8.000	9.000	8.000	9.000	8.000	9.000
Rusland	5.800	5.800	5.900	7.000	6.000	8.700	5.900	9.600	6.100	11.100
Ukraine	2.480	3.230	3.020	3.600	3.020	3.660	3.600	4.800	4.800	5.300
Indien	1.600	1.800	1.485	4.025	3.060	5.880	3.740	6.490	4.415	8.700
England	1.040	1.205	790	1.050	1.225	1.660	1.525	2.275	1.700	2.540
Canada	1.750	1.900	1.500	1.750	1.500	2.025	1.225	1.885	1.500	2.175
Spanien	1.350	1.350	1.350	1.350	1.275	1.340	1.275	1.340	1.275	1.340
Iran	160	160	590	910	1.230	1.390	1.230	1.390	1.230	1.390
Sydafrika	290	290	290	290	595	1.155	875	1.715	1.155	2.275
Sverige	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	1.900	2.000	1.100	2.000
Brasilien	450	750	750	1.000	750	1.250	750	1.750	1.025	2.000
Arab. Emirater	-	-	475	945	945	945	945	945	945	945
Tjekkiet	650	680	665	680	680	850	850	900	910	1.300
Italien	-	-	-	1.080	-	1.655	350	1.530	700	1.530
Bulgarien	335	335	670	670	670	670	670	670	670	840
Argentina	265	265	600	600	600	600	600	600	600	640
Finland	700	760	700	760	700	760	520	560	520	560
Slovakiet	505	520	505	540	505	540	505	540	505	540
Tyrkiet	-	-	-	200	200	600	400	800	400	930
Pakistan	105	125	155	230	490	490	210	735	385	1.085
Vietnam	-	-	-	175	350	350	350	700	350	700
Hviderusland	-	-	-	175	350	350	350	350	350	350
Saudi Arabien	-	-	-	175	175	350	175	525	350	700
Armenien	65	65	155	315	155	470	310	310	310	310
Rumænien	190	190	190	290	290	390	290	390	290	390
Polen	-	-	-	-	-	265	265	525	265	525
Slovenien	-	-	220	230	230	405	230	405	230	405
Ungarn	435	435	435	435	435	610	435	610	220	610
Mexico	420	435	365	435	200	410	210	410	200	410
Holland	60	60	60	250	250	440	250	440	190	380
Jordan	-	-	-	-	-	175	175	350	175	350
Kasakhstan	-	-	-	60	50	100	50	100	50	100
Tyskland	1.890	1.890	1.420	1.660	-	1.660	-	1.660	-	1.660
Belgien	730	1.080	730	1.080	365	1.080	-	1.225	-	1.225
Egypten	-	-	-	-	-	175	--	525	-	525
Litauen	-	-	-	-	-	265	-	525	-	525
Indonesien	-	-	-	-	-	175	-	350	-	350
Thailand	-	-	-	-	-	-	-	350	-	350
Schweitz	225	365	385	535	270	535	65	500	-	275
Bangladesh	-	-	-	-	-	-	-	175	-	175
Malaysia	-	-	-	-	-	-	-	175	-	175
Marokko	-	-	-	-	-	-	-	175	-	175
Algeriet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105
<b>TOTAL</b>	<b>68.565</b>	<b>74.430</b>	<b>76.735</b>	<b>90.075</b>	<b>85.970</b>	<b>107.050</b>	<b>91.760</b>	<b>121.870</b>	<b>97.190</b>	<b>135.915</b>



**Figur 21.** Estimer af maksimum- og minimumforventninger til uranbehovet i perioden 2010 til 2035 for Nordamerika, Europa, Østasien og den øvrige del af verden. Kilde: OECD (2012).



**Figur 22.** Fremskrivning af uranforbruget til 2025. Kilde: TradeTech (2012).

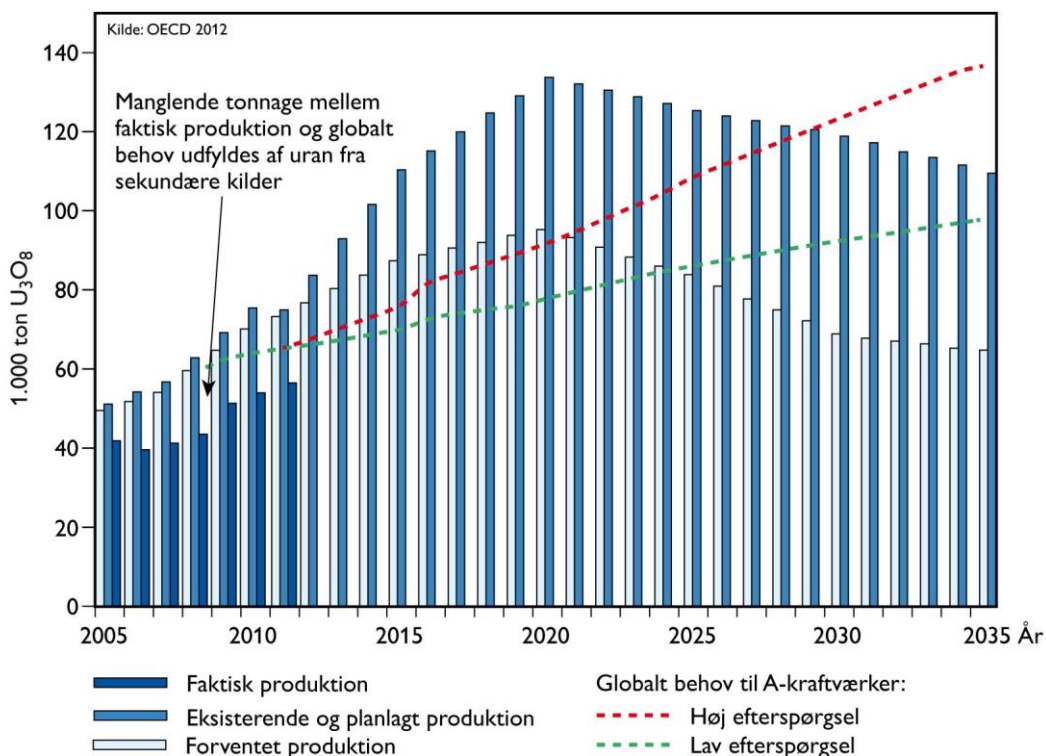
TradeTech (2012) har foretaget en fremskrivning af uranbehovet frem mod 2025, hvoraf det fremgår, at Østasien og Sydøstasien samt Japan er de store vækstområder for uranforbrug frem mod 2025 (Figur 22).

### 5.3.1 Hvor vil fremtidens uranressourcer blive produceret, og er der nok?

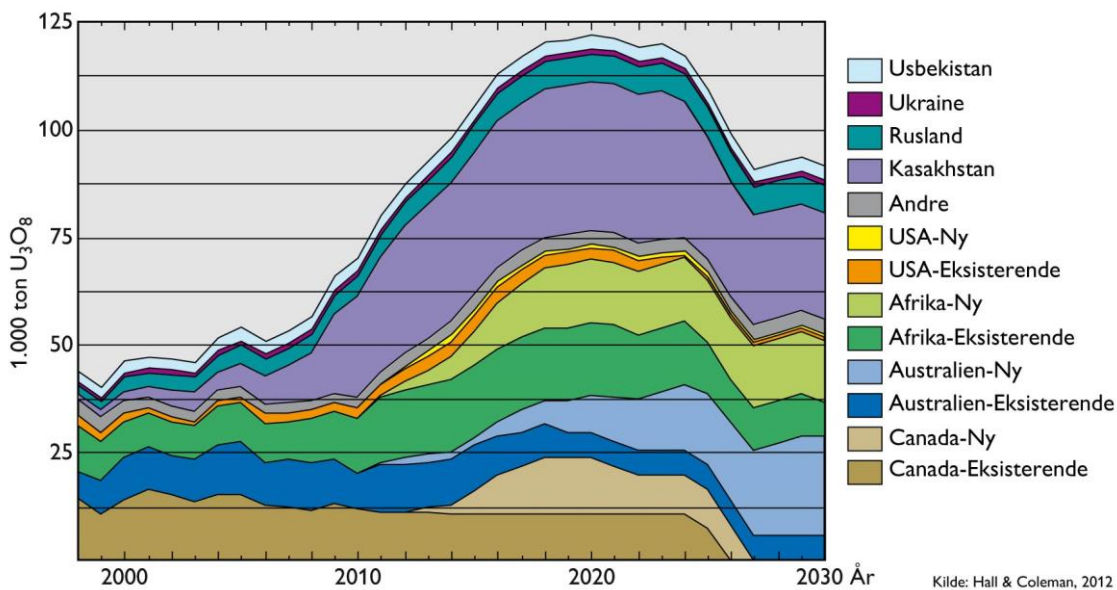
Det fremgår af OECD's (2012) fremskrivning af den globale produktionskapacitet for uran (Tabel 12), at nye miner vil være i stand til at erstatte de miner, som vil lukke frem mod 2020. Der forventes en stigning i den globale årlige uranproduktion frem til 2020, hvor produktionen vil være ca. 95.000 ton U/år. Herefter vil der ske et fald i produktionen fra de kendte ressourcer til omkring 65.000 ton U i 2035 (Figur 23). Hvis de prospektive områder indregnes, forventes produktionskapaciteten i 2020 at komme op på ca. 134.000 ton U for i 2035 at falde til ca. 110.000 ton U (Figur 23). Disse estimater tager ikke højde for eventuelle etableringer af nye anlæg i tilknytning til nogle af de lidt mindre lødige forekomster.

En række lande har betydelige udbygningsplaner for deres uranminer/in-situ leaching-anlæg og tilhørende produktionsanlæg til fremstilling af yellowcake; det gælder især Kasakhstan, Australien, Brasilien, Canada, Namibia, Niger og Rusland. Set i et tiårigt perspektiv forventes også en række lande, som ikke tidligere har produceret uran, eksempelvis Botswana, Jordan, Mongoliet, Tanzania og Zambia, at etablere uranproduktioner.

OECD's prognose er overordnet set i god overensstemmelse med estimater foretaget af Hall & Coleman (2012), jf. Figur 23 og 24, hvoraf det fremgår, at de største producenter i 2030 forventes at være Kasakhstan og Australien fulgt af en række afrikanske lande; men prognoserne afviger væsentligt fra andre prognoser, specielt hvad angår Canada og USA, som ikke forventes at være uranproducerende efter omkring 2028.



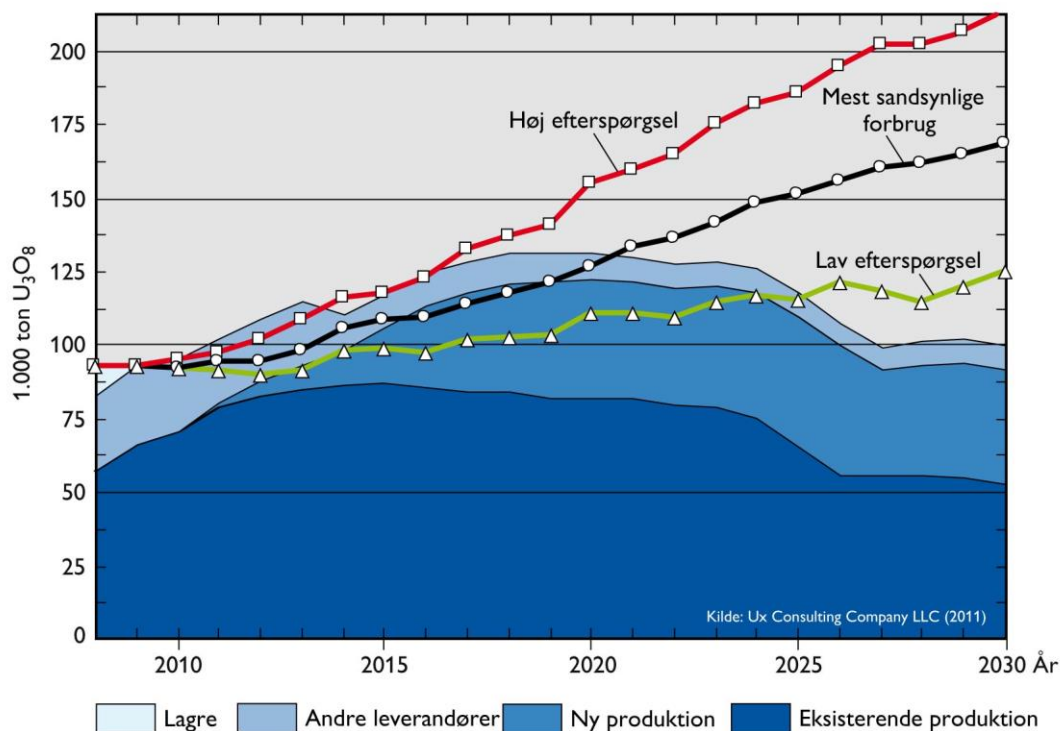
**Figur 23.** Forventet årlig uranproduktion i perioden frem til 2035 sammenholdt med det forventede forbrug af uran til kernekraft. Kilde: OECD (2012). "Forventet produktion" svarer til A: Eksisterende og forpligtede produktioner i forhold til kontrakter, mens "Eksisterende og planlagt produktion" svarer til B: Eksisterende, forpligtede, planlagte og antagede produktionsmængder i Tabel 12.



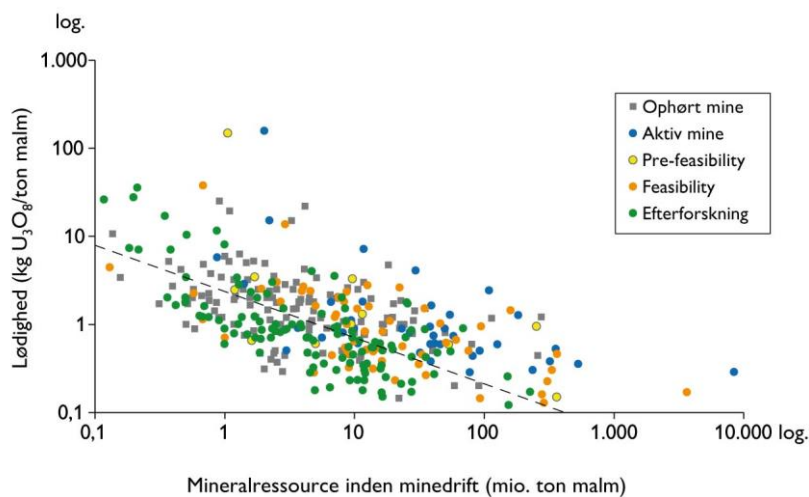
**Figur 24.** Estimeret uranproduktion frem til 2030. Kilde: Hall & Coleman (2012).

Alle, der beskæftiger sig med fremskrivninger af udbud og efterspørgsel af uran, er enige om, at efterspørgslen vil overstige udbudsmængden; spørgsmålet er kun, hvornår det sker, og her varierer estimerne. Ux Consulting Company LLC (2010) har foretaget en detaljeret gennemgang af produktionsselskabernes planer og anlægskapaciteter og estimerer, at produktionskapaciteten i 2020 vil være 81.000-86.000 ton U/år, og de konkluderer, at udbygningsplanerne for minerne ikke er tilstrækkelige til at kunne imødekomme den efterspørgsel, som er estimeret for 2035 (Figur 25). NEA-IAEA (2010) mener, at de eksisterende produktioner samt planlagte produktioner kan opfylde de globale behov for uran frem til 2021-2024 afhængigt af, hvordan behovene udvikler sig. Hvis producenternes optimistiske prognoser indfries, vil efterspørgslen kunne dækkes frem til 2029 eller 2035, afhængigt af om efterspørgslen vil være stærkt eller moderat stigende.

OECD (2012) anfører, at i et højvækstscenarie er de eksisterende uranressourcer tilstrækkelige til at opfylde 90 % af uranforbruget til alle planlagte reaktorer i hele deres levetid. Antages et lavvækstscenarie, vil forbruget frem til 2035 udnytte omkring 30 % af uranressourcerne (RAR < USD 260/kg U). IAEA skønner, at uran er underefterforsket, og IAEA forudser ikke vanskeligheder med at finde nye uranforekomster. Andre institutioner deler ikke denne opfattelse og konstaterer, at uran ikke adskiller sig fra en række andre metaller, hvor der konstateres generelt faldende lødigheder i nyfundne forekomster, og at der er langt imellem store fund (CRU Strategies (2010); Figur 26).



**Figur 25.** Forventet vækst i uranefterspørgsel og stigninger i udbuddet i perioden 2008 til 2030. Kilde: Ux Consulting Company LLC (2010).



**Figur 26.** Sammenhæng mellem mineralressourcens størrelse og lødighed. Det ses, at niveauerne for ophørte og aktive miner ligger over niveauerne for efterforskningsprojekterne, hvilket viser, at der er et generelt fald i lødigheden for nye forekomster. Ressourcetallene for efterforskningsprojekterne vil falde yderligere, når der bliver lavet færdige beregninger, og herved vil tendensen forstærkes yderligere – fremtidens forekomster må forventes at være mindre lødige. Kilde: CRU Strategies (2010)

## 5.4 Sammenfatning – uranefterspørgsel

- I 2011 var 434 kernekraftreaktorer koblet til el-forsyningen med en samlet kapacitet på 372 GWe. Uranforbruget hertil var ca. 64.000 ton U/år, hvilket er omkring 9.000 ton mere, end der produceres. Differencen dækkes af uran fra uranlagre samt genbrug.
- Som følge af Fukushima-ulykken overvejer mange lande deres fremtidige energi-strategi. Der er planlagt 63-71 nye reaktorer med en samlet kapacitet på 61 GWe. Den globale kapacitet fra kernekraftværker forventes i 2035 at være mellem 510-790 GWe. Den største vækst forventes i Kina og Indien, lidt i Rusland, USA og Sydkorea.
- For at producere disse energimængder skal uranproduktionen øges fra det nuværende niveau på ca. 56.000 ton U/år til 100.000-136.000 ton U/år. Såfremt den største efterspørgsel bliver en realitet, skal der frem mod år 2035 bruges op til 2,5 mio. ton U, svarende til 56 % af de påviste ressourcer og 35 % af de skønnede ressourcer under forudsætning af uændret teknologi. Ressourcerne er således tilstrækkelige til at dække forbruget frem til 2035, men der er stort behov for at finde nye uranforekomster til brug for de langsigtede produktioner, idet en del af de eksisterende produktioner/miner kun har uranreserver til omkring 10 års produktion. De kendte uranressourcer er tilstrækkelige til at forsyne kernekraftsektoren i mere end 100 år med en uændret vækst i forbruget. Det er uklart, i hvilket omfang yderligere efterforskning vil være nødvendig for at flytte ressourcerne til kategorien påviste forekomster.
- Analytikerne opererer med både lav- og højvækstscenarier, og i 2035 forventes uranforbruget at være mellem 97.000-136.000 ton U/år. Det største behov for uran vil i 2035 være fra Østasien og Nordamerika.

## 6 Prisudvikling

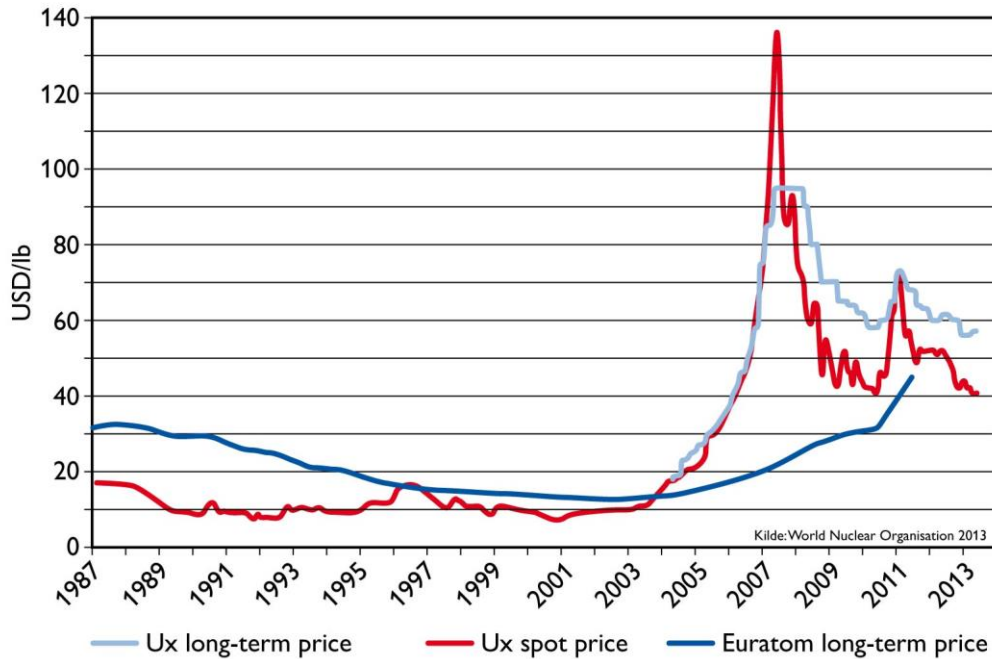
Uran handles både på 1) langtidskontrakter (Prime Contracting Period), hvor der aftales fast pris op til 10 år inden leveringen og mid-term-markeder, som har faste priser 2-5 år frem i tiden og 2) på spotmarkeder med levering inden for cirka et år. Langtidskontrakter indgås typisk mellem et mineselskab (og/eller en yellowcake-producent) og ejerne af et kernekraftværk om levering for en given periode. Leveringerne starter typisk 2-4 år efter at kontrakten er indgået. Periodelængden er delvist bestemt af køberens geografiske placering, fx er længden typisk 5 år i USA, 10 år i Europa og 15 år i Japan. Priserne aftales bl.a. på grundlag af inflationsrater, referencepriser og årlige prisjusteringer; der kan endvidere indgås delaftaler om fleksibilitet i leverancer, maksimum- og minimumpriser. Euratom Supply Agency forsøger at følge prisudvikling for uran handlet på kontrakter og rapporterer månedligt disse priser. Langtidskontraktpriserne for 2012 udgjorde ved årets start USD 63/pund  $U_3O_8$ , og med en række fluktuationer over året faldt prisen til USD 56/pund  $U_3O_8$  ved årets udgang.

Uran, som handles på spotmarked, er typisk uran fra mindre miner, som ikke kan garantere levering af store mængder over en lang periode. Spotmarkedet har ændret sig over de seneste ti år; fra at køberne helt overvejende bestod af brugerne, til i dag hvor køberne består af fire næsten lige store grupper: brugere, producenter, forhandlere og finansielle grupper. Der foretages også opkøb af uran med spekulation for øje, og de store uranproducenter udbyder også uran på spotmarkedet, og realisering af uranlagre er endt på spotmarkeder. Spotmarkedets andel af det samlede marked har været meget fluktuerende i de senere år, og der er modstridende oplysninger om, hvor stor andel spotmarkedet udgør. Hall & Coleman (2012) skønner, at spotmarkedet i 2009 udgjorde ca. 20 % af efterspørgslen og ca. 30 % af produktionen, hvorimod TradeTech (2012) vurderer spotmarkedet for 2011 til kun at udgøre ca. 15 % af produktionen (Tabel 21).

**Tablet 21.** Fordeling af omfanget af langtidskontrakter og spotmarked for 2011. Kilde: TradeTech (2012).

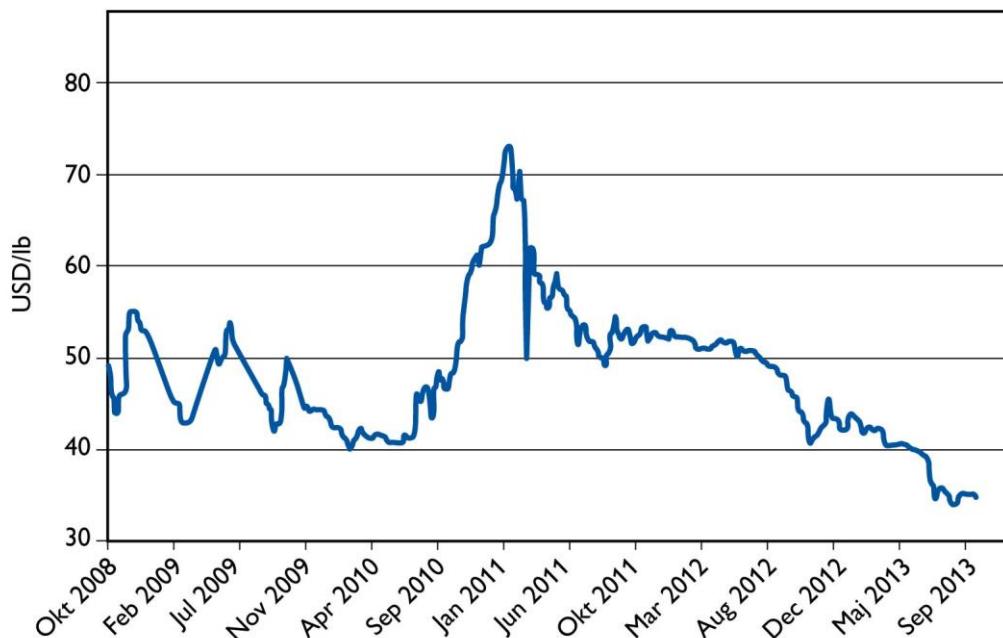
	Primære uranprodukter ca. 75 %	Sekundære uranprodukter ca. 25 %
Spotmarked udgør ca. 15 %	7 %	8 %
Langtidskontrakter udgør ca. 85 %	68 %	17 %

Prisforskellen på de to grupper er almindeligvis ikke stor, men spekulationer i uran-spotmarkedet i 2006 til 2009 tvang priserne op med det resultat, at priserne mellem spotmarked og kontrakter blev afkoblet. Prisudviklingen for uran i perioden 1987 til 2013 er vist i Figur 27, hvoraf det ses, at der er betydelige forskelle mellem spotmarkedspriser og EURATOM's priser for langtidskontrakter. Spotmarkedspriserne kan derfor kun med forbehold anvendes til beregning af prisen for uranbrændsel. Spotmarkedspriserne er ikke knyttet til de faktiske produktionsomkostninger, men udfylder den umiddelbare efterspørgsel.



**Figur 27.** Uranprisernes udvikling i perioden 1987 til 2013. Kilde: World Nuclear Association (2013).

Historisk set er spotmarkedspriserne mere svingende end langtidskontraktpriserne. Eksempelvis var spotmarkedsprisen i begyndelsen af 2012 USD 52/pund  $U_3O_8$ ; i november var den faldet til USD 40,75/pund  $U_3O_8$ , og den sluttede i USD 43,50/pund  $U_3O_8$  ved udgangen af 2012 (Figur 28). Spotmarkedspriserne på New York Metal Exchange har været



**Figur 28.** Spotmarkedspriser for uran på New York Metal Exchange. De faldende priser tilskrives de fleste analytikere Fukushima-ulykken.



faldende siden april 2011, hvilket analytikerne hovedsageligt tilskriver Fukushima-ulykken i Japan, samt at der er store lagre af uran, som var øremærket til Japans 50 kernekraftreaktorer. Flere analytikere forventer snarlige prisstigninger, da der er risiko for, at de første mangelsituationer kan indtræffe i 2020. Cantor Fitzgerald forventer, at gennemsnitsspotmarkedspriserne (Fitzgerald, 2013) for 2014 vil være omkring 62,5 USD/pund  $U_3O_8$  og for 2016 omkring 70 USD/pund  $U_3O_8$ , mens TradeTech (2012) forventer uranpriser på omkring 80 USD/pund  $U_3O_8$  i 2025.

## 6.1 Sammenfatning – prisudvikling

- Uran handles både på langtidskontrakter (op til 15 års leveringsaftaler) og på et spotmarked. Spotmarkedet har i en årrække udgjort omkring 15 % af markedet, men steg i 2013 betydeligt.
- Der har traditionelt ikke været store forskelle mellem priserne på de to markeder, men spotmarkedspriserne er vekslende. Siden 2007 er priserne på de to markeder afkoblet på grund af spekulative opkøb, og spotmarkedspriserne steg voldsomt men er siden 2011 faldet igen til omkring 35 USD/pund som følge af Fukushima-ulykken.
- De lave uranpriser bevirker, at kun de mest rentable miner kan opretholde produktionen.

## 7 Begrebsforklaring

**Berigning af uran.** Uran er et grundstof (nummer 92), som findes i naturen i alle slags bjergarter, jord og vand, men normalt kun i små mængder. Det er et gråligt, svagt radioaktivt metal med en massefylde på  $19 \text{ g/cm}^3$ . Kemiske forbindelser med uran, særligt de såkaldte uranylforbindelser, er opløselige og giftige.

I granitbjergarter er der omkring 4-5 gram uran per ton granit og i sandsten typisk 2-3 gram uran per ton bjergart. I bjergarterne er uran bundet til bestemte uranminerale; de øvrige minerale i bjergarterne indeholder ikke uran. Der findes mange forskellige uranminerale, hvoraf uraninit og begblende er de mest almindelige.

I lighed med mange andre grundstoffer findes der flere forskellige uran-isotoper, dvs. at uran kan have forskellig atomvægt afhængig af antallet af neutroner i atomkernen. Naturligt uran består af 99,3 % uran med atomvægt 238, kaldet uran-238 (eller  $^{238}\text{U}$ ) og 0,7 % uran med atomvægt 235, kaldet uran-235 (eller  $^{235}\text{U}$ ). Det er uran-235, som bruges i kernekraftreaktorer og kernevåben. Det uran, der udvindes fra uranminer, kan ikke bruges direkte til hverken almindelige kernekraftværker eller til våben, da det indeholder for lidt uran-235. Derfor skal naturligt uran først gennemgå en proces, som ændrer på forholdet mellem uran-238 og uran-235 – det bliver "beriget", så indholdet af uran-235 øges. Uran der benyttes til kernekraft skal sædvanligvis indeholde mindst 3 % uran-235, mens uran til kernevåben skal indeholde mere end 85 % uran-235.

Berigningsprocessen er kompliceret og kræver industrielle anlæg og stor teknisk ekspertise. Kun få lande råder over denne teknologi. Derimod har næsten alle lande, der har uranmalm i deres undergrund, teknologi til at bryde malmen og udvinde det naturligt forekommende uran fra de uranholdige minerale og fremstille uranoxid, også kaldet yellowcake ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ).

**Biprodukt og co-produkt.** Biprodukt er et materiale med en vis værdi, som kan ekstraheres fra malmen, men som ikke er det vigtigste produkt; eksempelvis er sølv ofte et biprodukt i bly- og zinkmalm, og uran kan være et biprodukt i sjældne jordartsmetal forekomster. Co-produkt er et biprodukt, hvor værdien er tæt på hovedproduktet; eksempelvis kan palladium være et co-produkt til platin.

**Dekommissionering.** Betegnelsen for nedlukning af nukleare anlæg, herunder klassificering af nukleart affald og opbevaring af dette.

**Forarmet uran.** Berigningen af uran-235 efterlader forarmet uranfluorid med kun ca. 0,2 % uran-235. Med brint eller CFC (Klor-fluor-carbon gasser) kan det forarmede uranfluorid reduceres til  $\text{UF}_4$ , og derefter kan det behandles med calcium eller magnesium for at producere metallisk uran. Både naturligt og beriget uran anvendes til reaktorbrændsel, oftest legeret med aluminium, molybdæn eller niobium. Forarmet uran anvendes til afskærmning af kraftige røntgen-, gamma- og neutronstråler, hvor pladsen er trang, fx i udstyr til udtagning af brændselelementer fra reaktorer, samt ved stråleterapi og transport af højaktive isotoper. Urans høje densitet begrundes også anvendelsen af forarmet uran i kampvogns-

panser og i panserbrydende projektiler. Forarmet uran blev første gang anvendt i kamp af amerikanerne under Golfkrigen i 1991, og NATO anvendte det i Kosovo i 1999. I begge tilfælde er brugen af forarmet uran i projektiler under mistanke for at være sygdomsfremkaldende for soldater og civile, der har været i kontakt med stoffet. Det er først og fremmest urans skadelige kemiske virkninger som tungmetal, der er i søgelyset. Flere NATO-lande, bl.a. Danmark, har i 2001 iværksat undersøgelser af soldater, som har været udstationeret i områder, hvor forarmet uran har været anvendt.

**Forekomst.** Se mineralisering.

**Heap Leaching (HL).** Produktionsmetode, hvor udsprængt malm samles i meget store bunker og løbende oversprinkles med syre eller base (lud), som opløser de ønskede metaller, der derefter opsamles i et dræningssystem under bunken. Metoden anvendes i et vist omfang også til uran.

**Identified resource.** Ressourcegruppe som omfatter påviste ressourcer. Identificerede ressourcer udgør en del af RAR.

**Indicated Resource.** Den del af ressourcen, som er indikeret ved hjælp af boringer og bestemt med ret stor sikkerhed; indicated resources udgør en del af RAR.

**Inferred Resource (IR).** Den del af ressourcen, som er skønnet på basis af få efterforskningsboringer og dermed ikke er velbestemt.

**In-situ Leaching (ISL).** Produktionsmetode baseret på at de uranholdige mineraler, der findes under jorden, ved en kontrolleret proces kan opløses, og det opløste uran kan pumpes op til overfladen til videre behandling. Væskens sammensætning bestemmes af, hvilke uranmineraler forekomsten indeholder, og kan være både syrer og baser.

**Malm.** Anvendes både i betydningen *malm-mineraler*, som normalt er metalholdige oxider eller sulfider, og i betydningen *malm-reserve*, som er den del af bjergarten, som er bryde-værdig set både økonomisk og teknisk.

**Mineralisering.** Når geologer finder de første tegn på, at noget kan være økonomisk interessant, men der er meget få konkrete data, omtales et sådant fund som en mineralisering. Hvis mineraliseringen ved nærmere undersøgelser viser sig at være økonomisk interessant, taler man om en forekomst.

**Omsætningsforhold.**

1 ton  $U_3O_8$  = 0.769 ton U

$U_3O_8$  består af 84,8 % U + 15,2 % O

**ppm.** Parts per million (1/1.000.000) – svarende til 1 gram per ton.

**Radioaktivitet.** Byggestenene til alt stof i universet er atomer. Nogle atomer er ustabile, og der sker en spontan ændring af de enkelte atomer, som skyldes, at atomkernen ikke er i balance, idet der er et misforhold mellem antallet af neutroner og protoner i kernen. Disse ændringer kaldes radioaktivitet, og under denne proces sker der en ændring af atomet, og der udsendes stråling i form af partikler og/eller elektromagnetisk stråling. Man taler om, at

det radioaktive materiale henfalder, dvs. ændres over tid, så radioaktiviteten aftager, og der dannes et andet grundstof, fx radium og radon. Efter en given tid er halvdelen af stoffets atomer henfaldet; dette tidsrum omtales som isotopets halveringstid. Hvert isotop er karakteriseret ved dens halveringstid. Et stærkt radioaktivt stof har kort halveringstid, og tilsvarende har et svagt radioaktivt stof lang halveringstid. Uran-238 henfalder til bly-206 og har en halveringstid på 4,5 mia. år; uran-235 henfalder til bly-207 og har en halveringstid på ca. 700 mio. år. Uran-238 og uran-235 er begge lavradioaktive, men nogle af deres henfaldsprodukter har meget korte halveringstider og er derfor højradioaktive.

**Reasonably Assured Resource (RAR).** Den rimeligt sikkert påviste forekomst, inklusiv identificerede og indikerede ressourcer.

**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.

**Tailings.** Ved alle mineoperationer sorteres produktmineralet fra de mineraler, som betragtes som værdiløse; denne sidste del er tailings. Tailings udgør almindeligvis langt den største del af materialet og opbevares/deponeres næsten altid i ubrudte dele af minen eller i nærheden af minen.

**Yellowcake.** Yellowcake består af uranoxid, som er et urankoncentrat-pulver, som fremkommer efter, at uran er ekstraheret fra de uranholdige mineraler, og denne opløsning er filtreret og tørret. Yellowcake er det udgangsmateriale, som anvendes til fremstilling af næsten alle typer af uranprodukter, hvoraf uranbrændsel til kernekraftværker er langt den største gruppe. Yellowcake indeholder typisk 80 % uran.

## 8 Yderlig information om uran og kernekraft

**Tabel 22.** Yderligere information om uran og kernekraft kan eksempelvis hentes fra nedenstående web-adresser.

Organisation	Hjemmeside
Atomkraft og elproduktion	akraft.dk
Beredskabsstyrelsen	brs.dk
Canadian Nuclear Safety Commission	nuclearsafety.gc.ca
DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi	dce.au.dk
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)	geus.dk
DTU Nutech – Center for Nukleare Teknologier	nutech.dtu.dk
EURATOM – The European Atomic Energy Community	euratom.org
Geoscience Australia – Australian Government	ga.gov.au
Greenpeace Danmark	greenpeace.org/denmark/da
International Atomic Energy Agency	iaea.org
International Energy Agency	iea.org
Keep the Ban	keeptheban.org
Natural Resources Canada	nrcan.gc.ca
Nuclear Energy Institute	nei.org
Nunavut Impact Review Board	nirb.ca
OECD Nuclear Energy Agency	oecd-nea.org
Reel Energi Oplysning (REO)	reo.dk
Miljøstyrelsen for Råstofområdet, Grønland	naalakkersuisut.gl
Statens Institut for Strålebeskyttelse	sis.dk
Stop Nuclear	stopnuclear.org
The European Atomic Forum	foratom.org
U3O8.biz	u3o8.biz
United States Nuclear Regulatory Commission	nrc.gov
U.S. Energy Information Administration	eia.gov
U.S. Geological Survey Energy Resources Program	energy.usgs.gov/OtherEnergy/Uranium
U.S. Nuclear Regulatory Commission	nrc.gov
U.S. Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)	unscear.org
Western European Nuclear Regulators Association	wenra.org
World Information Service on Energy (WISE)	wiseinternational.org
World Nuclear Association	world-nuclear.org
World Nuclear News	world-nuclear-news.org

## 9 Referencer

- Committee on Uranium Mining in Virginia, Committee on Earth Resources, National Research Council, 2012: Uranium Mining in Virginia. Scientific, Technical, Environmental, Human Health and Safety, and Regulatory Aspects of Uranium Mining and Processing in Virginia. 345 p.
- CRU Strategies (2010): Outlook for uranium mining cost. Foredrag af Ian Hiscock på konferencen Industrial Metals, Minerals and Movable Energy Investment Summit 2010, 30. Nov. 2010.
- Fitzgerald, C. (2013): [www.businessinsider.com/uranium-is-set-for-a-violent-move-higher-2013-10](http://www.businessinsider.com/uranium-is-set-for-a-violent-move-higher-2013-10), Business Insider.
- Greenland Minerals & Energy: [www.ggg.gl](http://www.ggg.gl)
- Greenland Minerals & Energy: Offentligt møde, februar 2013
- Hall, S. & Coleman, M. 2012: Critical analysis of world uranium resources. U.S. Scientific Investigations Report 2012-5239, 56 p.
- Hong Kong Nuclear Investment Company Ltd.: [www.hkcnuclear.com/nuclear/power/cycle/miningandmilling/pages/miningandmilling.aspx](http://www.hkcnuclear.com/nuclear/power/cycle/miningandmilling/pages/miningandmilling.aspx)
- IAEA, 2009: World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO) with uranium deposit classification. International Atomic Energy Agency Technical Documents (IAEA-TECDOC) 1629, 109 p.
- IAEA, 2013: Nuclear Technology review 2013; Report by the Director General. GC (57)/INF/2, 22 July 2013, 69 p.
- JSC AtomRedMetZoloto, Annual Report 2011, approved by shareholders in a general meeting on 29 June 2012 (protocol No 11); 182 p.
- Kalvig, P., Secher, K. og Asmund, G., 2014: 3. reviderede udgave under forberedelse. Information og fakta om udvinding af uran i Grønland. Udgivet af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS, 26 p.
- Keulen, N., Thrane, K., Stensgaard, B.M. and Kalvig, P. 2014: An evaluation of the potential for uranium deposits in Greenland. MiMa report 2014/1, 87 p.
- Lauritzen, B. og Ølgaard, P.L. 2012: Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011. DTU-Nutech-2.
- Naalakkersuisut & Regeringen, 2013: Rapport om udvinding og eksport af uran. Arbejdsgruppen om konsekvenserne af ophævelse af nul-tolerancepolitikken. Oktober 2013. 182 p.
- NEA-IAEA, 2010: Uranium 2009 – Resources, production and demand, Organization for Economic Co-operation and Development Publishing, 456 p.
- New York Times, 2014: [www.nytimes.com/2014/02/26/world/asia/japan](http://www.nytimes.com/2014/02/26/world/asia/japan)
- OECD, 2012: Uranium 2011: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. NEA No. 7059; 489 p.
- TradeTech, 2012: Treva Klingbiel: The reality of the uranium market. Presentation at the MINExpo International 2012.
- U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey, 1980: Principles of a Resource/Reserve Classification For Minerals. U.S. Geological Survey Circular 831, 12 p.
- U.S. Energy Information Administration, 2010: Annual Energy Outlook 2010 – with Projections to 2035, 221 p.

Ux Consulting Company LLC 2010: The 2010 Uranium suppliers annual: The Ux Consulting Company, LLC special report, 500 p.

Vestergaard, C., DIIS, november 2013, personlig kommunikation.

Woods, P. 2012: Uranium Resource Availability to Support Global Expansion of Nuclear Energy Systems. Presentation: INPRO Dialogue Forum August 2012, Vienna, Austria.

World Nuclear Association, World Uranium Mining Production, 2011: [www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production](http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production)

World Information Service on Energy (WISE): [www.wise-uranium.org](http://www.wise-uranium.org)



## MiMa Rapport 2014/2

### Uran – fra efterforskning til efterspørgsel

'Uran - fra efterforskning til efterspørgsel' giver en oversigt over den del af den globale uranindustri, som omfatter uranefterforskning, brydning af uranforekomster og fremstilling af yellowcake (halvfabrikata til brændselsstave til kernekraftværker). Rapporten redegør for typer af geologiske forekomster, og giver en opgørelse af verdens kendte uranressourcer. Som for øvrige mineralske råstoffer skelner man mellem kendte ressourcer (forekomster som måske kan udnyttes - når teknologi og marked tillader udvinding) og egentlige reserver (forekomster som med sikkerhed kan udnyttes rentabelt). På baggrund af kendte ressourcer og reserver og internationale aktørers og landes hidtidige aktiviteter giver rapporten en gennemgang af forventningerne til uranforbruget i et 20-årigt perspektiv - og angiver de mest sandsynlige produktionslande og produktionsmetoder.

Videncenter for Mineraler og Materialer (MiMa) er et rådgivende center under De Nationale Geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). MiMa formidler viden om mineralske ressourcers værdikæde fra efterforskning og udvinding til forbrug, genbrug og udviklingen af nye teknologier.