

# En ny generation kärnreaktorer?

*Ingmar Persson*

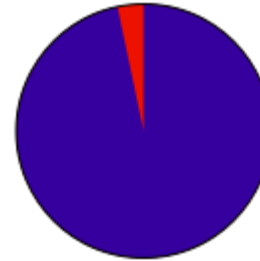
*Kärnavfallsrådet*

*professor i oorganisk och fysikalisk kemi,  
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala*

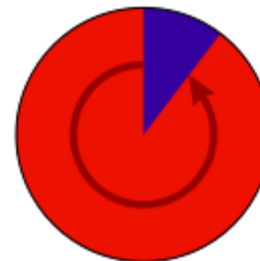
# Anrikningsgrader av uran-235



Natural uranium  
> 99.2% U-238  
0.72% U-235

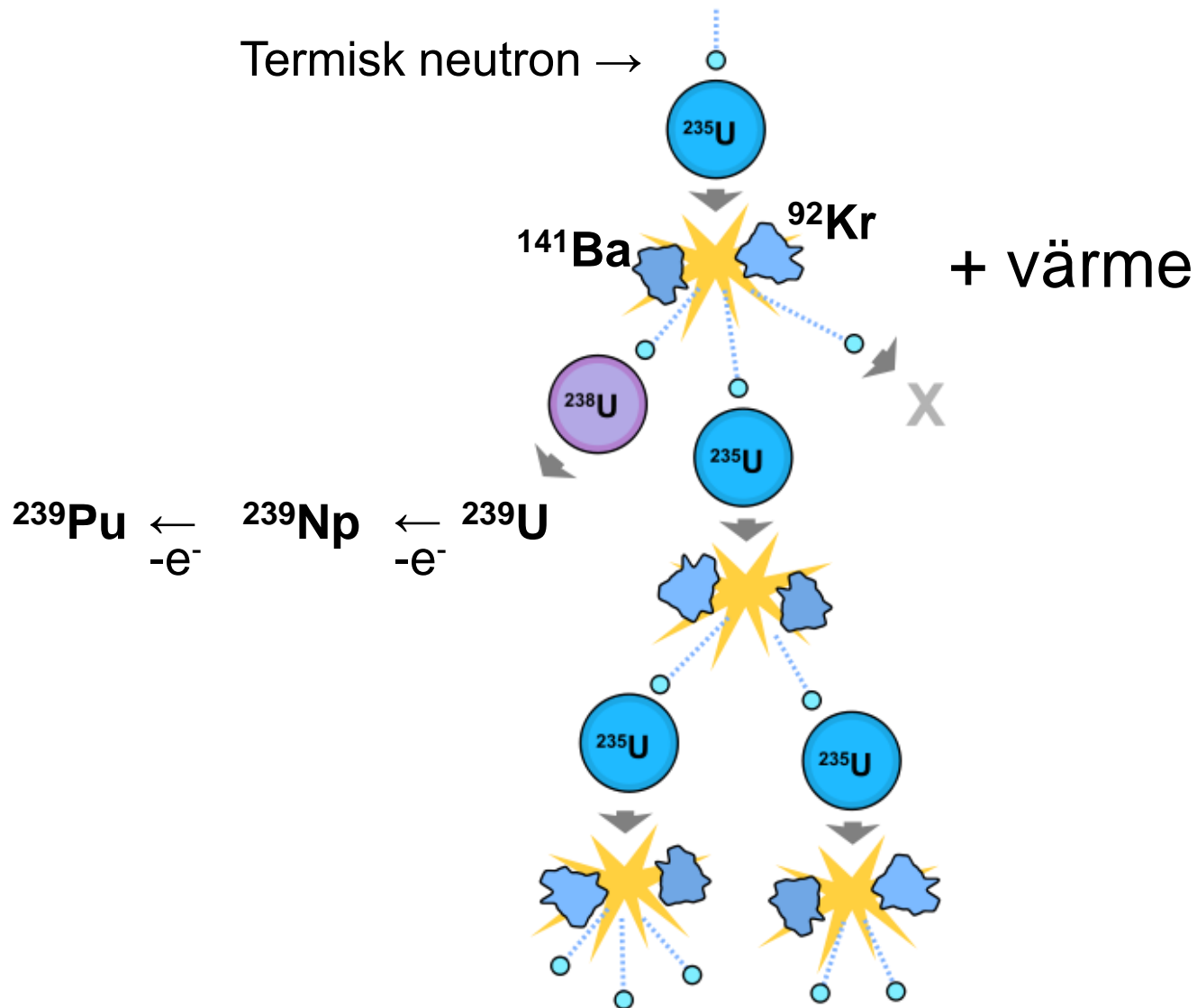


Low-enriched uranium  
(reactor grade)  
3-4% U-235



Highly enriched uranium  
(weapons grade)  
90% U-235

# Klyvning av uran-235



## *Uranproduktion i ton $U_3O_8$ per år 2008-2015*

	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Kazakhstan	8521	14020	17803	19451	21317	22451	23127	23800
Kanada	9000	10173	9783	9145	8999	9331	9134	13325
Australien	8430	7982	5900	5983	6991	6350	5001	5672
Niger	3932	3243	4198	4351	4667	4518	4057	4116
Namibia	4366	4626	4496	3258	4495	4323	3255	2993
Ryssland	3521	3564	3562	2993	2872	3135	2990	3055
Uzbekistan (est.)	2283	2657	2874	3000	2400	2400	2400	2385
USA	1430	1453	1660	1537	1596	1792	1919	1256
Kina, FR (est.)	769	750	827	885	1500	1500	1500	1616
Ukraina	800	840	850	890	960	922	926	1200
Sydafrika	539	655	563	583	465	531	573	393
Indien (est.)	271	290	400	400	385	385	385	385
Malawi		104	670	846	1101	1132	369	0

*Källa: World Nuclear Association (Maj 2016)*

# Prisutvecklingen hos uran

USD/lb



Källa: VA Finans (april 2017); <http://www.vafinans.se/ravaror/uranpris>

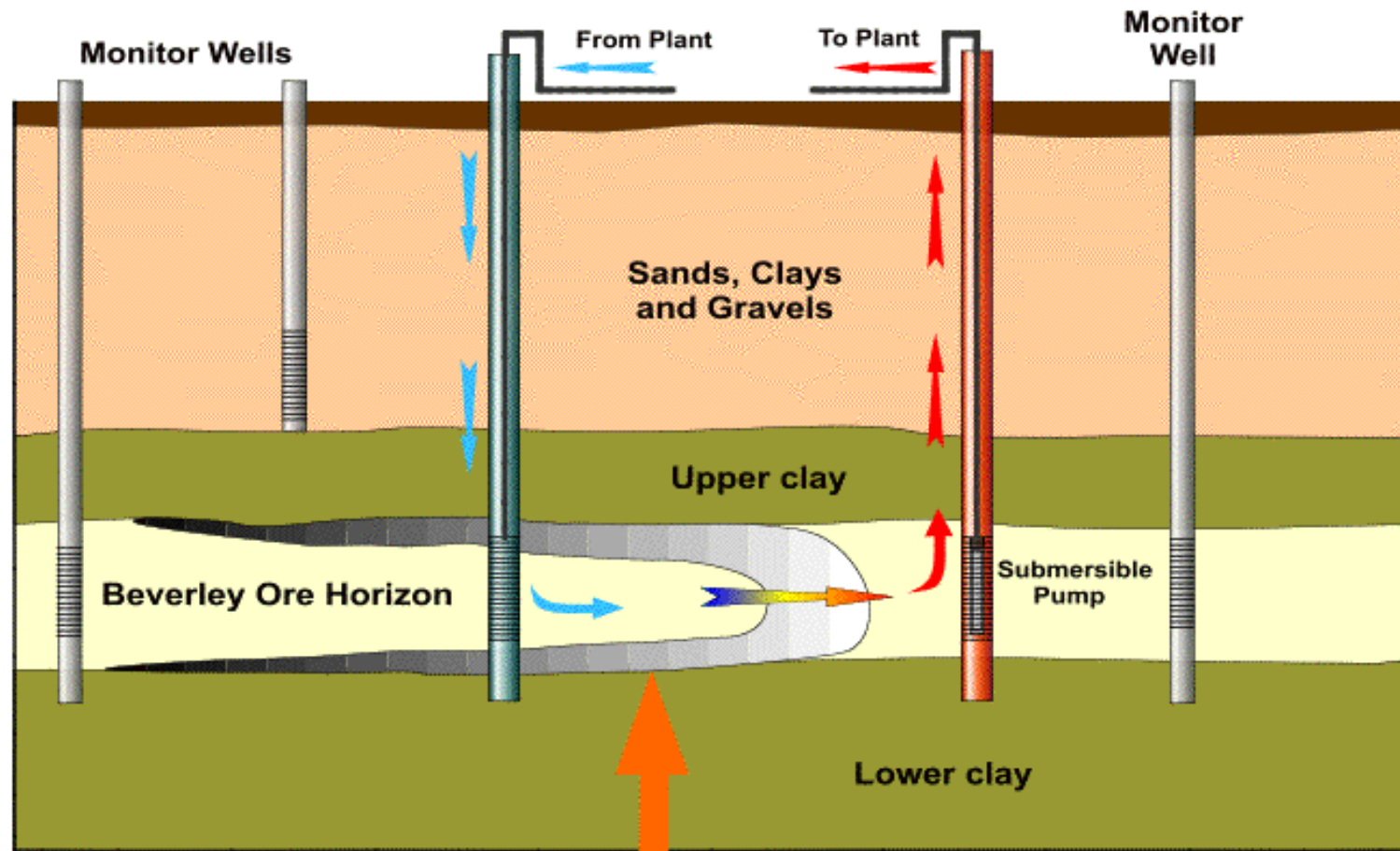
# Översikt av kärnkraftsläggningar och årligt behov av U

	<i>I produktion</i>	<i>Under konstruktion</i>	<i>Planerade</i>	<i>Föreslagna</i>	<i>U behov/ton</i>
USA	99	4	18	24	18161
Frankrike	58	1	0	1	9211
Japan	43	2	9	3	680
Ryssland	35	7	25	23	6264
Kina FR	35	22	46	136	5338
Sydkorea	25	3	8	0	5013
Indien	22	5	20	44	1077
Kanada	19	0	2	3	1630
Ukraina	15	0	2	11	2251
Storbritannien	15	0	4	9	1734
<i>Sverige</i>	9	0	0	0	1471
Tyskland	8	0	0	0	1689
Belgien	7	0	0	0	1015

*Källa: World Nuclear Association (Januari 2017)*

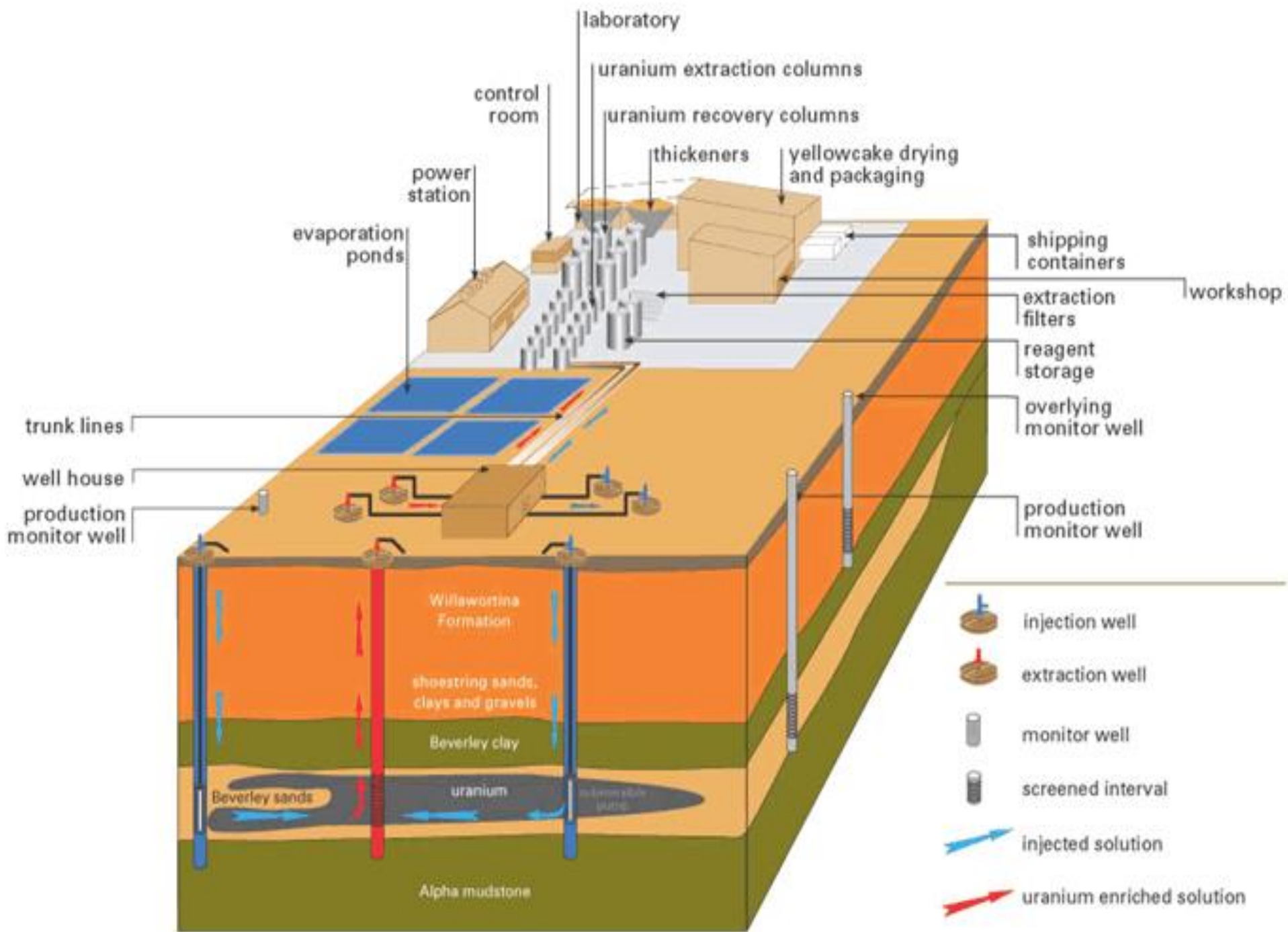
# Uranproduktion per metod

	ton U	%
In situ-lakning	29,197	48
Gruva och dagbrott	27,791	46
Biprodukt	3,525	6
<b>Total</b>	<b>50,513</b>	



**Uranium Deposit**





# Ranger – dagbrott

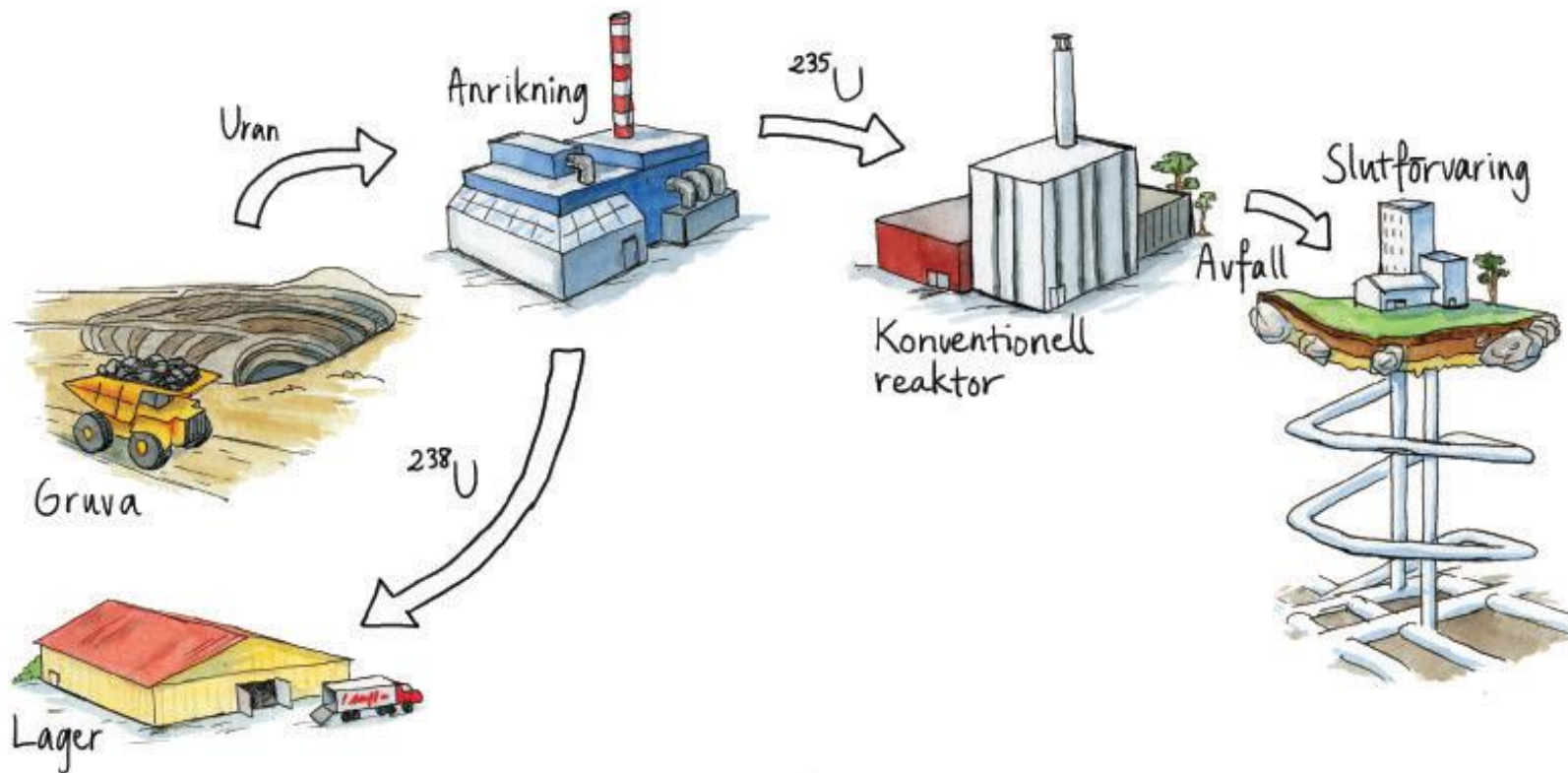


# Rangeranläggningen



*Aerial view of Ranger Mine and Plant*

# Dagens system



Källa: Westlén, D. *Fjärde generationens kärnkraft – Teknik, möjligheter och förutsättningar*, Energiforsk AB, **2016**, ISBN-978-91-7673-317-2;  
<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21817/fjarde-generationens-karnkraft-energiforskrappport-2016-317.pdf>

# Generation IV-systemet

- En reaktor som klyver med snabba neutroner, s.k. breedreaktorer, även om andra koncept mer termiska eller epitermiska neutroner förekommer

# Generation IV-systemet

- En reaktor som klyver med snabba neutroner, s.k. breedreaktorer, även om andra koncept mer termiska eller epitermiska neutroner förekommer
- En anläggning som separerar de användbara ämnena ur det använda kärnbränslet från det slutliga avfallet

# Generation IV-systemet

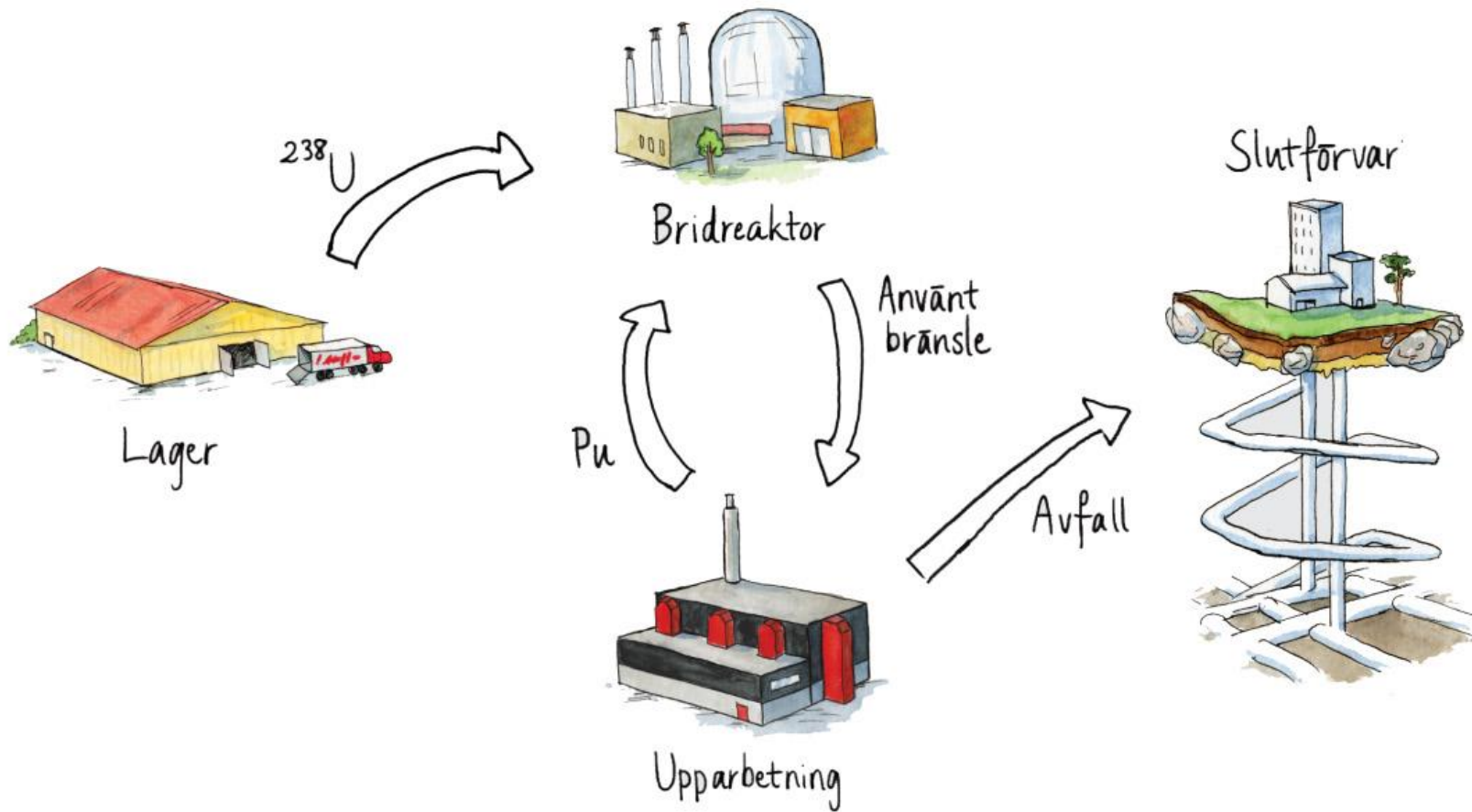
- En reaktor som klyver med snabba neutroner, s.k. breedreaktorer, även om andra koncept mer termiska eller epitermiska neutroner förekommer
- En anläggning som separerar de användbara ämnena ur det använda kärnbränslet från det slutliga avfallet
- En anläggning som tillverkar nytt kärnbränsle av de återvunna grundämnena, huvudsakligen uran och plutonium

# Generation IV-systemets fördelar

- Befintligt uran är tillräckligt, och nytt uran behöver inte brytas
- Bättre energiutnyttjande av uranet
- Mindre mängder kärnavfall behöver deponeras
- Tiden för att förvara kärnavfallet från Generation IV-systemet åtskilt från biosfären är betydligt kortare än för det kärnbränsle som produceras i Sverige idag.



# Generation IV-systemet



Källa: Westlén, D. *Fjärde generationens kärnkraft – Teknik, möjligheter och förutsättningar*, Energiforsk AB, 2016, ISBN-978-91-7673-317-2;  
<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21817/fjarde-generationens-karnkraft-energiforskrapport-2016-317.pdf>

# Internationell forskning på transmutation och snabba kärnreaktorer

- Forskning och utveckling är extremt dyr
- Ryssland, Frankrike, Kina, Indien
- ASTRID-projektet i Frankrike
- Ryssland mest framgångsrikt, men med stora problem

# Generation IV-verksamhet i Sverige

- KTH – reaktordesign och uranbaserade kärnbränslen
- Chalmers – separationsprocesser av använt kärnbränsle och tillverkning av nya typer av kärnbränslen
- Uppsala universitet - kärnämneskontroll

# Slutsatser

- Termiska reaktorer som kyls och modereras med vanligt eller tungt vatten av de typer som används idag kommer att vara fullständigt dominerande de närmaste 50 åren.

# Slutsatser

- Termiska reaktorer som kyls och modereras med vanligt eller tungt vatten av de typer som används idag kommer att vara fullständigt dominerande de närmaste 50 åren.
- Transmutation kommer inte att vara en generell metod för att minska volymen kärnavfall eller förkorta tiden för säker lagring åtskild från biosfären under förutsägbar tid.