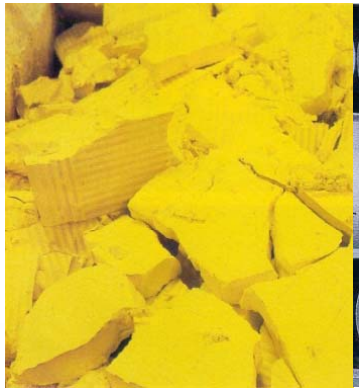
Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences

Uran: Vom Erz zum Brennstab



Pechblende, La Creusa/Wallis, Foto und Copyright: Thomas Seilnacht





Fachhochschule Münster University of Applied Sciences

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Angaben zu Uran

2. Geschichte

3. Vorkommen auf der Erde

4. Urangewinnung

5. Urananreicherung

6. Herstellung von Brennelementen

7. Zukunft der Kernenergie

8. Quellen

1. Allgemeine Angaben zu Uran



- Symbol: U
- Ordnungszahl: 92
- Atommasse: 238,0 g/mol
- Dichte: 19,16 g/cm³
- Elektronenkonfiguration: [Rn]5f³6d7s²
- Oxidationszustände: +6,+5,+4,+3

1. Allgemeine Angaben zu Uran

Isotope					
Isotop	NH	$t_{1/2}$	ZM	ZE MeV	ZP
^{232}U	{syn.}	68,9 a	α (100 %)	5,414	^{228}Th
			SF (^{24}Ne 8,9 · 10^{-10} %)		
^{233}U	{syn.}	1,592 · 10^{5} a	α (100 %)	4,824	^{229}Th
			SF (< 6 · 10^{-9} %)		
^{234}U	0,0055 %	2,455 · 10^{5} a	α (100 %)	4,774	^{230}Th
^{235}U	0,72 %	7,038 · 10^{8} a	α (100 %)	4,398	^{231}Th
			SF (7,0 · 10^{-9} %)		
			^{20}Ne (8 · 10^{-10} %)		
^{235m}U	{syn.}	26 min	IT (100 %)	< 1	^{235}U
^{236}U	in Spuren	23,42 · 10^{6} a	α (100 %)	4,494	^{232}Th
			SF (9,6 · 10^{-8} %)		
^{236m}U	{syn.}	121 ns	SF (0,013 %)	< 1	
^{236m}U	{syn.}	115 ns	IT (87 %)	2,750	^{236}U
			SF (13 %)		
			α (< 10 %)	7,322	^{232}Th
^{237}U	{syn.}	6,75 d	β^- (100 %)	0,519	^{237}Np
^{238}U	**99,27 %**	4,468 · 10^{9} a	α (100 %)	4,270	^{234}Th
			SF (5,45 · 10^{-5} %)		
			$\beta^-\beta^-$ (2,2 · 10^{-10} %)		^{238}Pu
^{239}U	{syn.}	23,45 min	β^- (100 %)		^{239}Np

2. Geschichte

- 1789 entdeckte Martin Heinrich Klaproth (Chemieprofessor) das Element Uran. Er isolierte es aus dem Mineral Pechblende.
- 50 Jahre später gelang es dem Franzosen Eugèn Peligot das reine Uranmetall zu isolieren.
- Es wurde bis ins 20. Jahrhundert zum Färben von Glas und Keramiken eingesetzt.
- 1896 entdeckte Henri Becquerel die Radioaktivität des Elements.
- 1938 spalteten Otto Hahn und Fritz Straßmann erstmals Uranatome durch Neutronenbeschuss.
- 1942 ging der erste primitive Kernreaktor in Chicago in Betrieb.

2. Geschichte







3. Vorkommen

Uran kommt auf der Erde nicht gediegen vor.

Es sind rund 230 Uranmineralien bekannt.

Bedeutende Uranminerale sind:
Brannerit, Uraninit, Tornernit, Heinrichit, Carnotit, Coffinit und Uranophan.

Im normalen Boden kommt Uran als Spurenelement vor. Nach Schätzungen befinden sich in den oberen 33 cm des Erdboden ca. 1,5 Tonnen Uran pro Quadratkilometer.

3. Vorkommen



Carnotit
$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$



Uraninit
UO_2

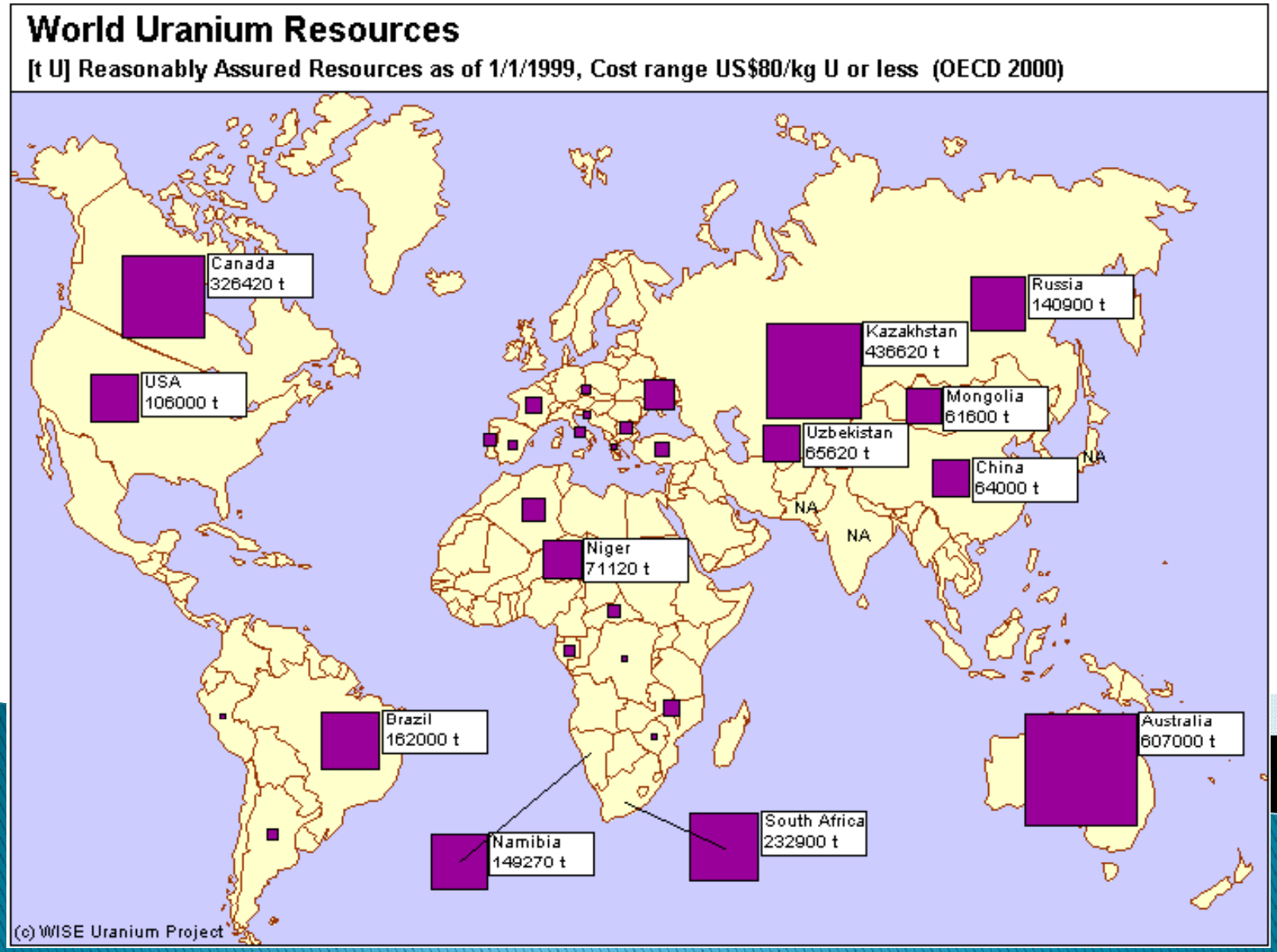


Torbernit
$Cu[UO_2|PO_4]_2 \cdot 10\text{-}12H_2O$



Uranophan
$Ca[UO_2|SiO_3OH]_2 \cdot 5H_2O$

3. Vorkommen


World Uranium Resources
[t U] Reasonably Assured Resources as of 1/1/1999, Cost range US$80/kg U or less (OECD 2000)
Canada 326420 t
USA 106000 t
Russia 140900 t
Kazakhstan 436620 t
Mongolia 61600 t
Uzbekistan 65620 t
China 64000 t
NA
NA
NA
Niger 71120 t
Brazil 162000 t
Australia 607000 t
South Africa 232900 t
Namibia 149270 t
(c) WISE Uranium Project

4. Gewinnung

Die Uranerze werden im Tagebau oder Untertage abgebaut.
Der Erste Schritt zur Anreicherung ist die Laugung der Uranerze.
Diese ist entweder alkalisch oder sauer.

Laugung im Sauren:

$UO_3 + H_2SO_4 \rightarrow UO_2SO_4 + H_2O$

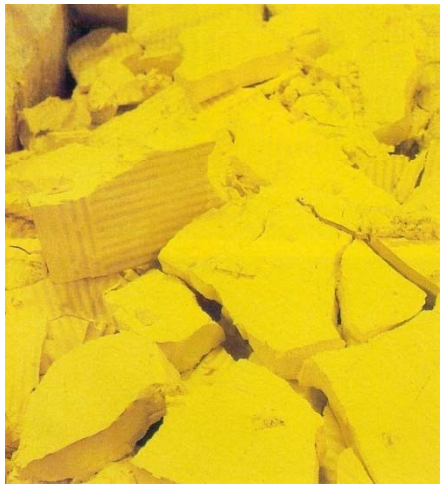
$UO_2 + Fe^{3+} \rightarrow UO^{2+} + Fe^{2+}$

Laugung im Alkalischen:
Erfolgt unter höheren Temperaturen oder höherem Druck
(5-6 bar , 95- 120 °C)

$UO_3 + Na_2CO_3 + 2\ NaHCO_3 \rightarrow Na_4[UO_2(CO_3)_3] + H_2O$

4. Gewinnung

Der Yellow Cake



Fachhochschule Münster University of Applied Sciences

Fällung des Diuranats aus der alkalischen Lösung:
- Fällung mit Natronlauge bei pH > 12 und 80°C

$$2\ Na_4[UO_2(CO_3)_3] + 6\ NaOH \rightarrow Na_2U_2O_7 + 6\ Na_2CO_3 + 3\ H_2O$$

Fällung des Diuranats aus der sauren Lösung:
- Fällung mit Ammoniak bei pH 5

$$2\ UO_2SO_4 + 6\ NH_3 + +3\ H_2O \rightarrow (NH_4)_2U_2O_7 + 2\ (NH_4)_2SO_4$$

5. Anreicherung

Vor der Anreicherung des ^{235}U-Isotopes muss das Uran in eine tiefsiedene Verbindung überführt werden. (UF_6 56,4 °C)

Zuerst wird das Uran, des Yellow cakes, in einen hochreinen Zustand gebracht

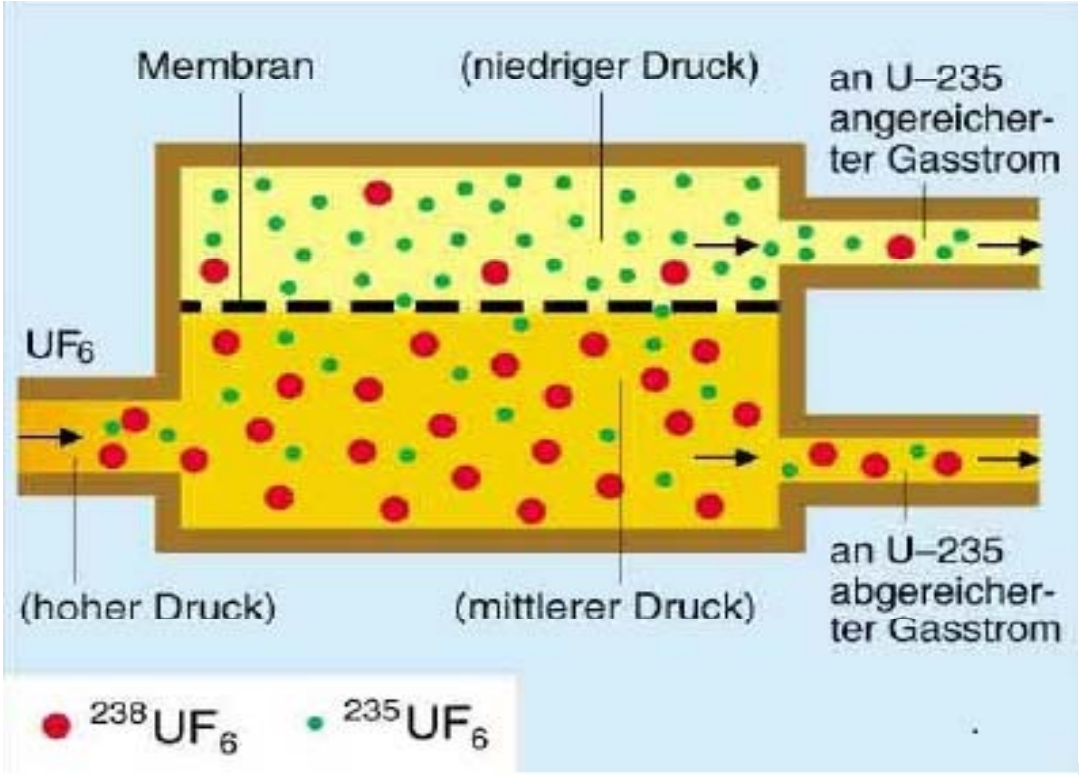
- Nassverfahren zuerst mit Salpetersäure und danach mit Wasserstoff behandelt
- Trockenverfahren wird es bei 540-650 °C mit Wasserstoff

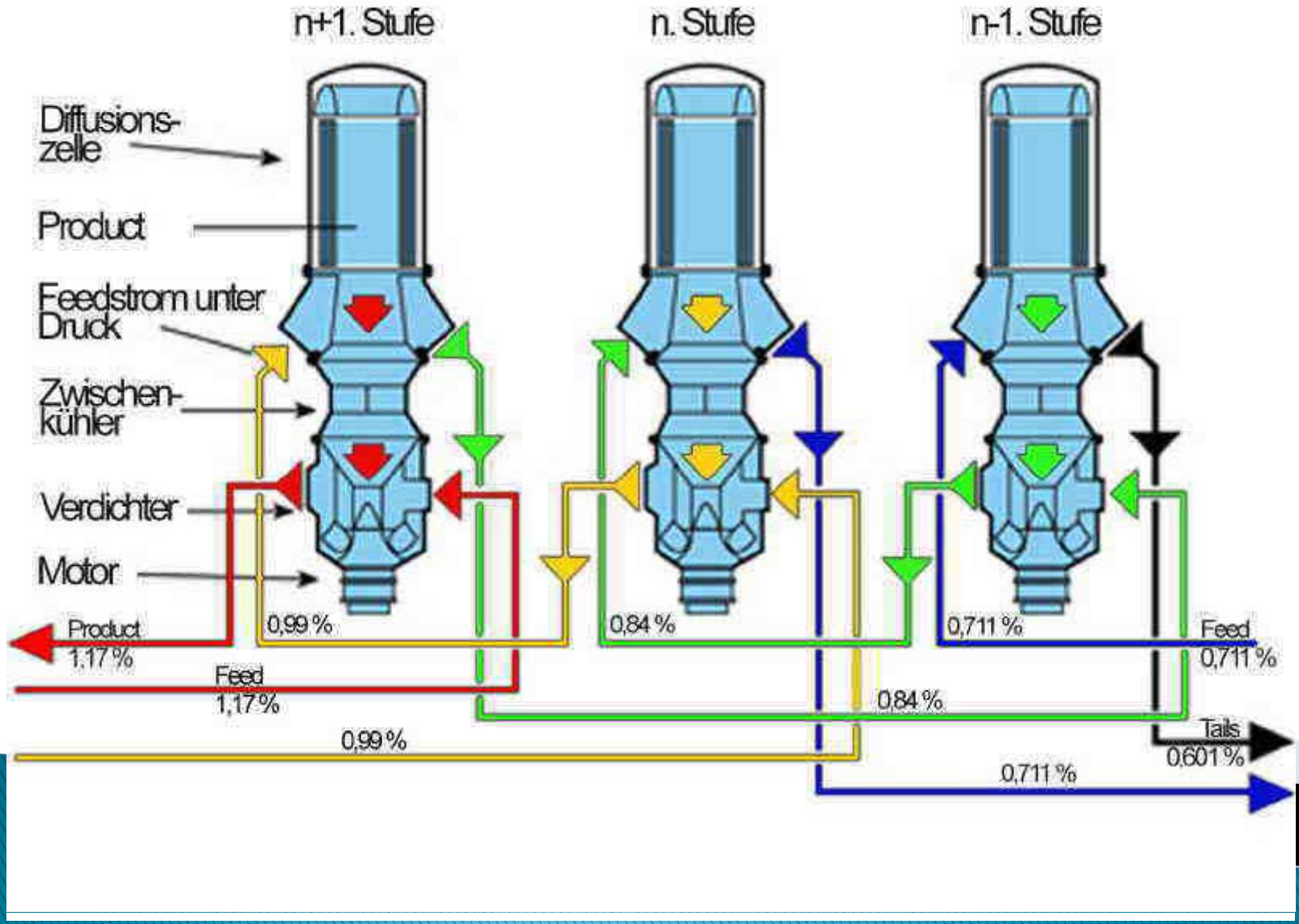
Das hierbei entstandene UO_2 wird mit Flusssäure behandelt und darauf fluoriert

$$UO_2 + 4\ HF \rightarrow UF_4 + 2\ H_2O$$
$$UF_4 + F_2 \rightarrow UF_6$$

5. Urananreicherung

Gasdiffusionsverfahren
- Diffusionsgeschwindigkeit der unterschiedlich schweren Moleküle genutzt
- ^{235}U diffundiert schneller durch die Membran
- Schlechtere Trennung als beim Zentrifugenverfahren
- Kostenintensiv

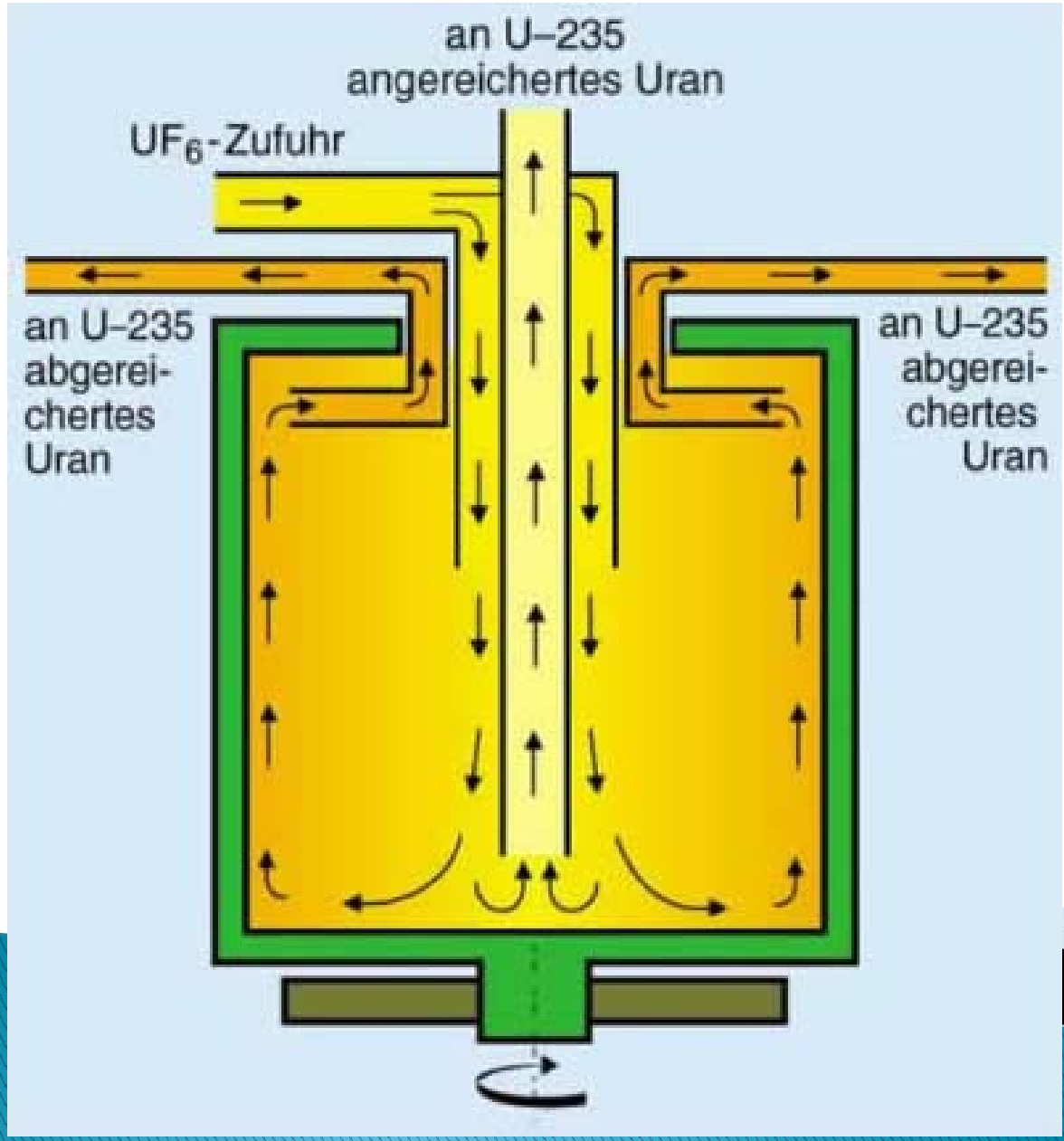


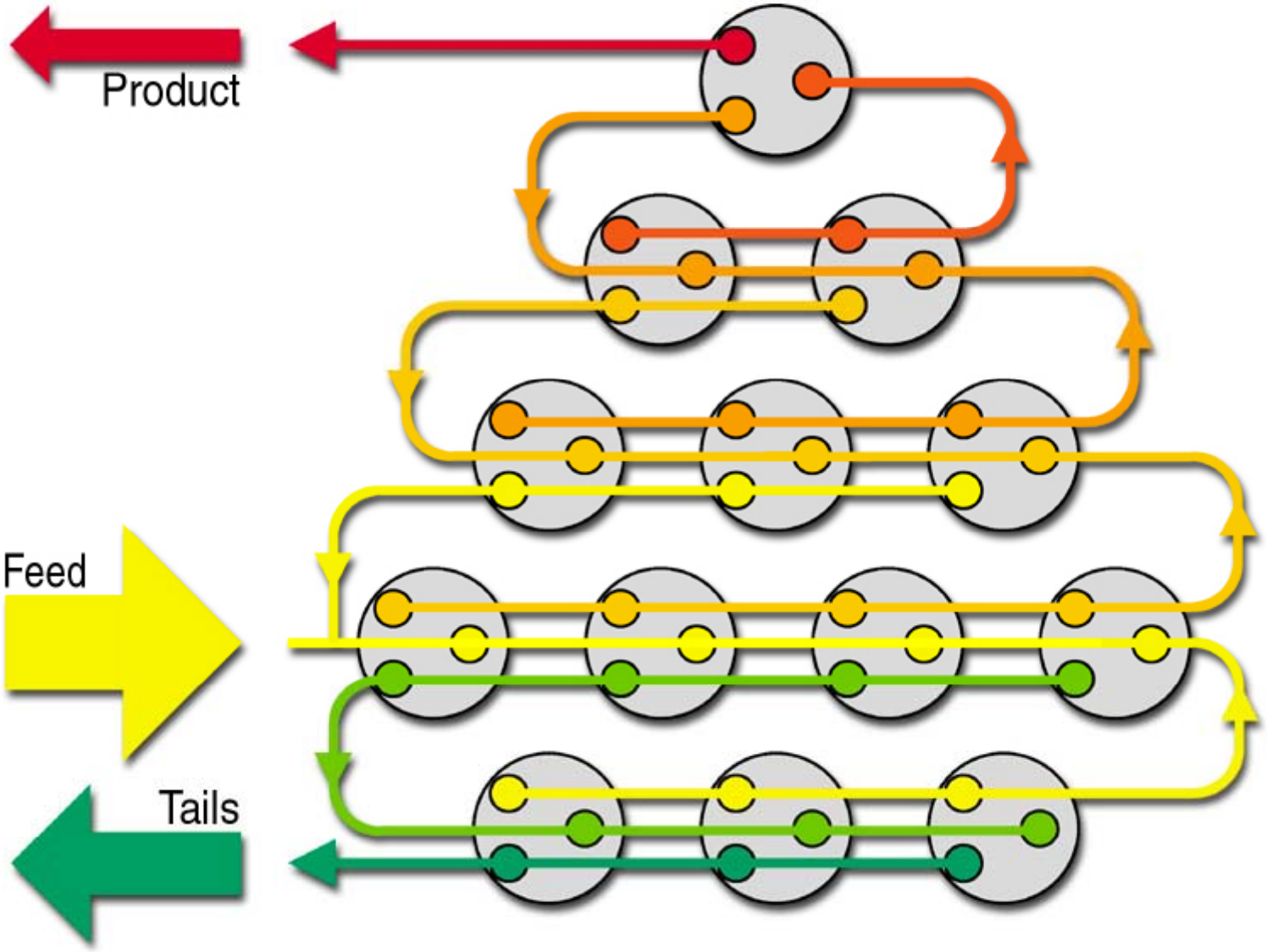

n+1. Stufe
n. Stufe
n-1. Stufe
Diffusions-
zelle
Product
Feedstrom unter
Druck
Zwischen-
kühler
Verdichter
Motor
Product
1,17 %
0,99 %
0,84 %
0,711 %
Feed
0,711 %
Feed
1,17 %
0,84 %
Tails
0,601 %
0,99 %
0,711 %

5. Urananreicherung

Gaszentrifuge:

- das schwerere Isotop ^{238}U wird von dem leichteren Isotop ^{235}U durch Zentripetalkräfte getrennt
- >90000 U/min
- F ist ein Reinelement mit nur einem Isotop
  → nur der Massenunterschied der Uran Isotope führt zur Trennung
- Massenunterschied: der Moleküle 0,85%, der Isotope 1,3%
- durch beheizen des Bodens und kühlen am oberen Ende wird die Trennwirkung verstärkt
  $^{235}UF_6$ (angereichertes) wird unten entnommen
  $^{235}UF_6$ (ab gereichertes) wird oben entnommen
- Dadurch kann man einen Trennfaktor von 1,25 erzielen
  → viele Zentrifugen werden zusammengeschlossen


an U–235
angereichertes Uran
UF_6-Zufuhr
an U–235
abgerei-
chertes
Uran
an U–235
abgerei-
chertes
Uran


Product
Feed
Tails

5. Urananreicherung

Laseranreicherung:
Beruht auf eine Verschiebung der Absorptionsspektren beim ionisieren
Bedingungen:
•Überlapp der Absorptionslinien der Isotope oder Isotopenverbindung ist klein genug
•Eine Isotopenselektive Anregung durch einen Laser (geeignete Wellenlänge) ist möglich
Trennung:
angeregte isotope unterscheiden sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften
Problem:
Korrosion der Apparatur

5. Urananreicherung

Elektromagnetische Anreicherung:
- Uranatome werden ionisiert
- Im E-Feld beschleunigt
- Im magnetischen Feld nach der Massenzahl getrennt

War im 2 Weltkrieg von Bedeutung, heute nicht mehr

Trenndüsenverfahren:
- Entmischung durch unterschiedlich schneller Zentrifugalkräfte, in gekrümmter Strömung
- Bis Ende der 80er Jahre verwendet

Egal welches Verfahren angewandt wird, kommen auf 1 t angereichertes Uran 5,5 t ab gereichertes Uran

6. Herstellung der Brennelemente

- angereichertes UF_6 muss zu UO_2 reduziert werden
- Trockenverfahren:

$$UF_6 + 2H_2O\ (g) \rightarrow UO_2F_2 + 4\ HF$$
$$UO_2F_2 + H_2 \rightarrow UO_2 + 2\ HF$$

- Nassverfahren:

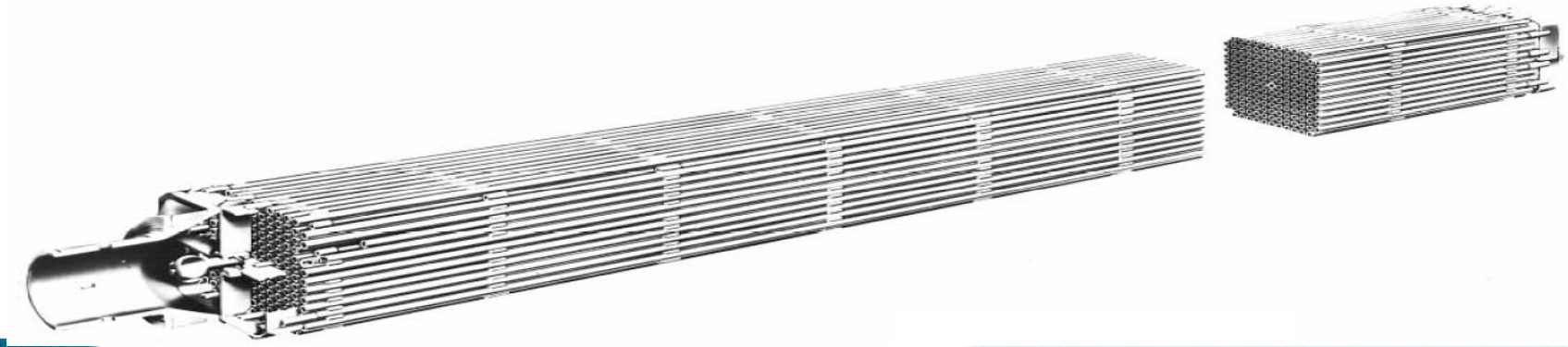
$$UF_6 + 2\ H_2O \rightarrow UO_2F_2 + 4\ HF$$
$$UO_2F_2 + 6\ NH_3 + 8\ CO_2 + 3\ H_2O \rightarrow (NH_4)_4[UO_2(CO_3)_3] + 2\ NH_4$$

- Ammonium-Uranyl-Carbonat Komplex wird in Wasserstoffatmosphäre, unter hohen Temperaturen zersetzt

$$UO_3 + H_2 \rightarrow UO_2 + H_2O$$

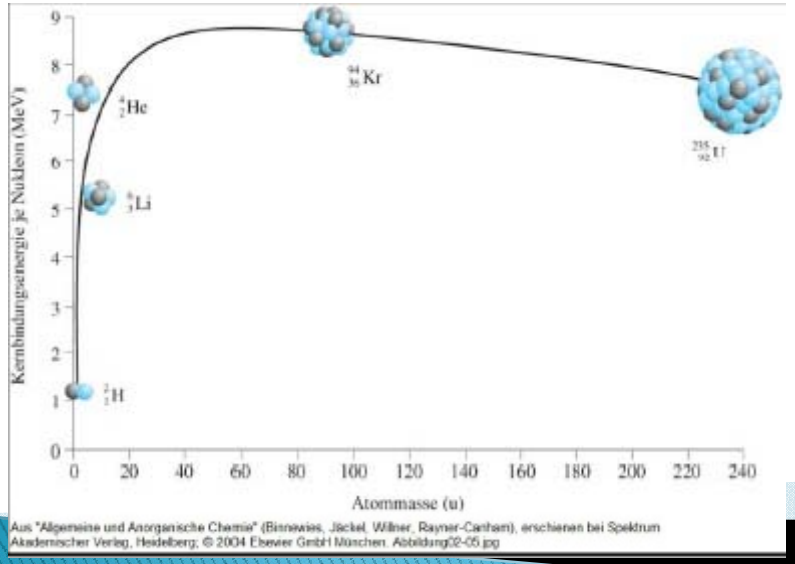
6. Herstellung der Brennelemente

- das gewonnene UO_2 wird zu Tabletten gepresst
- Tabletten werden zu einem keramischen Material, bei 1700 °C gesintert und dann geschliffen
- Tabletten werden in 4-5 m lange Rohre gefüllt
- diese Brennstäbe bestehen aus Zirkaloy (Legierung aus über 90% Zirkon, Zink, Eisen, Chrom, Niob)
- aus 9-25 Brennstäbe besteht ein Brennelement



7. Zukunft der Kernenergie

- Deutschland, die Kernkraftwerke sollen bis ca. 2023 geschlossen werden
- in Irland, Russland, China, Indien, USA, Korea und Südafrika werden hingegen 75 neue Kraftwerke bis 2020 geplant

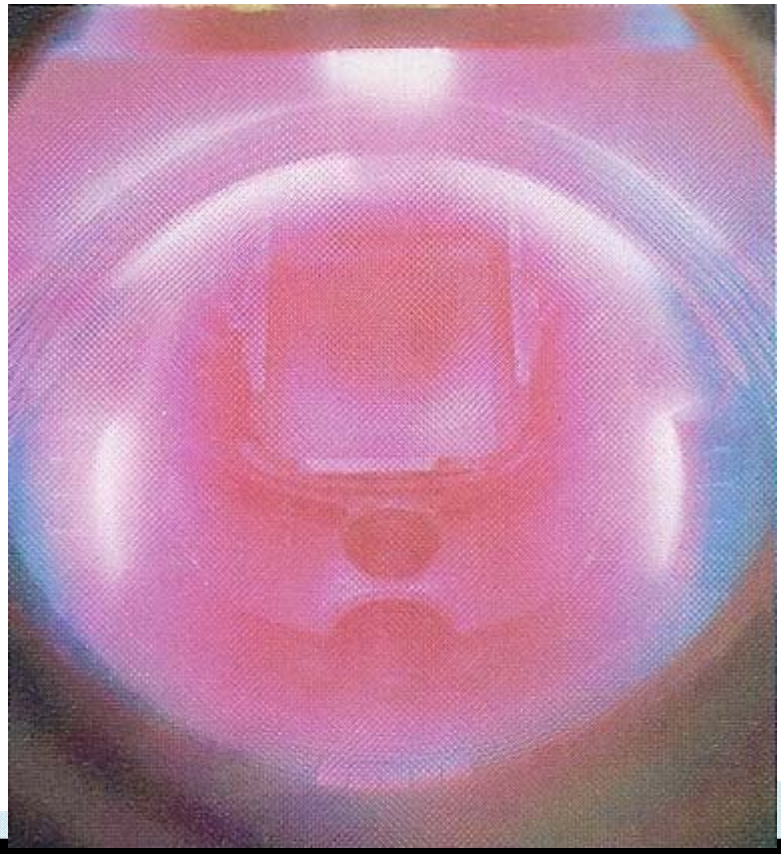


Aus "Allgemeine und Anorganische Chemie" (Binnewies, Jäckel, Willner, Rayner-Canham), erschienen bei Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; © 2004 Elsevier GmbH München. Abbildung02-05.jpg

7. Zukunft der Kernenergie

Kernfusion





8. Quellen

https://www.fh-muenster.de/fb1/downloads/personal/Anorganische_Chemie_II-Koordinationschemie.pdf
http://www.investor-verlag.de/atomenergie-bringt-steigende-preise-bei-uran/104911862/
http://de.wikipedia.org
http://www.investor-verlag.de/die-besten-uran-unternehmen-auf-einen-schlag/110935912/
www.urananreicherung.de

Albrecht, Helmut, Kiedrowski, Rainer: Kernenergie in Deutschland, Frankfurt, Ullenstein GmbH, 1985



Noch Fragen???