



**u<sup>b</sup>**

**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

Physik am Freitag  
2. März 2018

# Was uns Edelgase über das Grundwasser und Atombomben verraten

**Dr. Roland Purtschert**

Klima und Umweltphysik  
Oeschger Center, Climate Change Research  
Universität Bern



# Das Gedächtnis des Wassers

**Kann Wasser Informationen speichern oder sich später daran erinnern? Der Streit um diese Frage begann im Jahr 1988, sie taucht immer mal wieder auf.**



Hat Wa

## WATER

DIE GEHEIME MACHT DES WASSERS



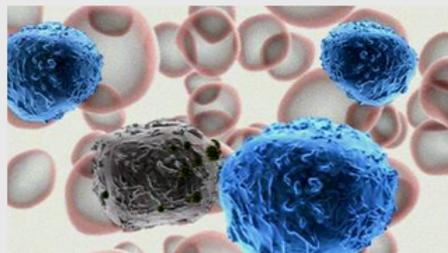
## Hat Wasser ein Gedächtnis?

### Homöopathie auf dem Prüfstand

Alternative Heilmethoden haben schon seit Langem Konjunktur – unabhängig davon, ob aus naturwissenschaftlicher Sicht tatsächlich etwas dran ist an ihren Heilsversprechen.

Wissenschaftler überprüfen Versuche, die die Wirkung homöopathischer Präparate belegen sollen. Einen Nachweis können sie nicht entdecken.

Selbstheilungskräfte lassen sich mobilisieren und deren Wirkungen physiologisch nachweisen. Vielleicht liegt hier ein noch nicht ausgeschöpftes vielversprechendes Potenzial für medizinische Therapien.



### Hahnemanns Lehre

# Hat Kim eine neue Atombombe getestet?

*In Nordkorea ist ein Erdbeben der Stärke 3,4 gemessen worden. Laut chinesischen Medien könnte ein Atomwaffentest dahinterstecken, Südkoreas Wetterbehörde sprach dagegen von einem «natürlichen» Beben.*



1/13 Hat er eine neue Atombombe getestet? Der nordkoreanische Machthaber Kim Jong-un. (21. September 2017)



## Putin: „Nordkorea hat keine Atomwaffen, sondern Mineralien in Billionenhöhe“

Veröffentlicht am August 16, 2017 — in Geopolitik

Jetzt aktuell: [Postauto-Skandal](#) • [No Billag](#) • [Olympia 2018](#)

News aus Ihrer Region

**Jetzt abonnieren**

ATOMTEST

# Erdbeben erschüttert Nordkorea: Hat Kim Jong Un die Wasserstoff-Bombe gezündet?

watson.ch • Zuletzt aktualisiert am 3.9.2017 um 20:57 Uhr

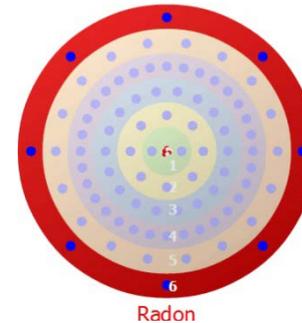
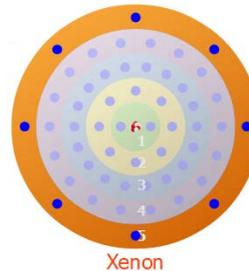
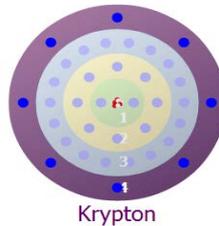
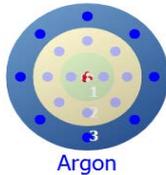
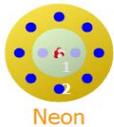


September 2017: Kim Jong Un zündet eine Wasserstoffbombe © AP

# Die Hauptgruppe der Edelgase

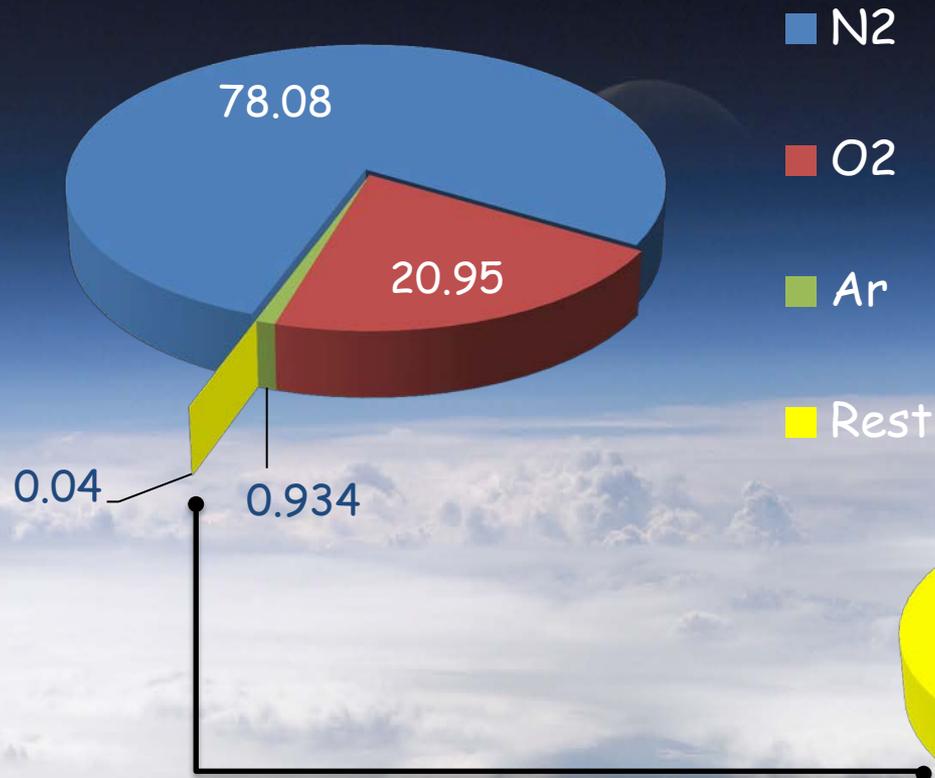
**Hauptgruppen**

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	1 H							2 He	K
2	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	L
3	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	M
4	19 K	20 Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	N
5	37 Rb	38 Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	O
6	55 Cs	56 Ba	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	P
7	87 Fr	88 Ra	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	Q

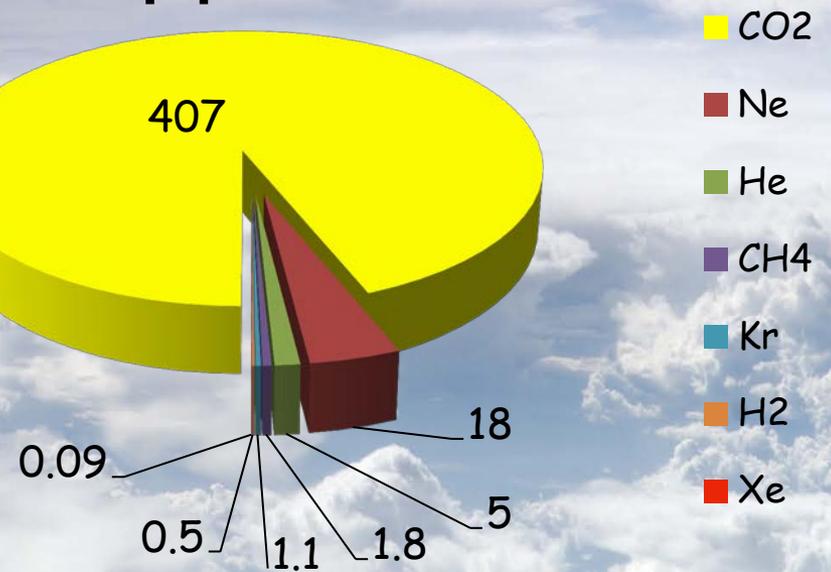


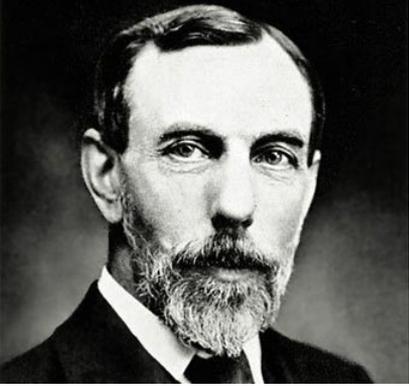
# Luftzusammensetzung

%



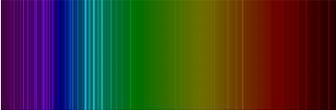
ppm





# Entdeckung der Edelgase

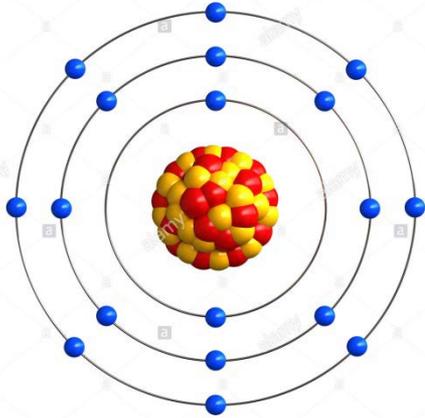
William Ramsay 1852-1916  
Nobelpreis in Chemie, 1904

- 1894  Besuchte Vorlesung Sir Lord Rayleigh, der berichtete dass sich die Dichte von aus Luft gewonnenem Stickstoff um 0.5% von künstlich hergestelltem unterschied. Ramsay machte Studien und entdeckte anhand des Linienspektrums ein neues Element Argon (**griechisch das Träge (Element)**)
- 1895  Norman Lockyer spekulierte das die neue Spektlinie von einem neuem Element stammt Helium von (**Helios**)  
Dieselbe Linie fand Ramsay in Gas das durch Lösung von Uranmineral entwich.
- 1898  Ramsay und Travers verfestigten «Argon» und untersuchten das bei Druckreduzierung zuerst entweichende Gas das sie in einer Vakuumröhre sammelten und eine Spannung anlegte. Sie nannten das neue Element Neon (**das Neue**)
- 1897 Bei der Suche nach Neon untersuchte Ramsay auch das schwere Kondensat. Neben Argon enthielt das Gas ein neuen Element (Krypton (**das Verborgene**))
- 1898  Weitere Untersuchungen am Kondensat förderten das noch schwerere Xenon zutage (**das Fremde**)
- 1902 Rutherford zeigte, dass Thorium ein radioaktives Gas emittiert. Er und Frederick Soddy ordneten es der Gruppe der Edelgase zu. Sie nannten es Radon (**das Strahlende**)

# Warum sind Edelgase für Umweltphysiker interessant?

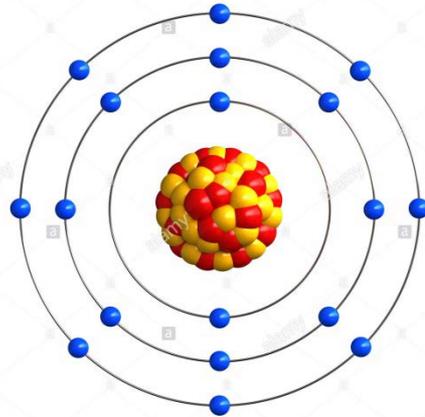
- Sie sind chemisch sehr träge
  - Vorteil: keine störenden chemischen Prozesse
  - Konzentration z. B. in Luft und Wasser wird nur durch physikalische Prozesse verändert -> viel einfacher zu interpretieren
- Sie sind sehr selten
  - Vorteil: Sie beeinflussen die zu untersuchenden Umweltprozesse nicht
- Sie sind gasförmig
  - Vorteil: sie sind sehr mobil und verteilen sich in Boden, Wasser und Atmosphäre
- Sie kommen in verschiedenen Varianten vor (Isotope)
  - Vorteil: sie können auch als Uhren verwendet werden

# Isotope: Beispiel stabile Argonisotope



- 18 Protonen
- 22 Neutronen
- 18 Elektronen

} 40 Nukleonen

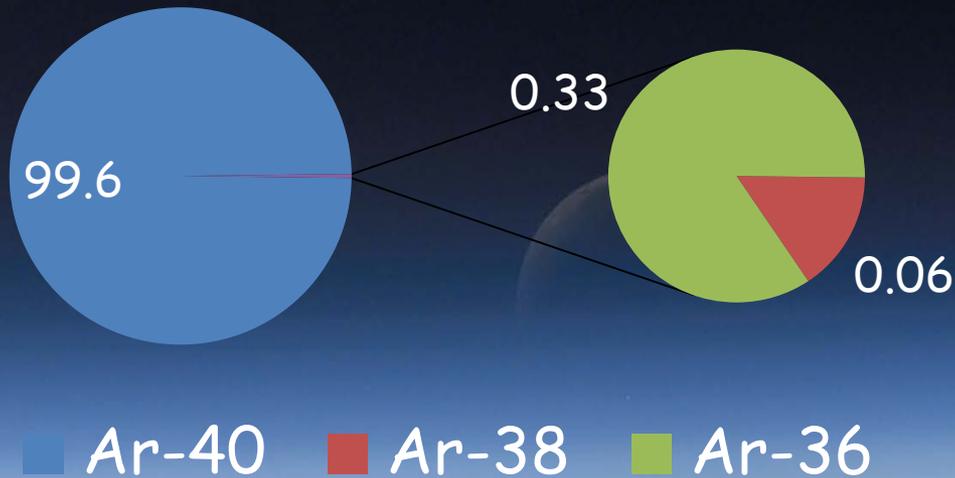


- 18 Protonen
- 18 Neutronen
- 18 Elektronen

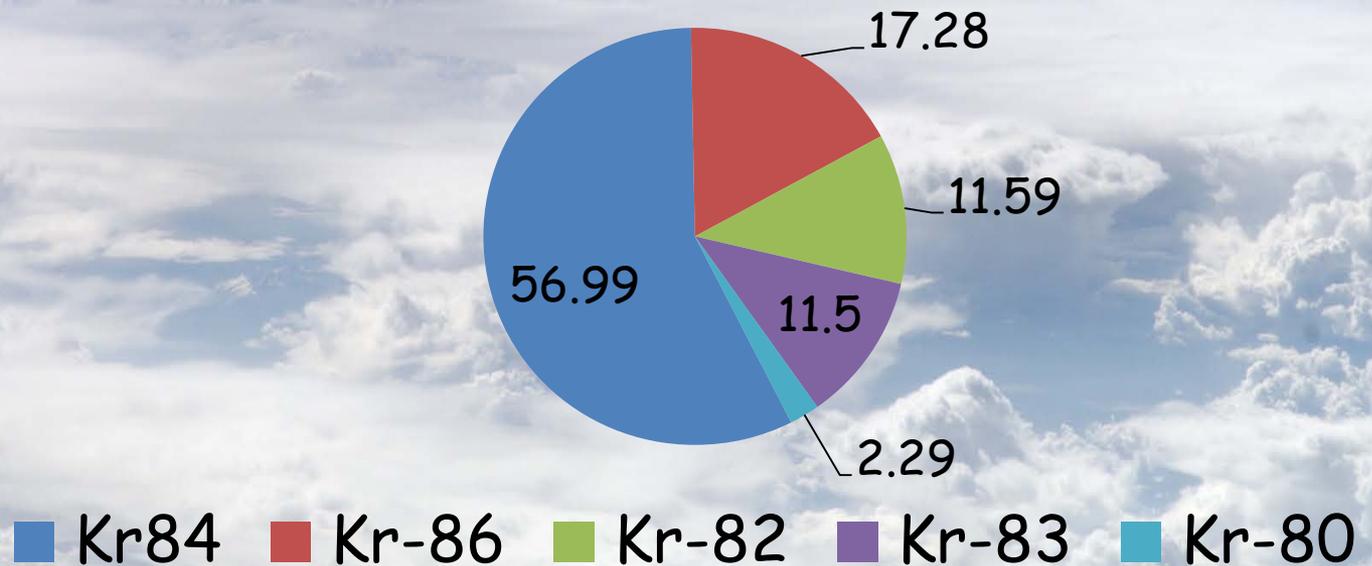
} 36 Nukleonen



# Stabile Argonisotope (%)



# Stabile Kryptonisotope (%)



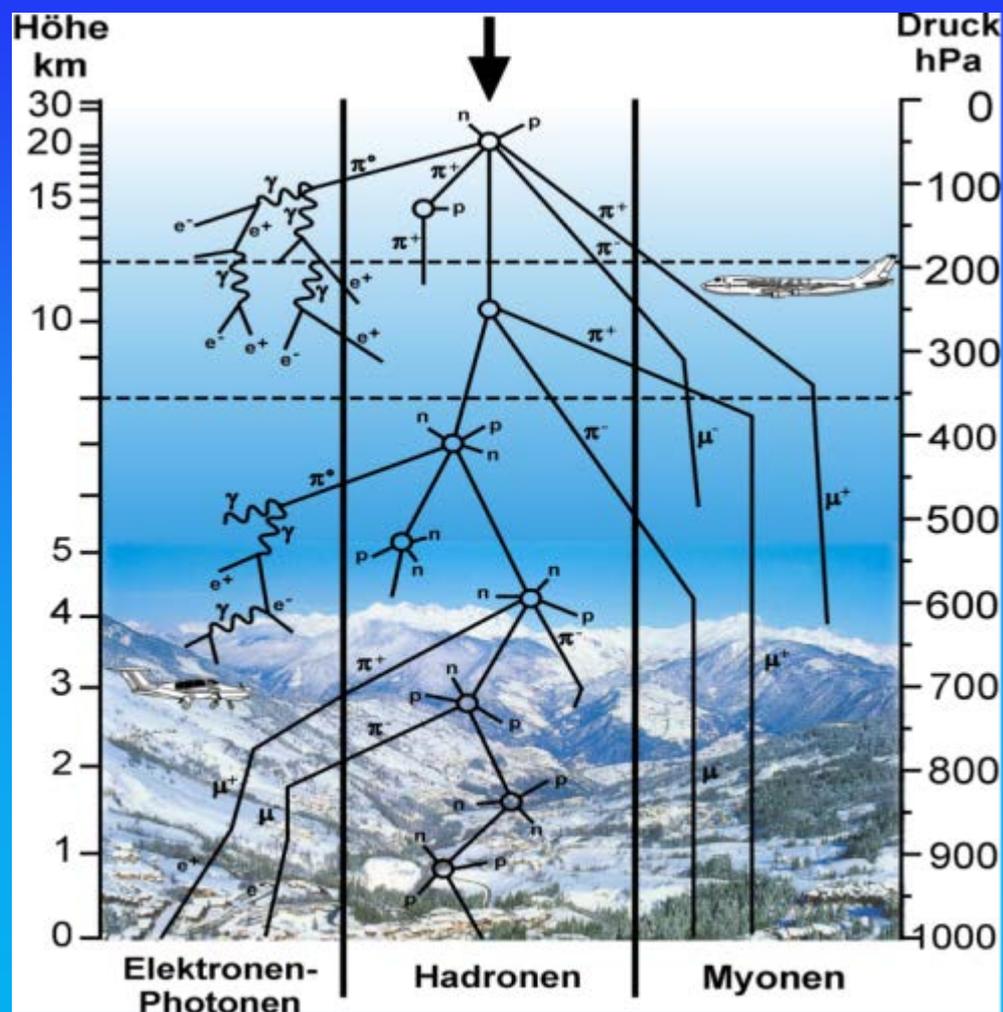
# Wie entstehen instabile (radioaktive) Isotope?

Primäre kosmische Strahlung  
87% Protonen, 12% Alpha Teilchen



# Wie entstehen instabile (radioaktive) Isotope?

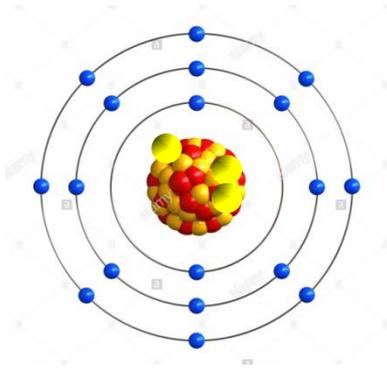
Primäre kosmische Strahlung  
87% Protonen, 12% Alpha Teilchen



Sekundäre Strahlung  
Vor allem Neutronen  
und Myonen

# Entstehung des radioaktiven Ar-39

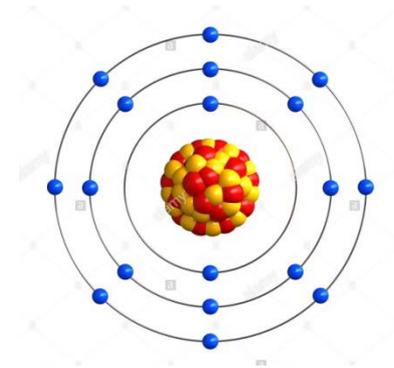
$^{40}\text{Ar}$



- 18 Protonen
- 22 Neutronen
- 18 Elektronen



$^{39}\text{Ar}$

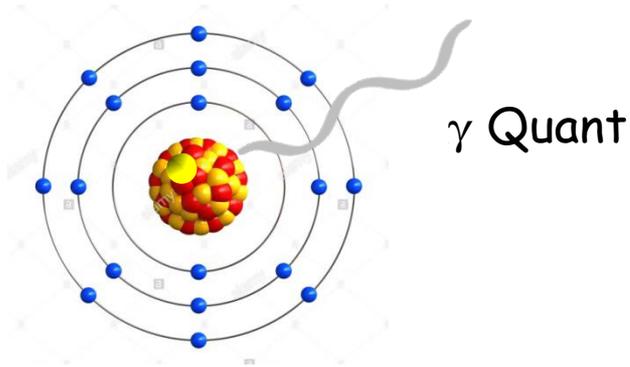


- 18 Protonen
- 21 Neutronen
- 18 Elektronen

Stabil

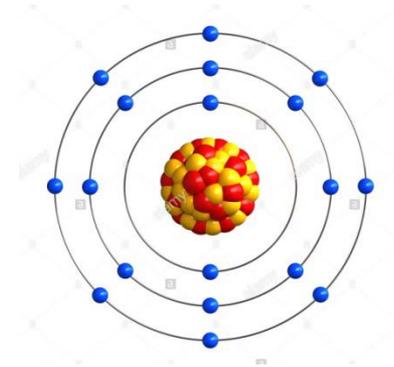
# Entstehung des radioaktiven Kr-81

$^{80}\text{Kr}$



- 36 Protonen
- 44 Neutronen
- 36 Elektronen

$^{81}\text{Kr}$



- 36 Protonen
- 45 Neutronen
- 36 Elektronen

Stabil

# Edelgasisotope

Half life

- Stable
- Very short
- > 100,000 yr
- > 10 yr
- > 100 days
- > 10 days
- > 1 day
- > 1 hr
- > 1 min.

**Helium**

<sup>4</sup> Li	<sup>5</sup> Li	<sup>6</sup> Li	<sup>7</sup> Li
<sup>2</sup> He	<sup>4</sup> He	<sup>5</sup> He	<sup>6</sup> He
<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H	<sup>4</sup> H

**Neon**

<sup>20</sup> Na	<sup>21</sup> Na	<sup>22</sup> Na	<sup>23</sup> Na	<sup>24</sup> Na	<sup>25</sup> Na	<sup>26</sup> Na
<sup>19</sup> Ne	<sup>20</sup> Ne	<sup>21</sup> Ne	<sup>22</sup> Ne	<sup>23</sup> Ne	<sup>24</sup> Ne	<sup>25</sup> Ne
<sup>18</sup> F	<sup>19</sup> F	<sup>20</sup> F	<sup>21</sup> F	<sup>22</sup> F	<sup>23</sup> F	<sup>24</sup> F

**Argon**

<sup>35</sup> K	<sup>36</sup> K	<sup>37</sup> K	<sup>38</sup> K	<sup>39</sup> K	<sup>40</sup> K	<sup>41</sup> K	<sup>42</sup> K	<sup>43</sup> K	<sup>44</sup> K	<sup>45</sup> K	<sup>46</sup> K
<sup>34</sup> Ar	<sup>35</sup> Ar	<sup>36</sup> Ar	<sup>37</sup> Ar	<sup>38</sup> Ar	<sup>39</sup> Ar	<sup>40</sup> Ar	<sup>41</sup> Ar	<sup>42</sup> Ar	<sup>43</sup> Ar	<sup>44</sup> Ar	<sup>45</sup> Ar
<sup>33</sup> Cl	<sup>34</sup> Cl	<sup>35</sup> Cl	<sup>36</sup> Cl	<sup>37</sup> Cl	<sup>38</sup> Cl	<sup>39</sup> Cl	<sup>40</sup> Cl	<sup>41</sup> Cl	<sup>42</sup> Cl	<sup>43</sup> Cl	<sup>44</sup> Cl

**Krypton**

<sup>79</sup> Rb	<sup>80</sup> Rb	<sup>81</sup> Rb	<sup>82</sup> Rb	<sup>83</sup> Rb	<sup>84</sup> Rb	<sup>85</sup> Rb	<sup>86</sup> Rb	<sup>87</sup> Rb	<sup>88</sup> Rb	<sup>89</sup> Rb	<sup>90</sup> Rb
<sup>78</sup> Kr	<sup>79</sup> Kr	<sup>80</sup> Kr	<sup>81</sup> Kr	<sup>82</sup> Kr	<sup>83</sup> Kr	<sup>84</sup> Kr	<sup>85</sup> Kr	<sup>86</sup> Kr	<sup>87</sup> Kr	<sup>88</sup> Kr	<sup>89</sup> Kr
<sup>77</sup> Br	<sup>78</sup> Br	<sup>79</sup> Br	<sup>80</sup> Br	<sup>81</sup> Br	<sup>82</sup> Br	<sup>83</sup> Br	<sup>84</sup> Br	<sup>85</sup> Br	<sup>86</sup> Br	<sup>87</sup> Br	<sup>88</sup> Br

**Xenon**

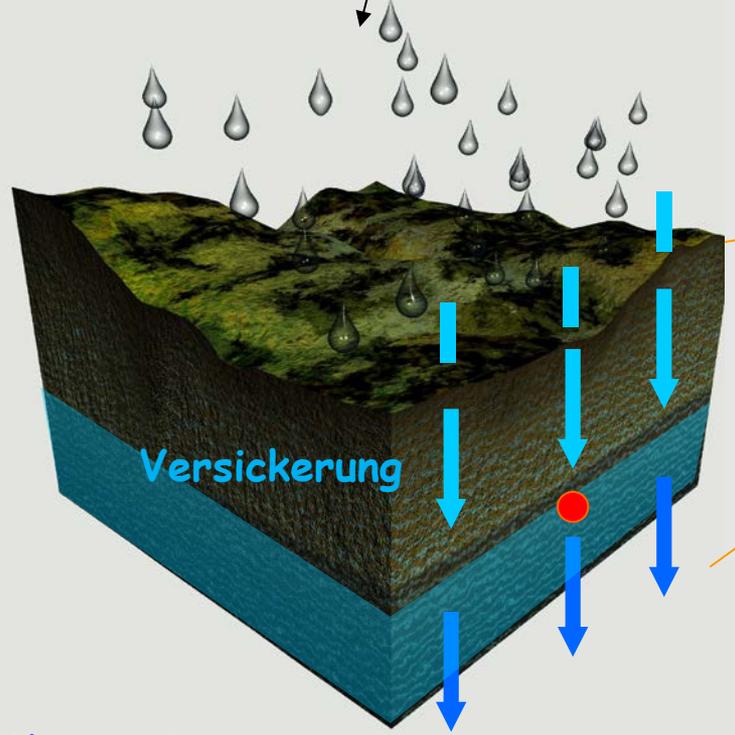
<sup>126</sup> Cs	<sup>127</sup> Cs	<sup>128</sup> Cs	<sup>129</sup> Cs	<sup>130</sup> Cs	<sup>131</sup> Cs	<sup>132</sup> Cs	<sup>133</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>135</sup> Cs	<sup>136</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>138</sup> Cs	<sup>139</sup> Cs
<sup>125</sup> Xe	<sup>126</sup> Xe	<sup>127</sup> Xe	<sup>128</sup> Xe	<sup>129</sup> Xe	<sup>130</sup> Xe	<sup>131</sup> Xe	<sup>132</sup> Xe	<sup>133</sup> Xe	<sup>134</sup> Xe	<sup>135</sup> Xe	<sup>136</sup> Xe	<sup>137</sup> Xe	<sup>138</sup> Xe
<sup>124</sup> I	<sup>125</sup> I	<sup>126</sup> I	<sup>127</sup> I	<sup>128</sup> I	<sup>129</sup> I	<sup>130</sup> I	<sup>131</sup> I	<sup>132</sup> I	<sup>133</sup> I	<sup>134</sup> I	<sup>135</sup> I	<sup>136</sup> I	<sup>137</sup> I

**Radon**

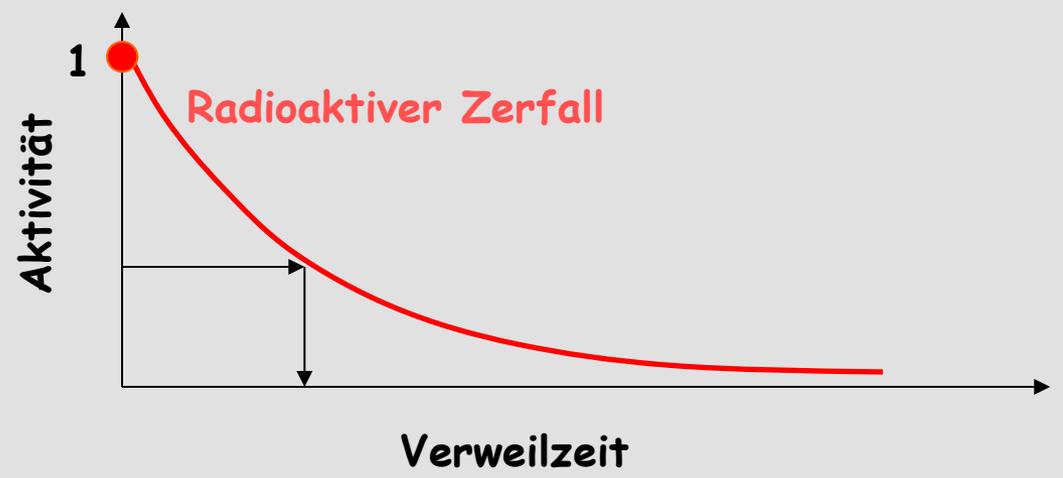
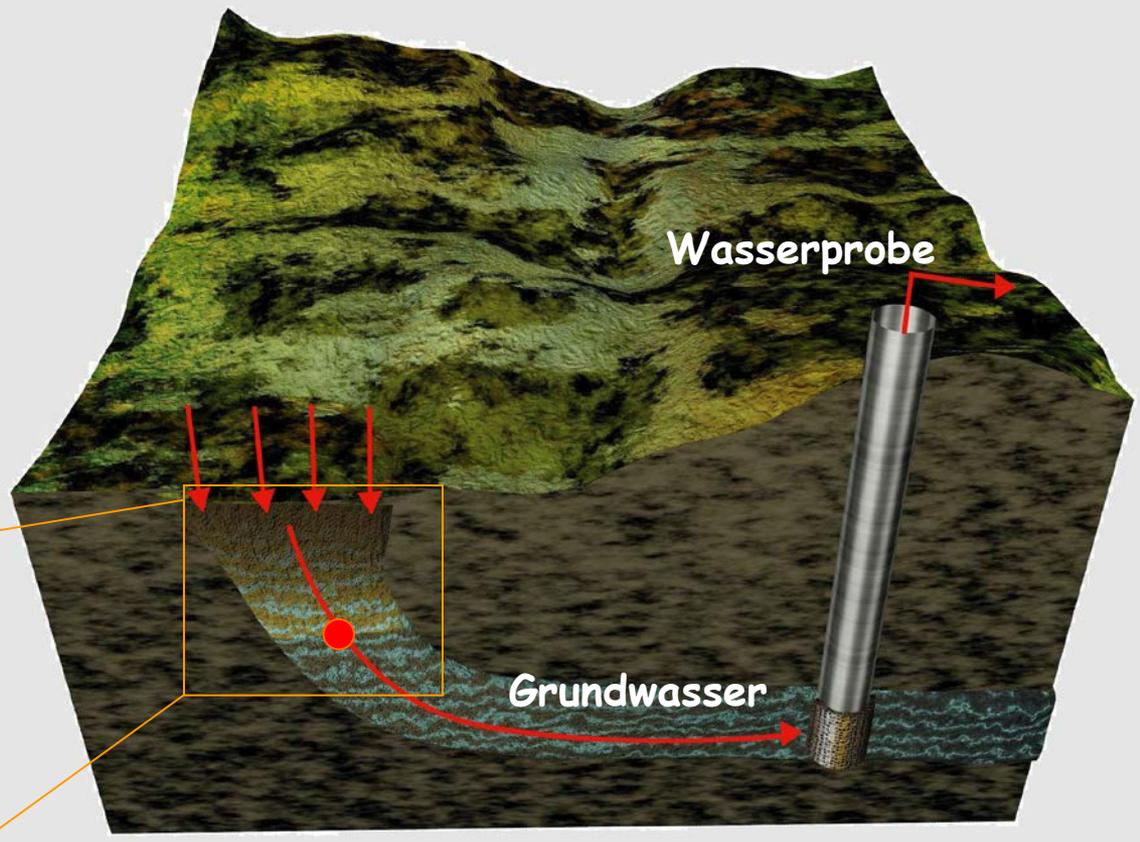
<sup>221</sup> Fr	<sup>222</sup> Fr	<sup>223</sup> Fr	<sup>224</sup> Fr	<sup>225</sup> Fr	<sup>226</sup> Fr	<sup>227</sup> Fr	<sup>228</sup> Fr	<sup>229</sup> Fr
<sup>220</sup> Rn	<sup>221</sup> Rn	<sup>222</sup> Rn	<sup>223</sup> Rn	<sup>224</sup> Rn	<sup>225</sup> Rn	<sup>226</sup> Rn	<sup>227</sup> Rn	<sup>228</sup> Rn
<sup>219</sup> At	<sup>220</sup> At	<sup>221</sup> At	<sup>222</sup> At	<sup>223</sup> At	<sup>224</sup> At	<sup>225</sup> At	<sup>226</sup> At	<sup>227</sup> At

Isotop	Halbwertszeit
<sup>81</sup> Kr	229'000 Jahre
<sup>39</sup> Ar	269 Tage
<sup>85</sup> Kr	10.8 Jahre
<sup>37</sup> Ar	35.1 Tage
<sup>133</sup> Xe	5.3 Tage
<sup>222</sup> Rn	3.8 Tage

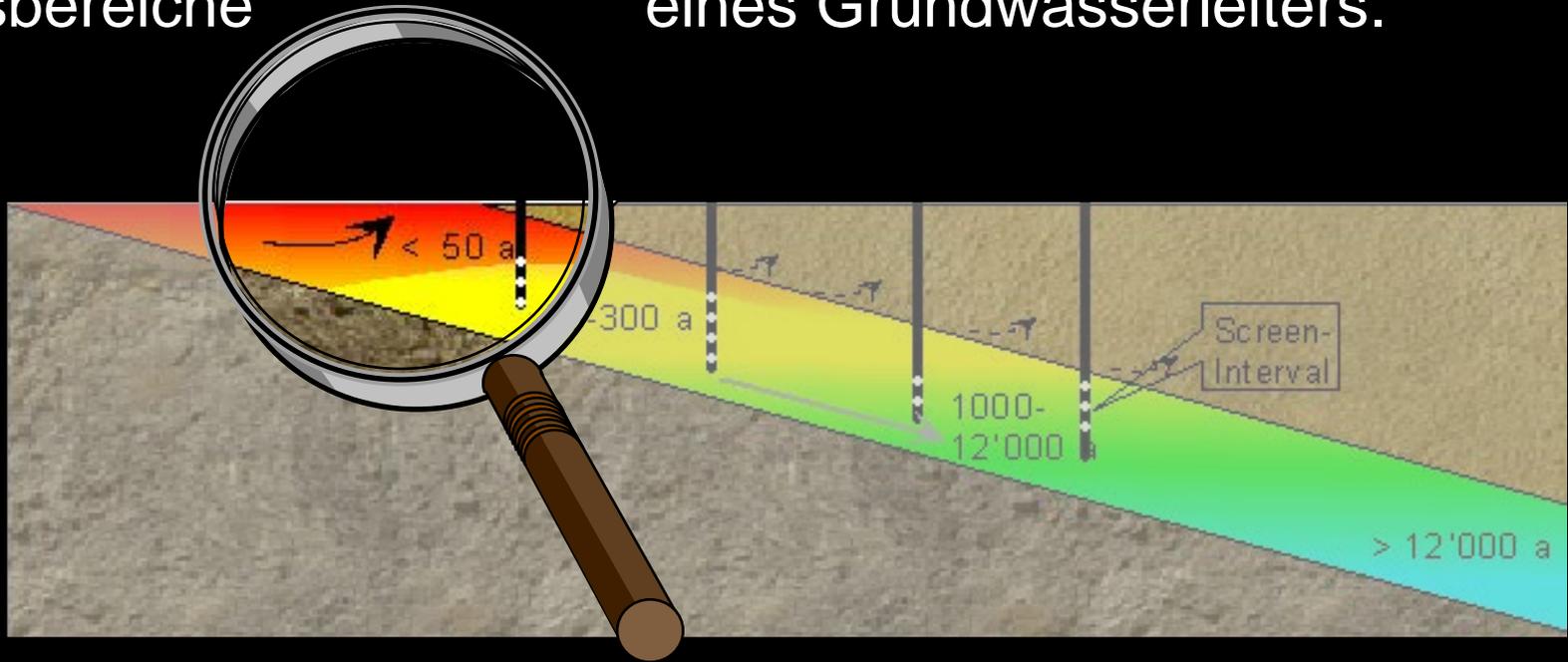
Kosmische Strahlung  
 $^{14}\text{C}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{81}\text{Kr}$   
Atmosphäre



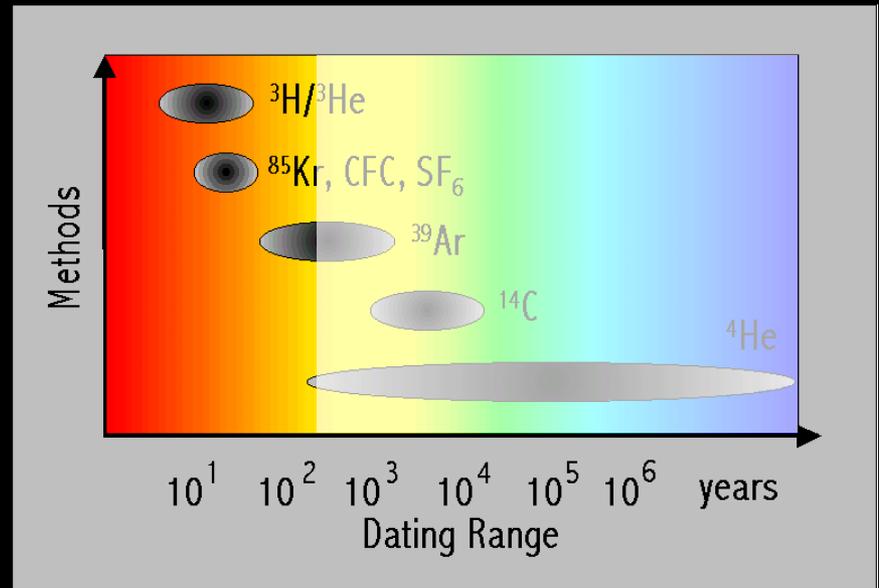
Wasser im Lösungsgleichgewicht mit der Bodenluft

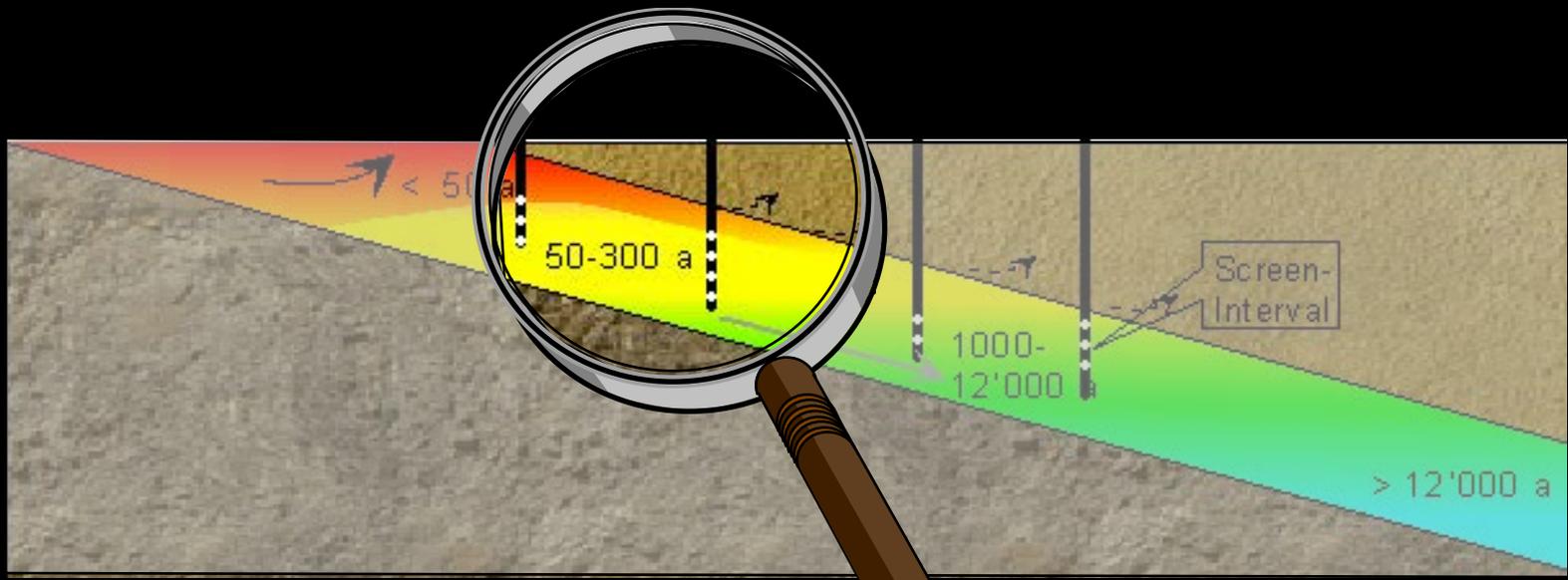


Verschiedene Isotope geben Einblick in unterschiedliche Altersbereiche eines Grundwasserleiters.

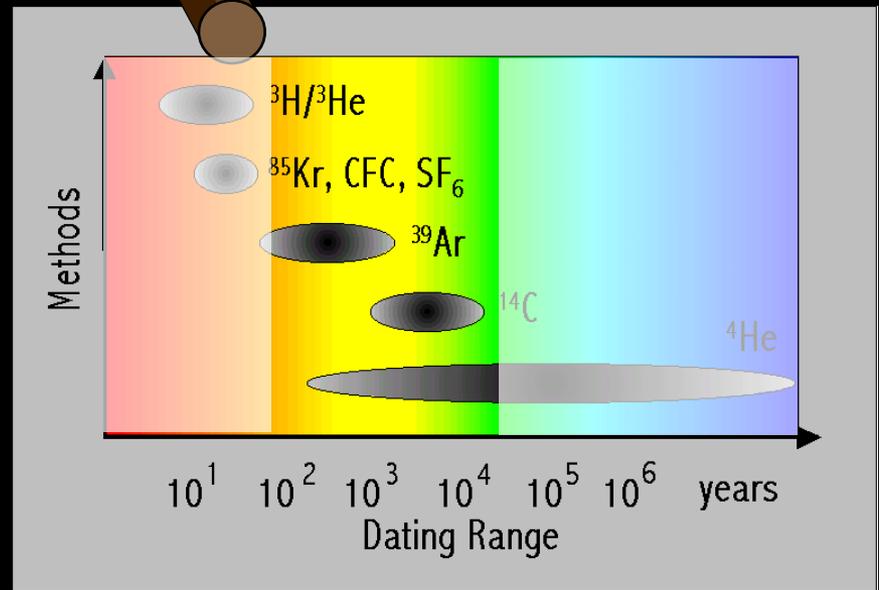


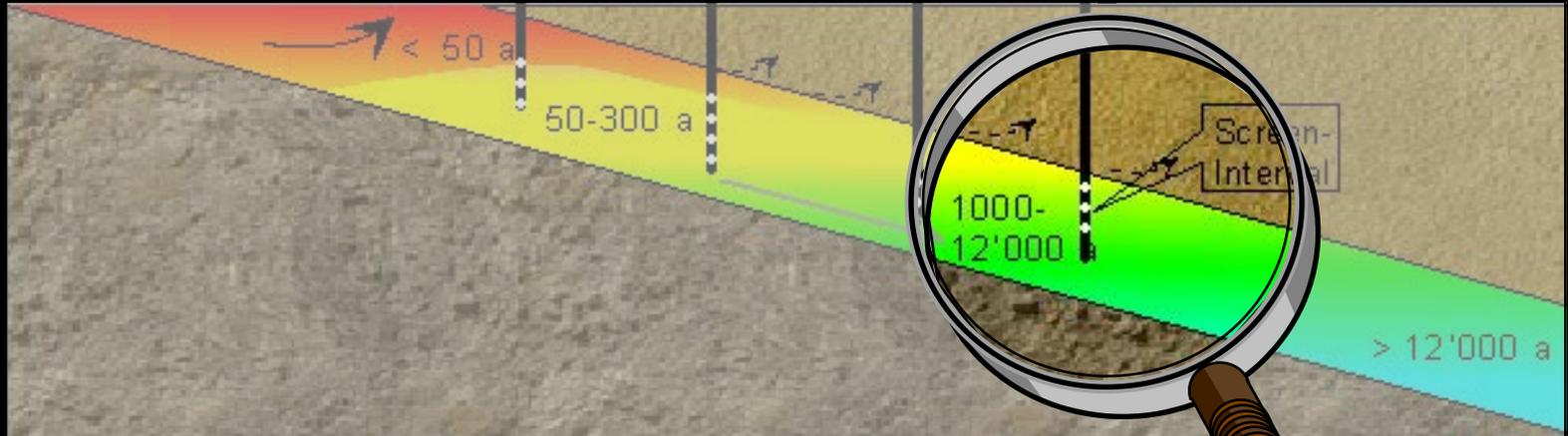
von Jahrzehnten, ..



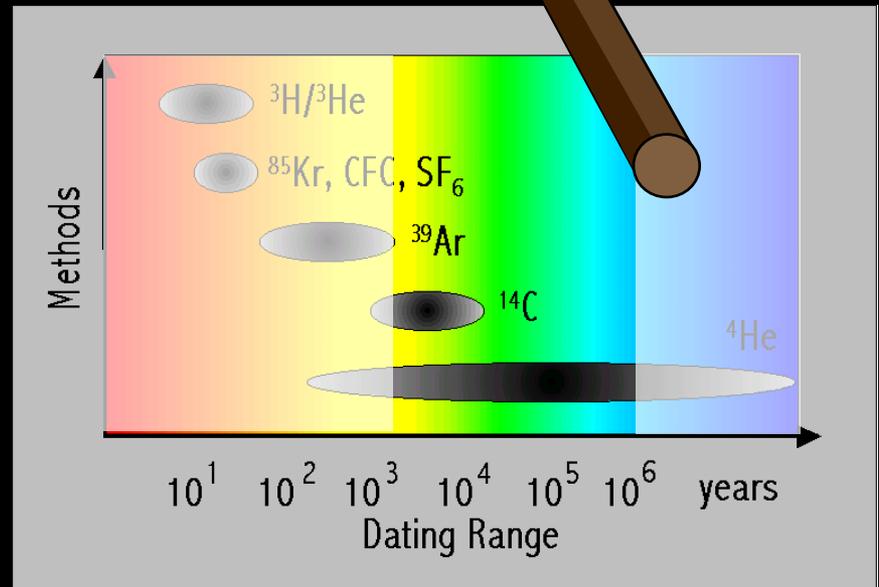


über  
Jahrhunderte,....





.....bis  
 Jahrtausende oder  
 Jahrmlionen



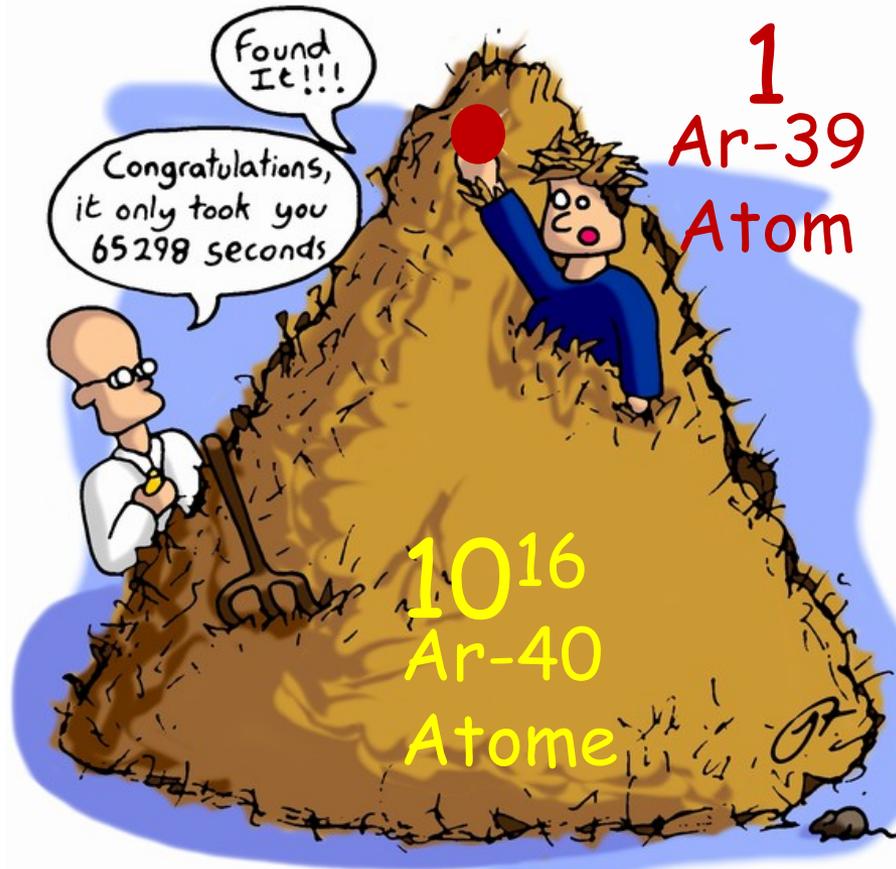
# Gibt's einen Hacken?

Natürliche Konzentrationen von **radioaktiven** Edelgasen sind  
sehr sehr sehr klein

Pro Liter Wasser



8000  
<sup>39</sup>Ar Atome



1000  
<sup>81</sup>Kr Atome

Ein <sup>39</sup>Ar Atom auf 10<sup>16</sup> Ar-40 Atome: Was heisst das?



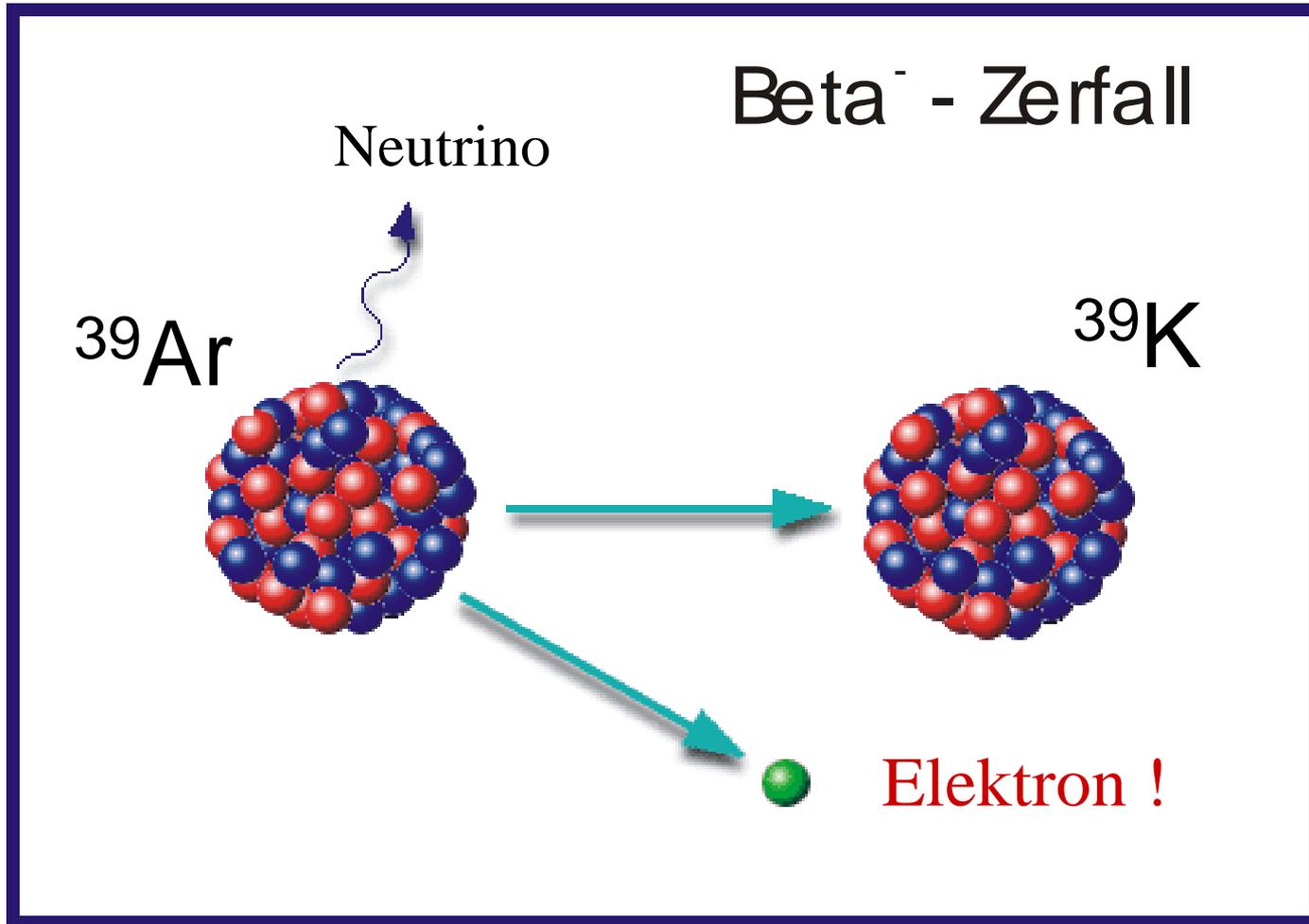
$\sim 10^{-10}$



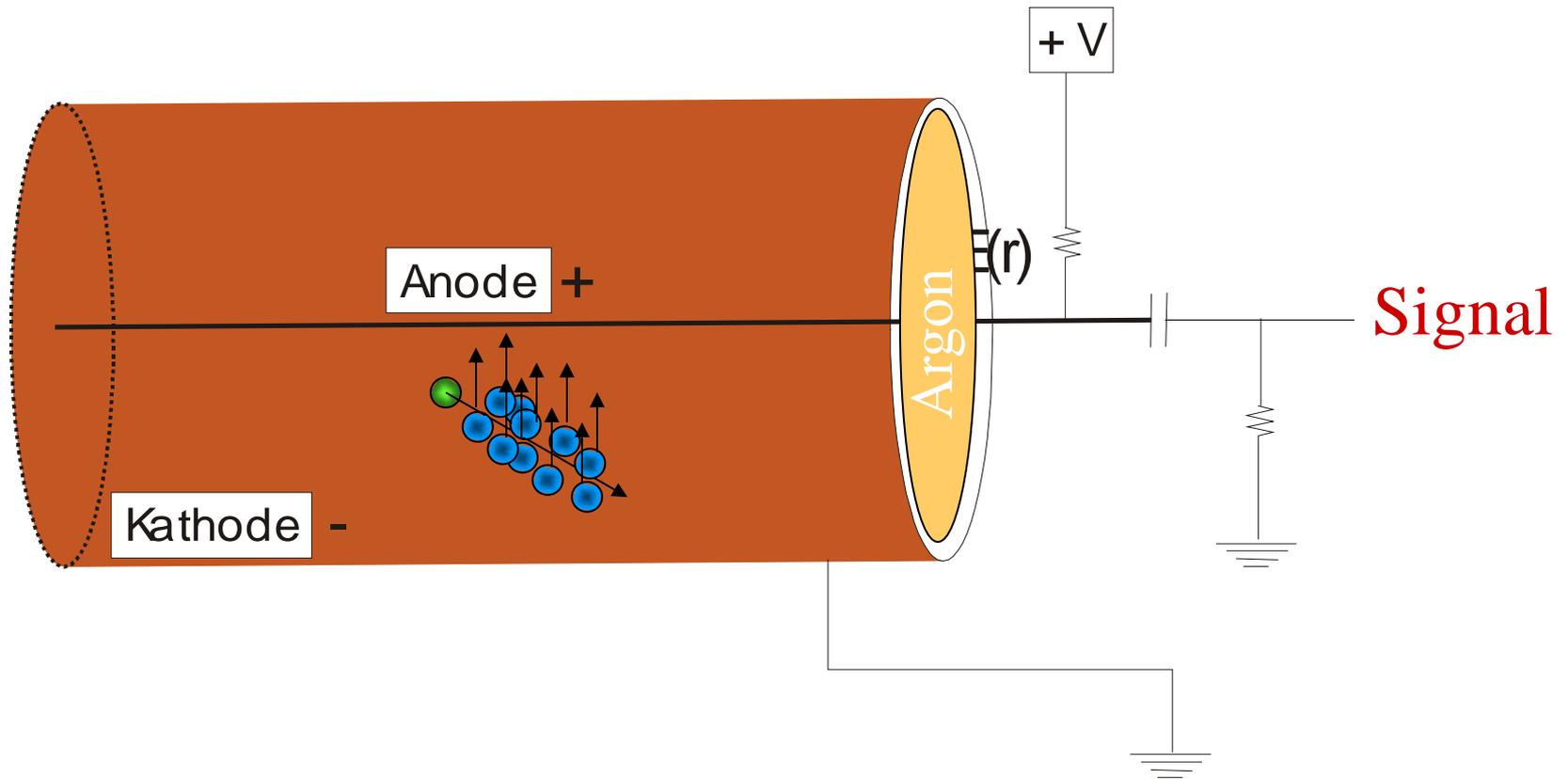
$\sim 10^{-16}$



# Wie kann man das messen? Ionisations Detektor



# Aufbau Detektor



# Proportionalzählrohr





35 m



# Abbremsen und Einfangen von Atomen mit Laser



Steven Chu



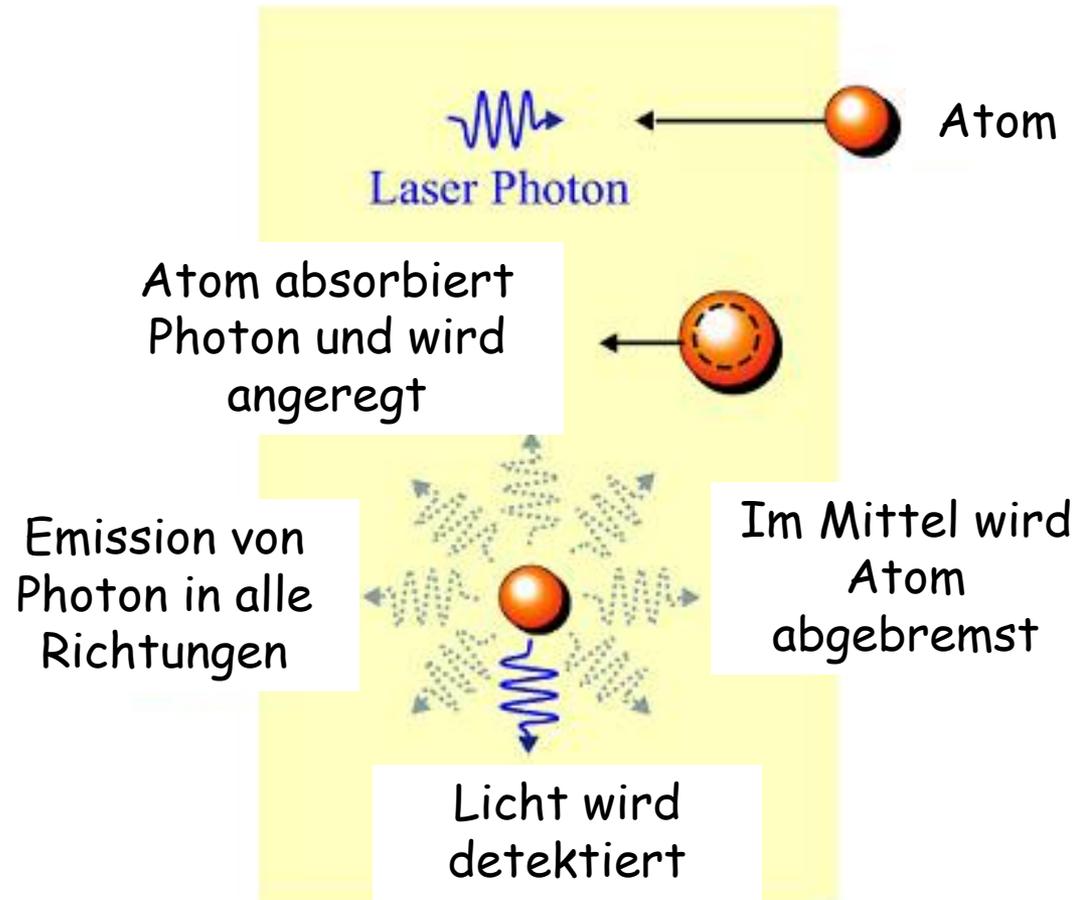
Prof. Dr.  
William Daniel  
Phillips



Claude Cohen-  
Tannoudji

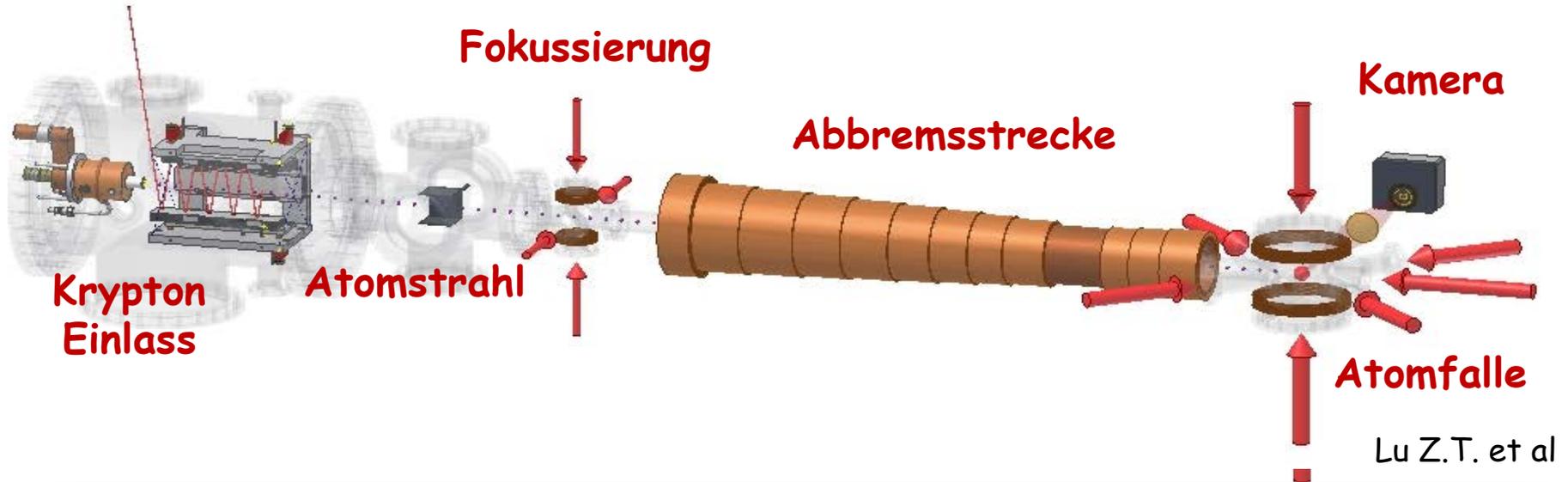
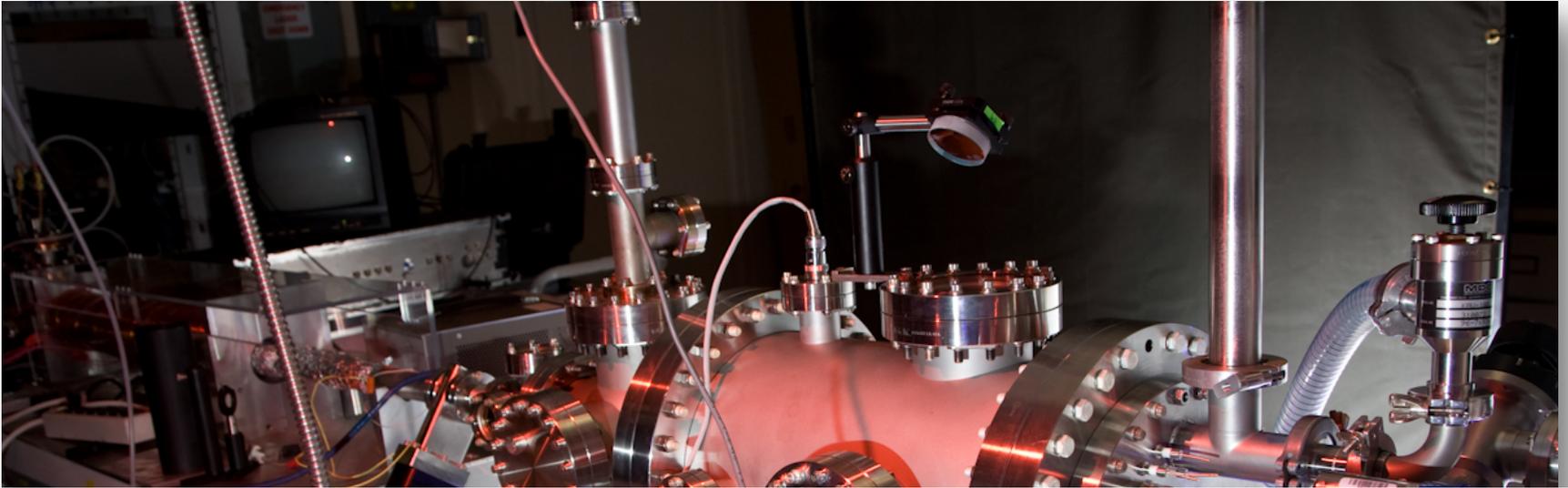


Nobel Preis  
1997



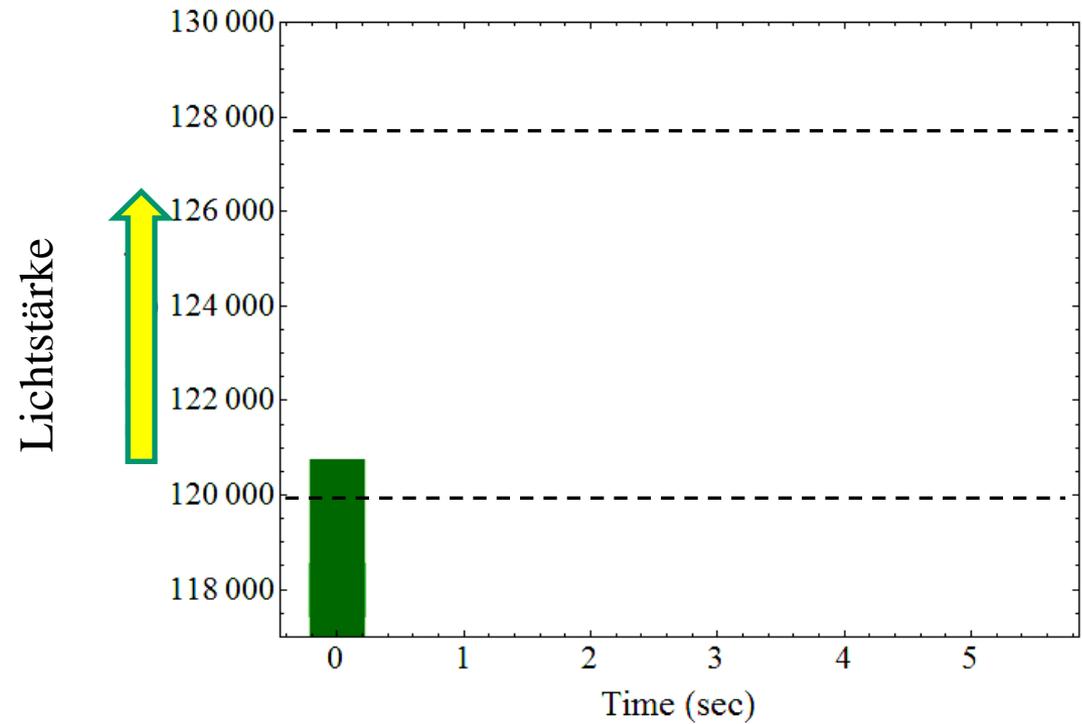
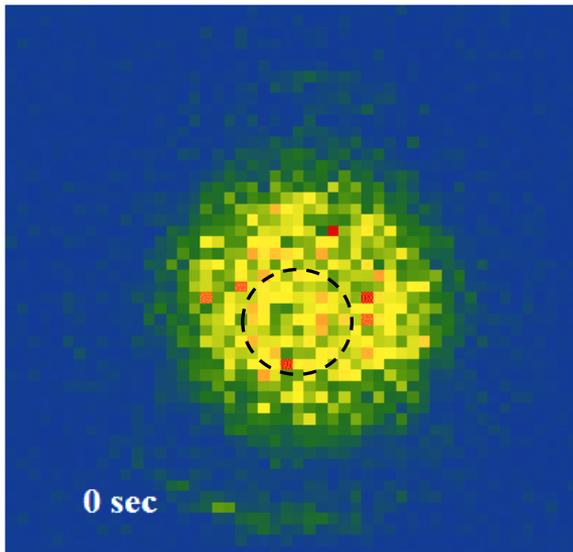
# Design Atomfalle

(Argonne Nat Lab, USA)



# Schnappschuss eines $^{81}\text{Kr}$ Atoms

Frame No. 12168



# Anwendung: Bewässerung mit Grundwasser in Nubischer Wüste

Wasserbedarf zur Produktion  
von 1 kg Tomaten



In Holland: 10 L  
In Spanien: 85 L  
In Aegypten: 230 L

Wo kommt dieses  
Wasser her???

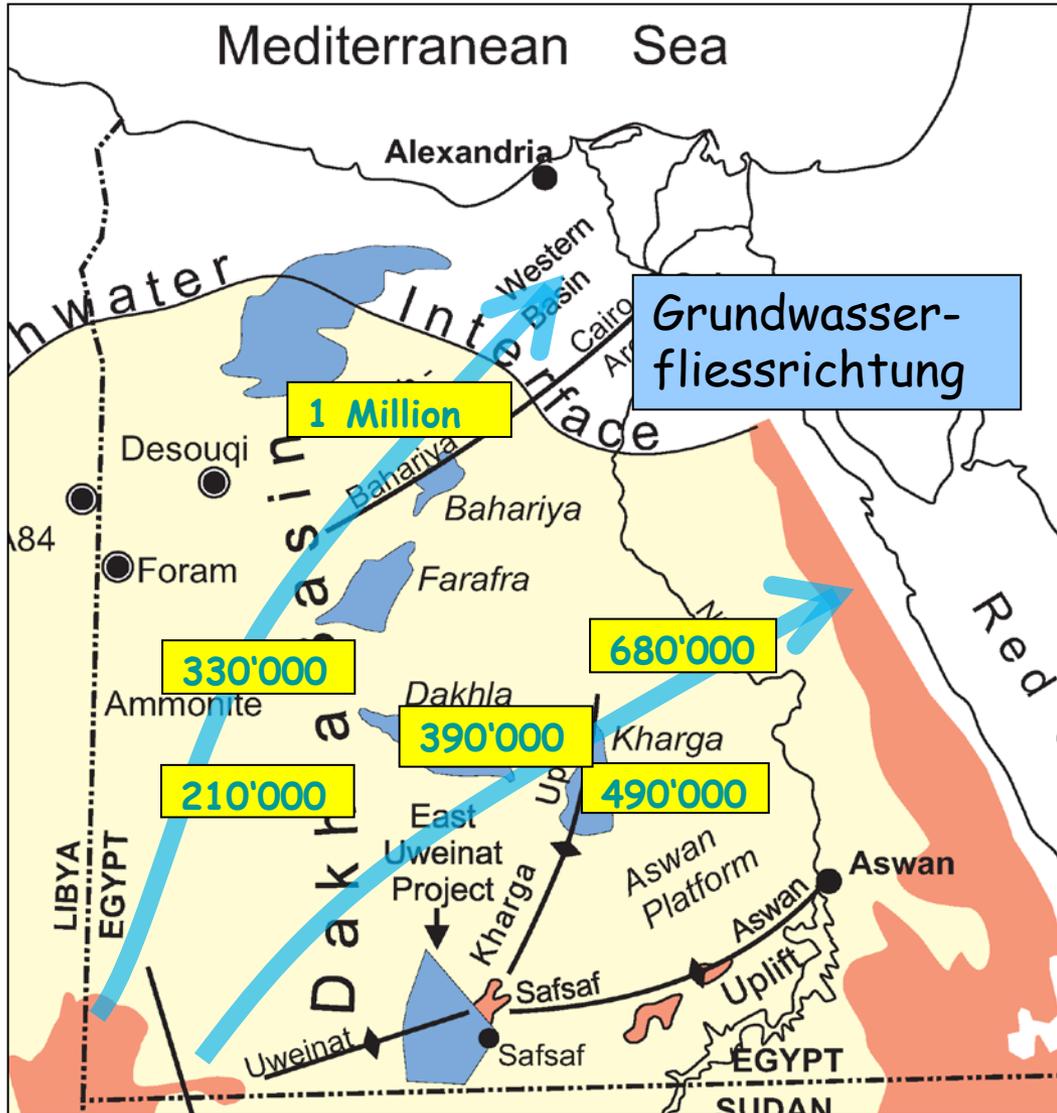






# Resultate

## Grundwasseralter [Jahre]



Konsequenz?

- Das zur Bewässerung verwendete Wasser versickerte vor mindestens 200 Tausend Jahren in Zeiten als das Klima im Gebiet noch viel feuchter wahr
- Unter den heutigen trockenen Bedingungen wird es nicht mehr erneuert (es ist fossil)
- Falls man so weiter pumpt wie bisher, wird in 30-50 Jahren der Grundwasserspiegel so weit gesunken sein, dass die Förderung nicht mehr wirtschaftlich sein wird

# Frage: Sind fossile Grundwässer die Ausnahme?



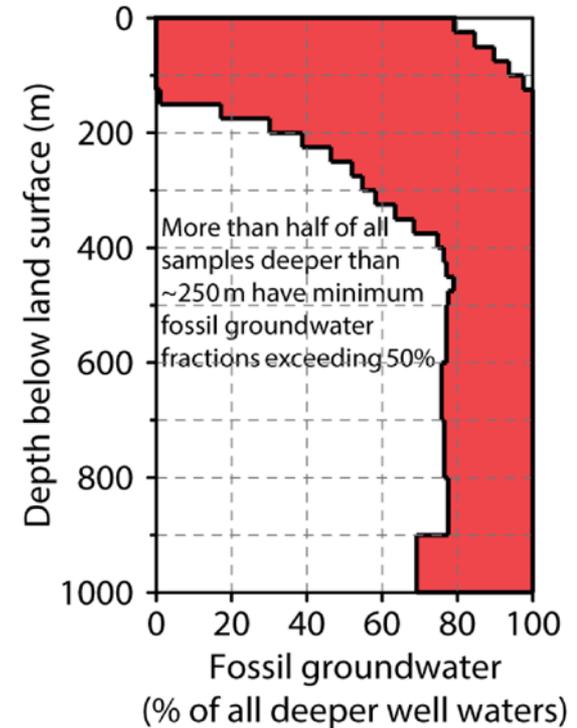
Antwort: Nein. Tiefer als 250 m sind sie die Regel

Aber es hat ja genug Wasser auf der Erde

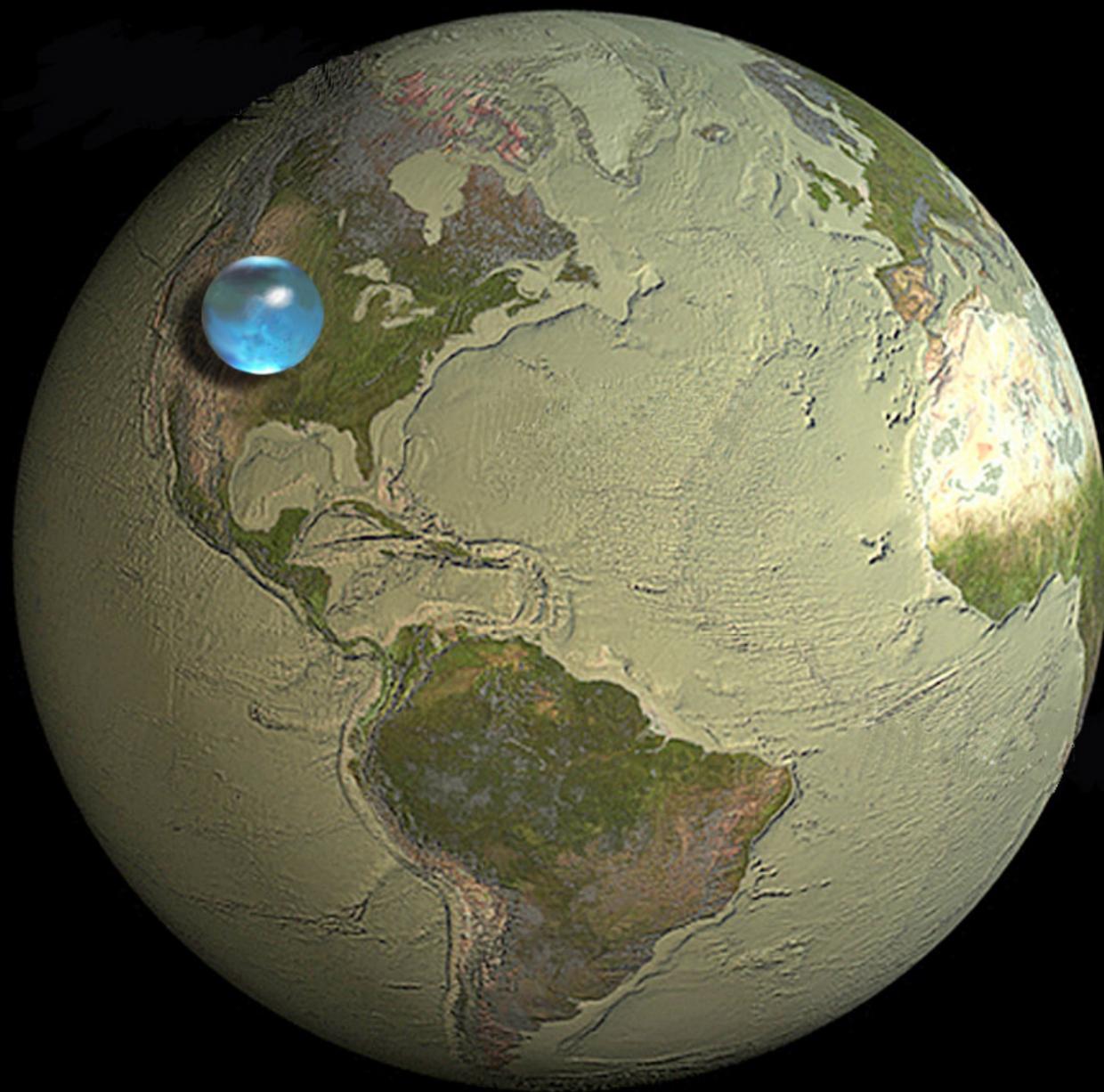
Ja, aber .....

## Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination

Scott Jasechko<sup>1\*</sup>, Debra Perrone<sup>2,3</sup>, Kevin M. Befus<sup>4</sup>, M. Bayani Cardenas<sup>5</sup>, Grant Ferguson<sup>6</sup>, Tom Gleeson<sup>7</sup>, Elco Luijendijk<sup>8</sup>, Jeffrey J. McDonnell<sup>9,10,11</sup>, Richard G. Taylor<sup>12</sup>, Yoshihide Wada<sup>13,14</sup> and James W. Kirchner<sup>15,16,17</sup>

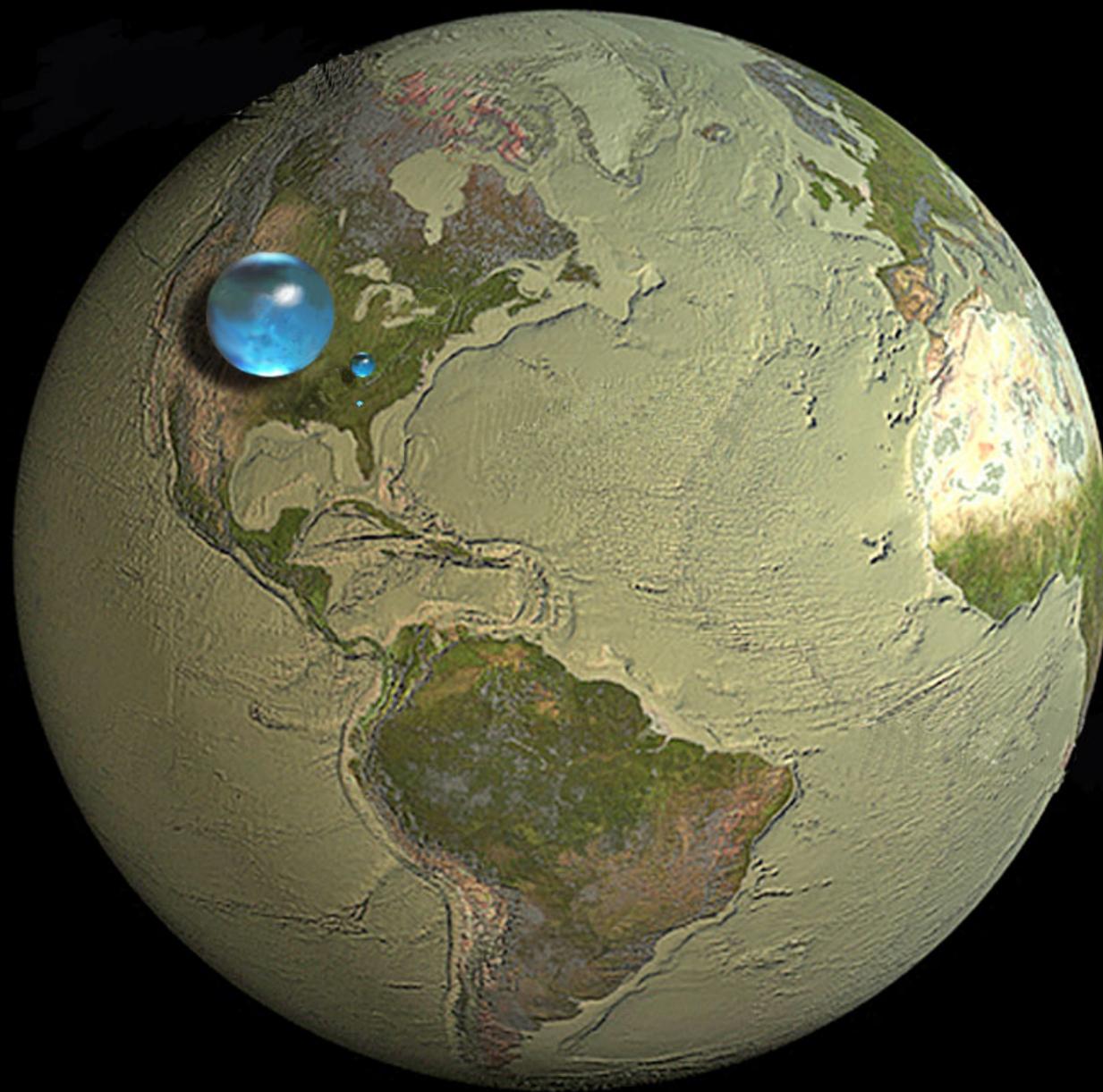






D=1400 km

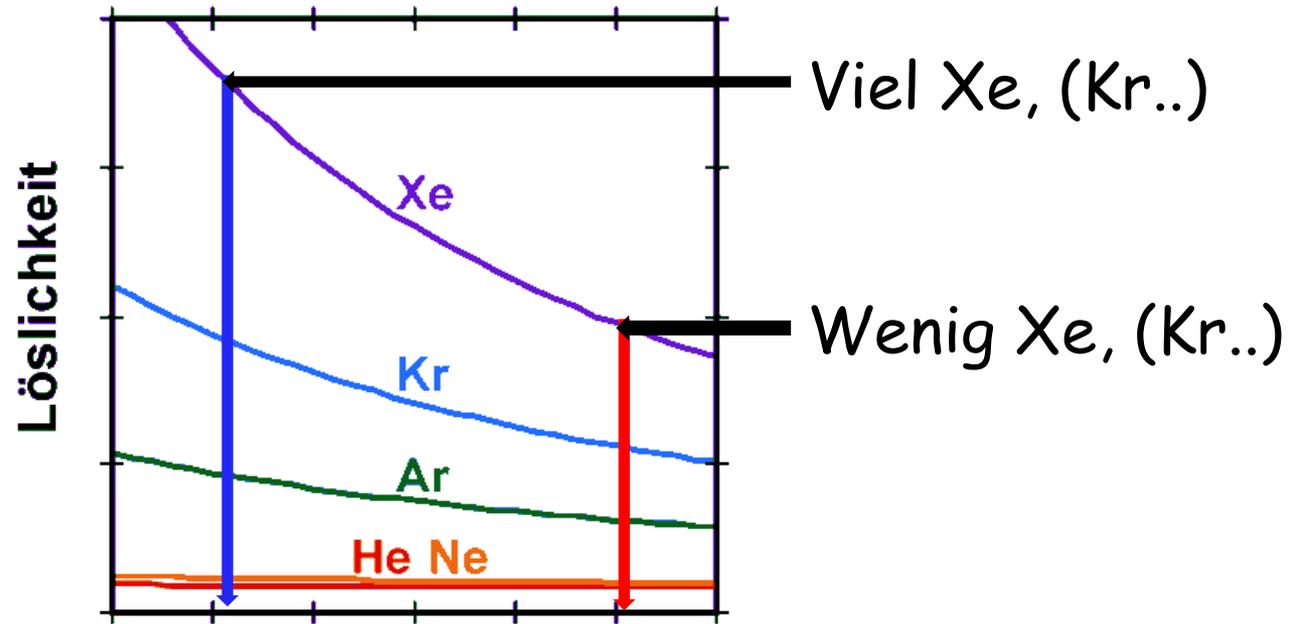
Credit: Howard Perlman, USGS



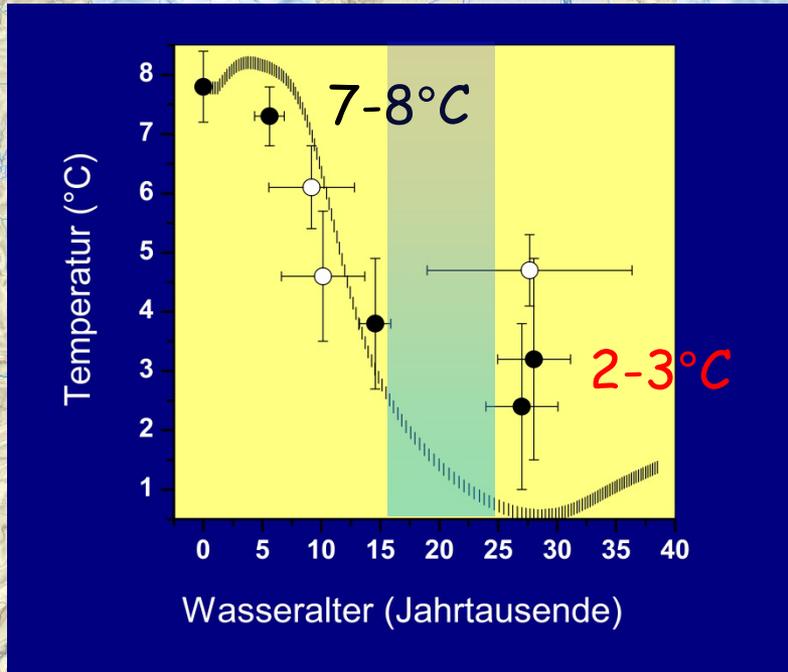
D=270 km  
D=60 km

Credit: Howard Perlman, USGS

# Wie kann man Temperatur bei der Infiltration bestimmen



tiefe Temperatur    Temperatur    hohe Temperatur



# Thema 2: Überwachung nuklearer Aktivitäten



## Worum geht's?

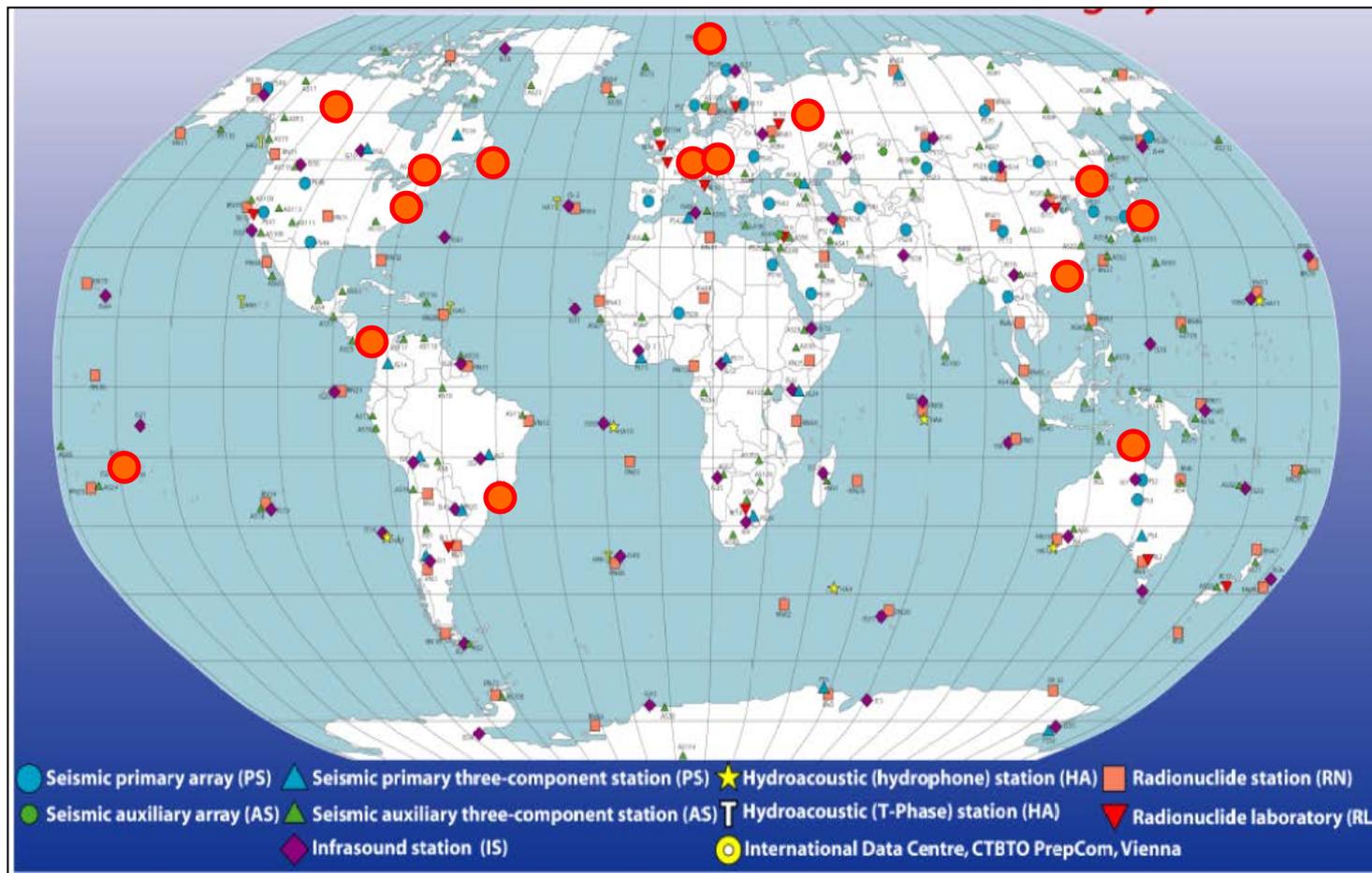
- Angestrebter Vertrag über ein Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT))
- Tritt in Kraft, sobald die im Vertrag angeführten 44 ratifiziert haben (USA und China haben das noch nicht)
- Die "Vorbereitende Kommission" in Wien ist seit 1997 beauftragt, ein weltweites Überprüfungsprogramm aufzusetzen
- Zweck: Verfehlungen aufdecken.



# Internationales Monitoring System (CTBT)



- Netzwerk von 321 Beobachtungsstationen und 16 Radionuklidlabors zur Detektion jeglicher nuklearer Explosionen



## Technologien

- Seismik
- Hydroakkustik
- Infraschall
- Radioaktivität
- Edelgase

- Funktioniert das Monitoring System der CTBTO?
- Was kann über die Art der NK Tests ausgesagt werden?

# Lokalisierung und Charakterisierung: Seismik und Infraraschall

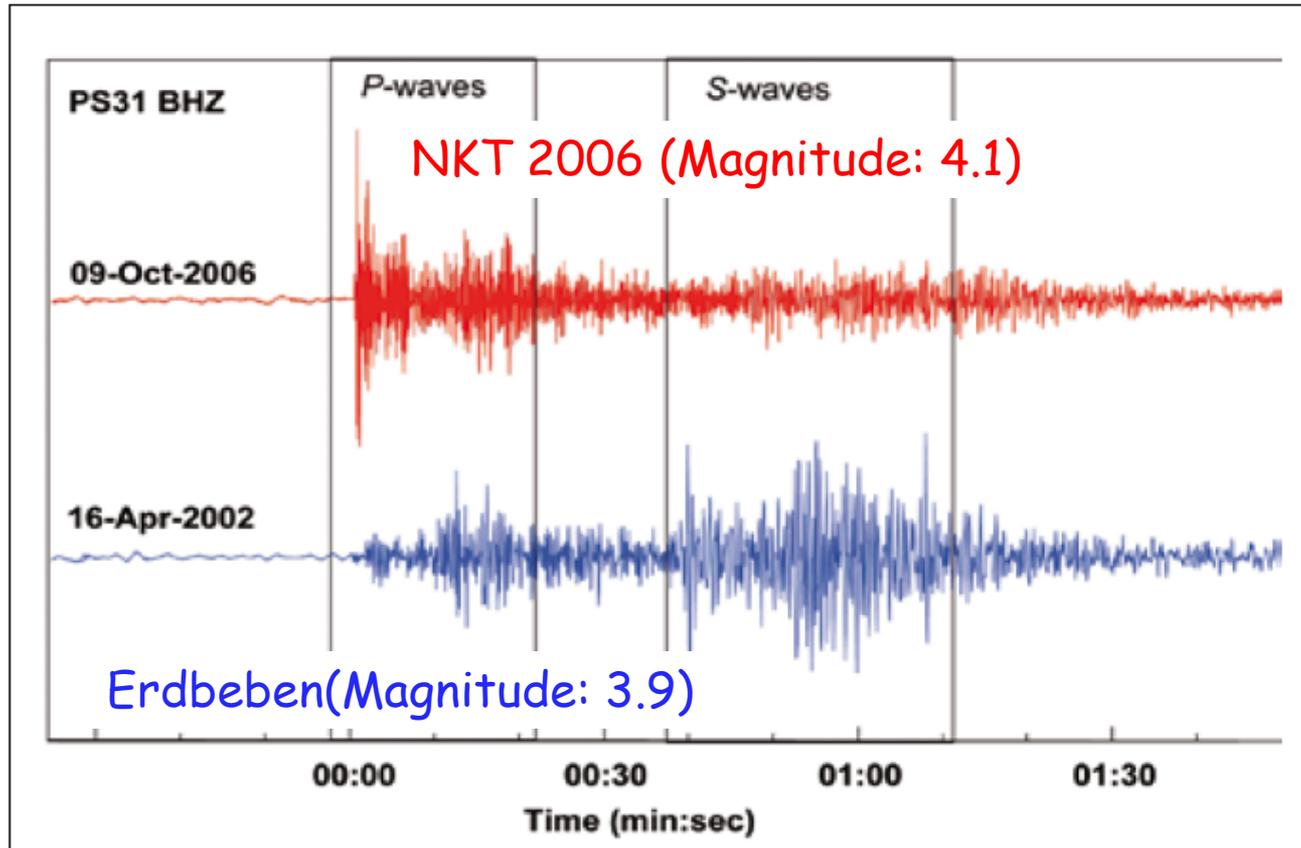


Ascension Island

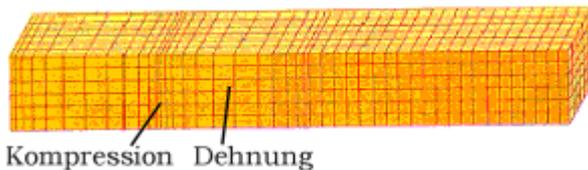
Ross Island in Antarctica



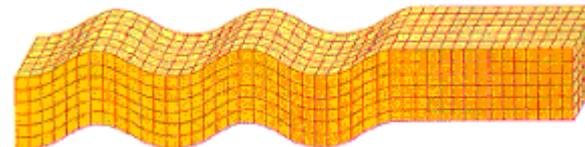
# Seismik: Erdbeben oder Explosion?



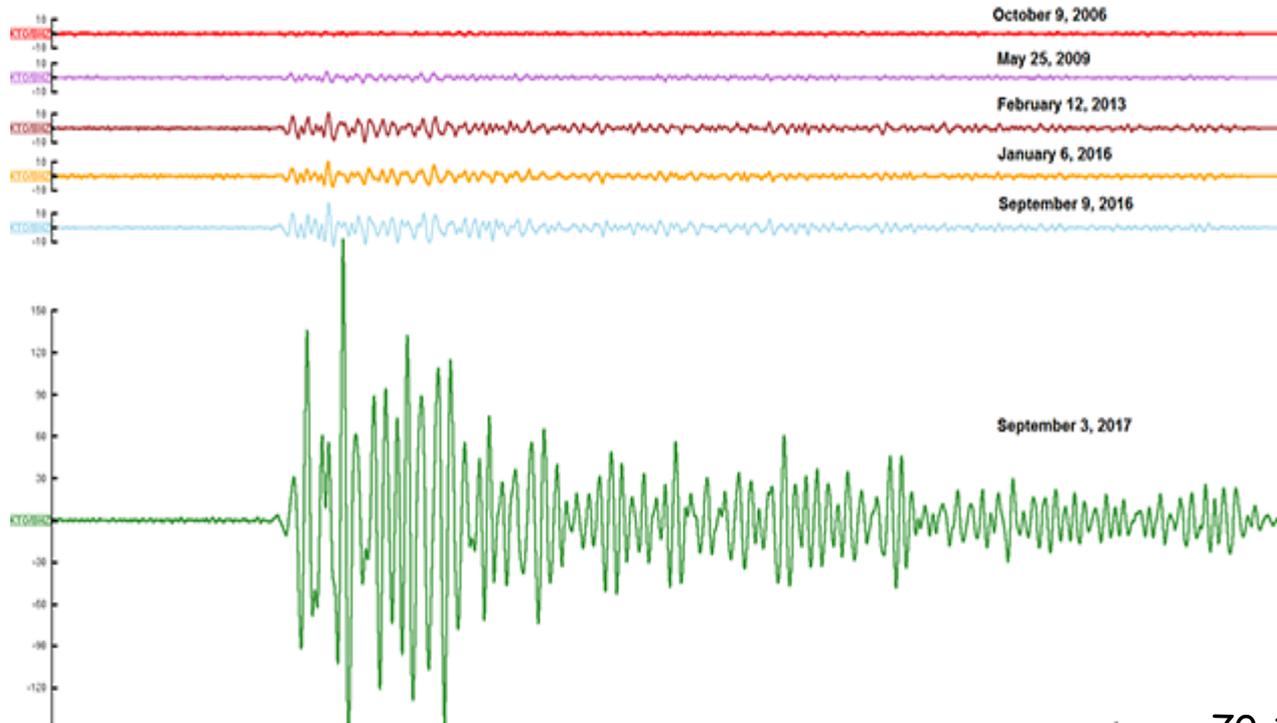
P-Wellen



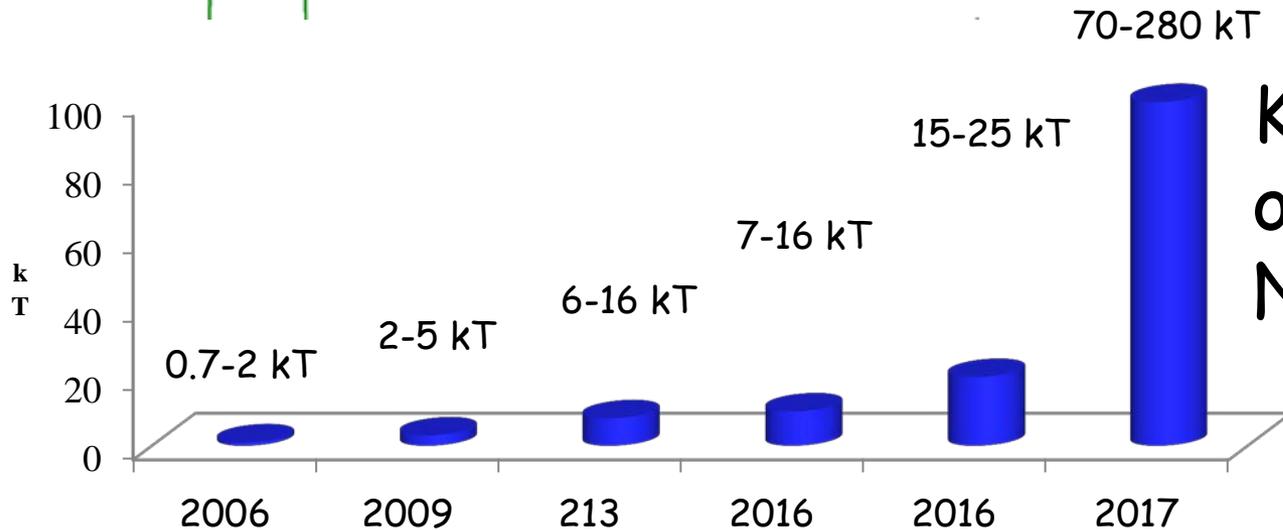
S-Wellen



# Seismische Signale der bisherigen NK Tests



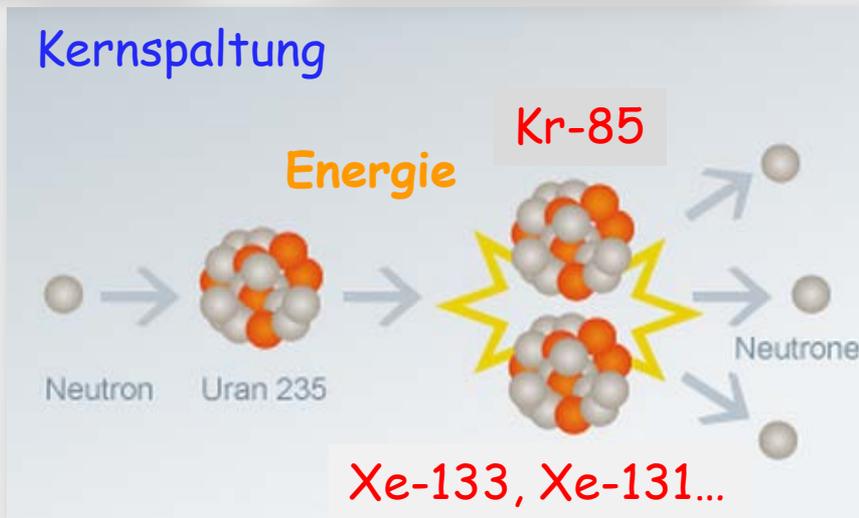
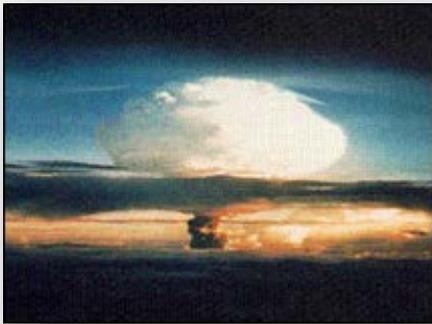
Sources:  
CTBTO  
South Korea's Ministry of National Defense



Konventionell  
oder  
Nuklear???

Zum Vergleich:  
Hiroshima 13 kT  
Nagasaki 21 kT

# Nukleare Spaltprodukte

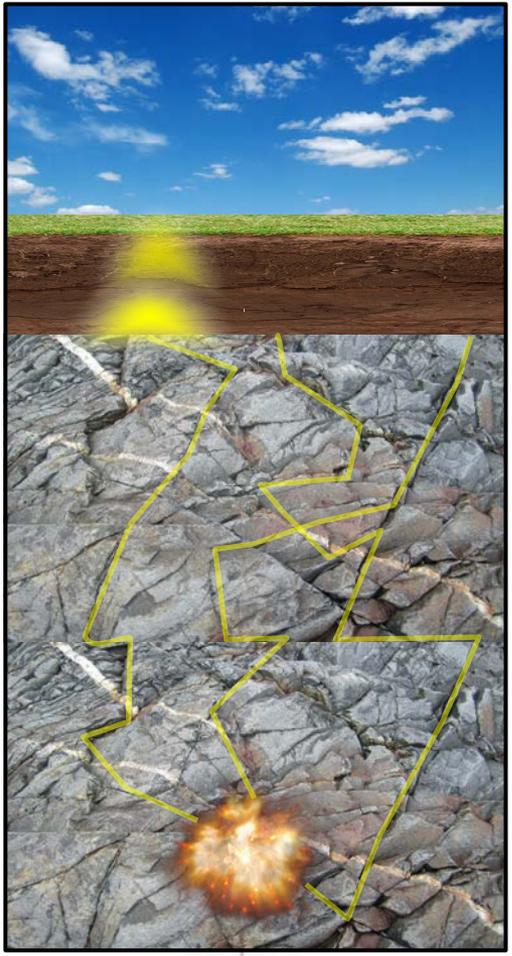


Nachweis

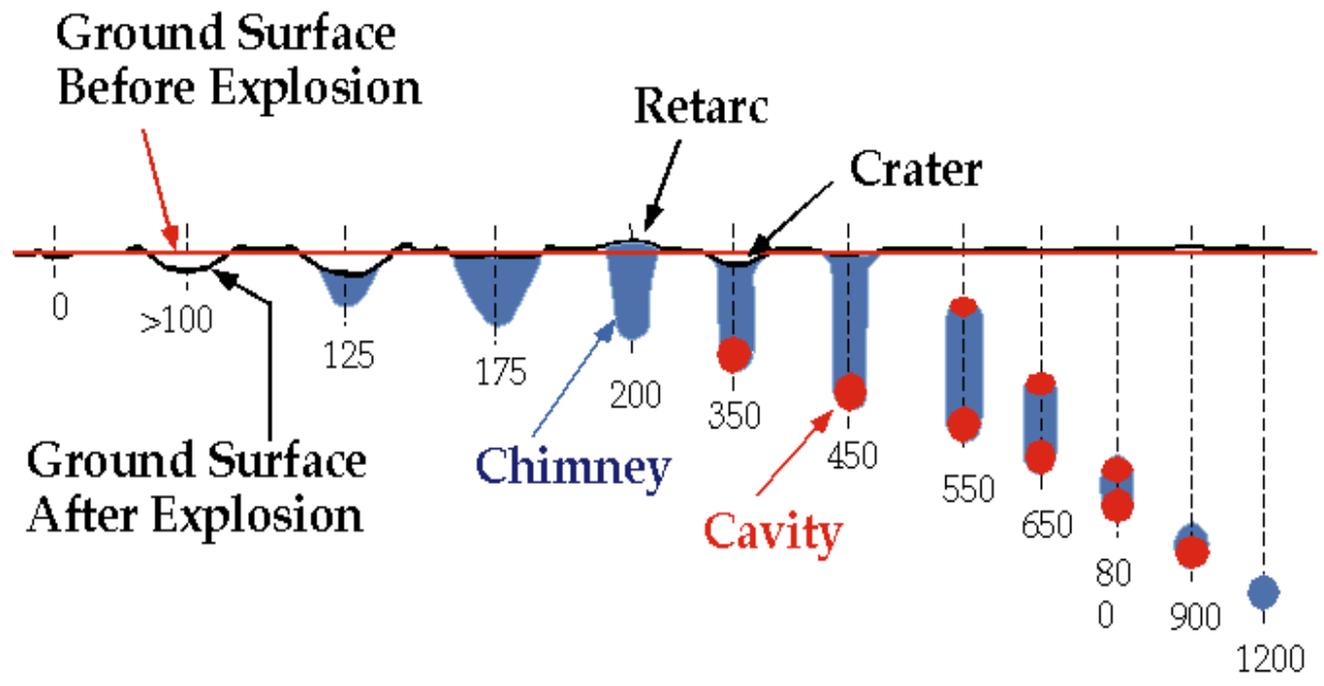
# Radionuklidmessenstationen



# Unterirdische Explosion: Wie gelangen die Gase an die Oberfläche?



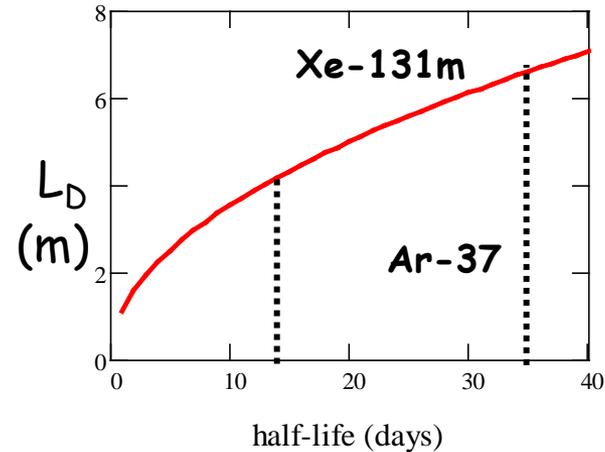
## Crater Formation As A Function Of Depth Of Burial



# Wie effektiv ist Diffusion?

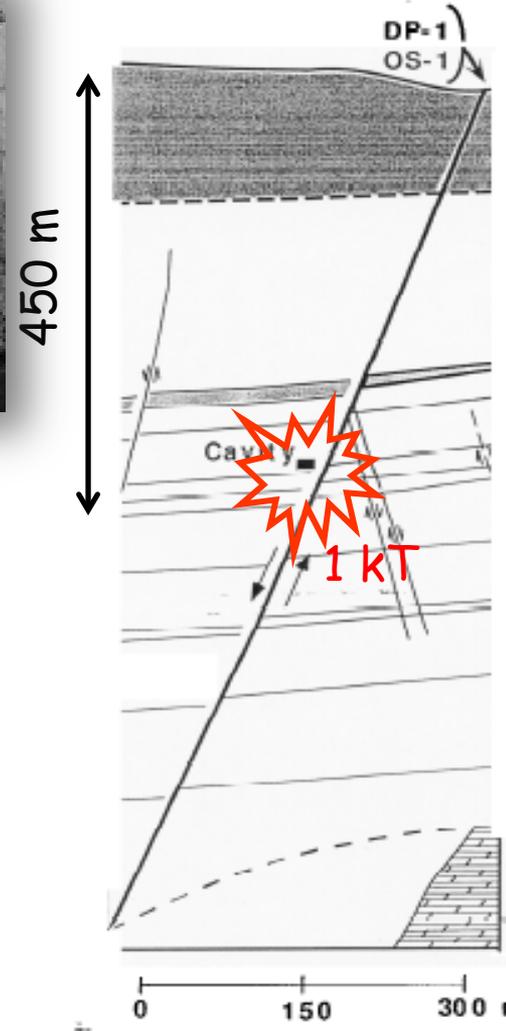
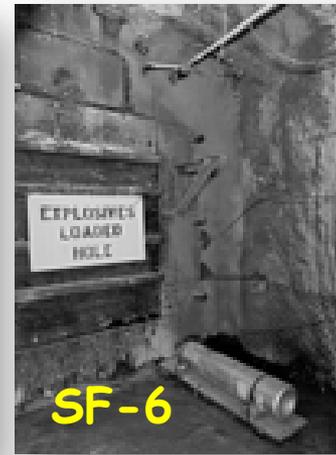


Diffusionslänge  $L_D = \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$



- Man kann zeigen  
Diffusion ist zu  
langsam. Hoffnungslos?

# Nonproliferation Experiment (NPE)



Erste Detektion an  
der Oberfläche nach

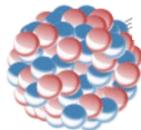
Testgase

$^3\text{He}$  (Massenzahl = 3)



? 375 Tagen

$\text{SF}_6$  (Massenzahl = 146)

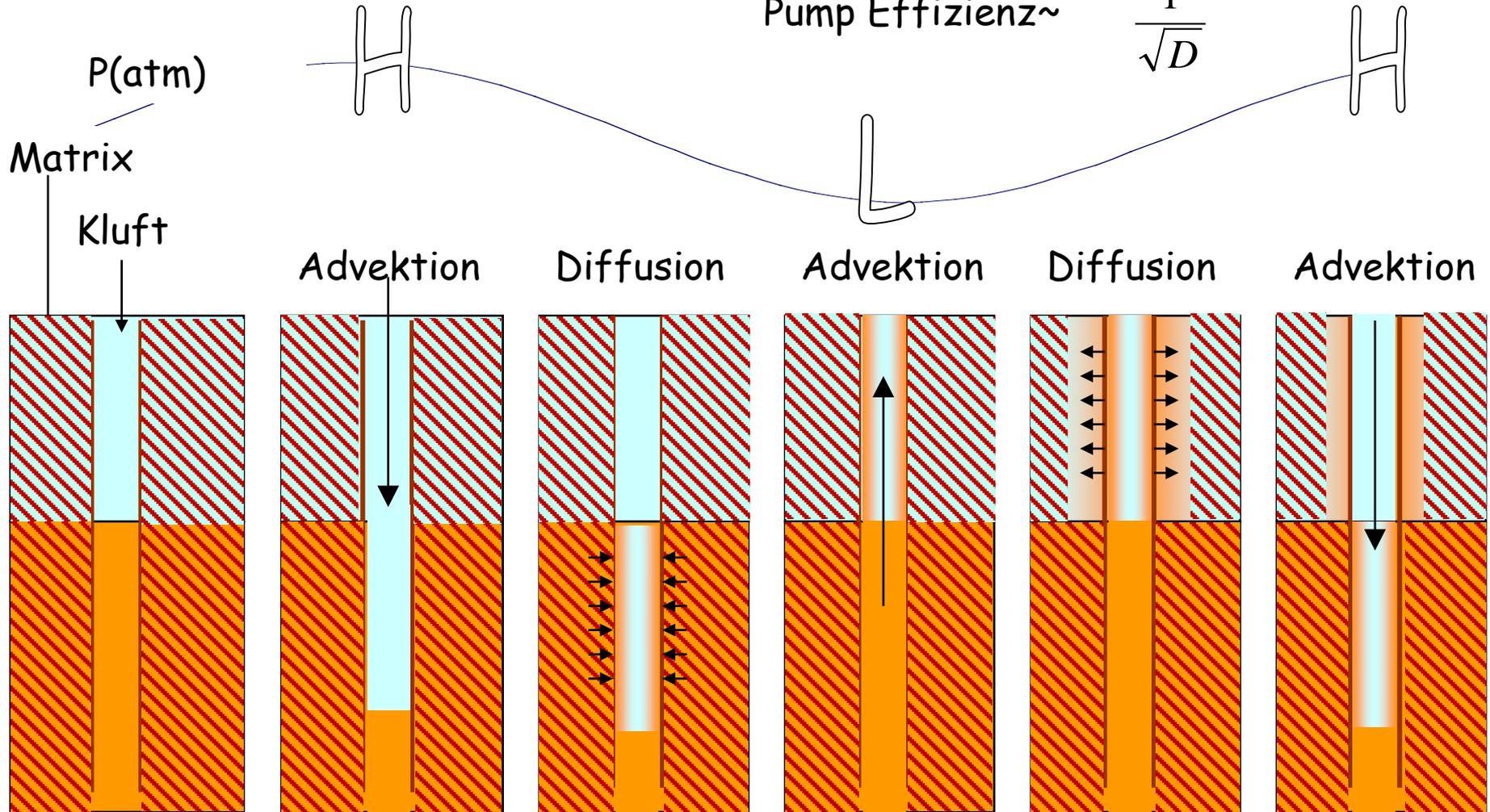


? 50 Tagen

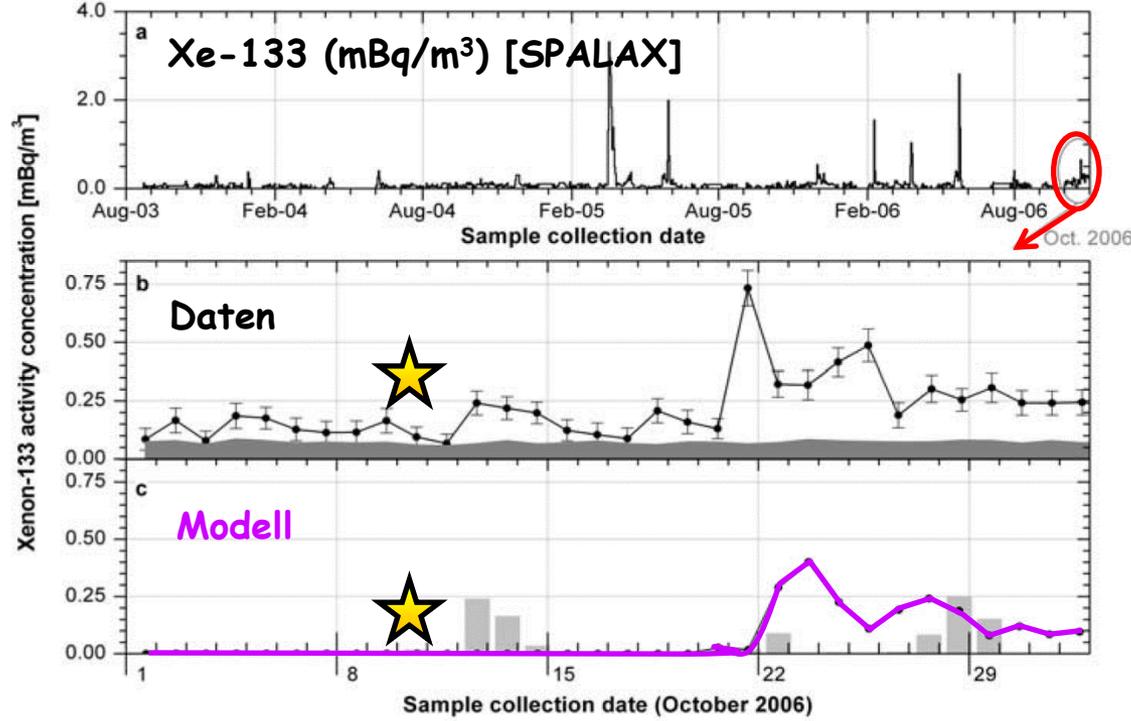
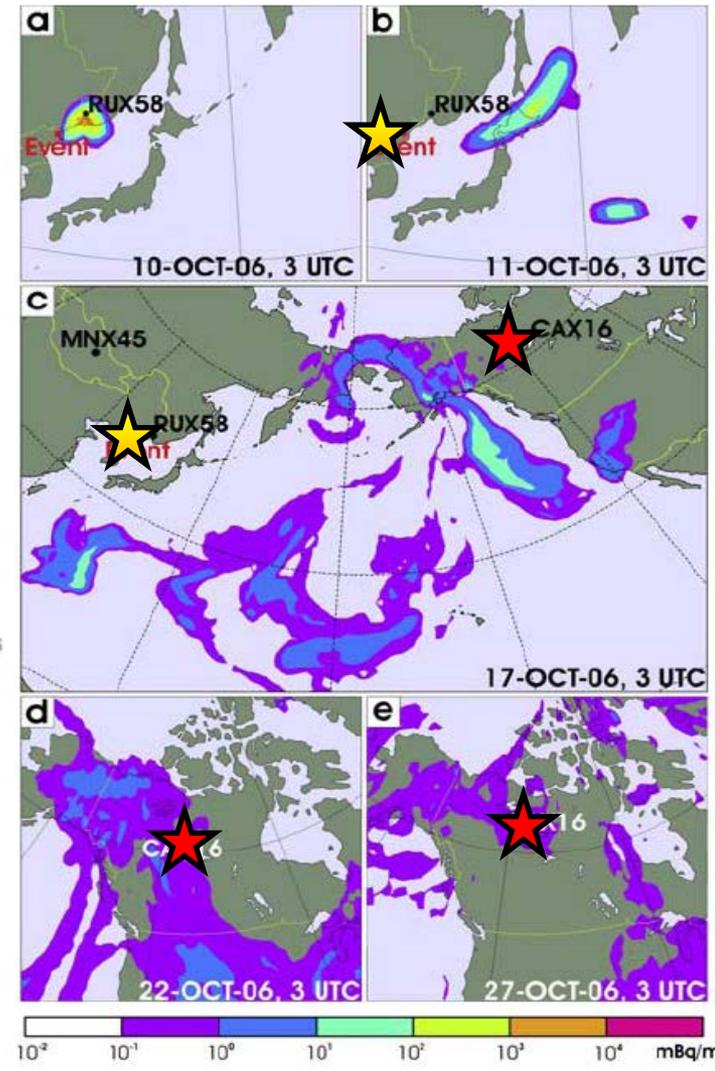
# Erklärung: Barometrisches Pumpen

- Reine Bodenluft
- Gase von Explosion

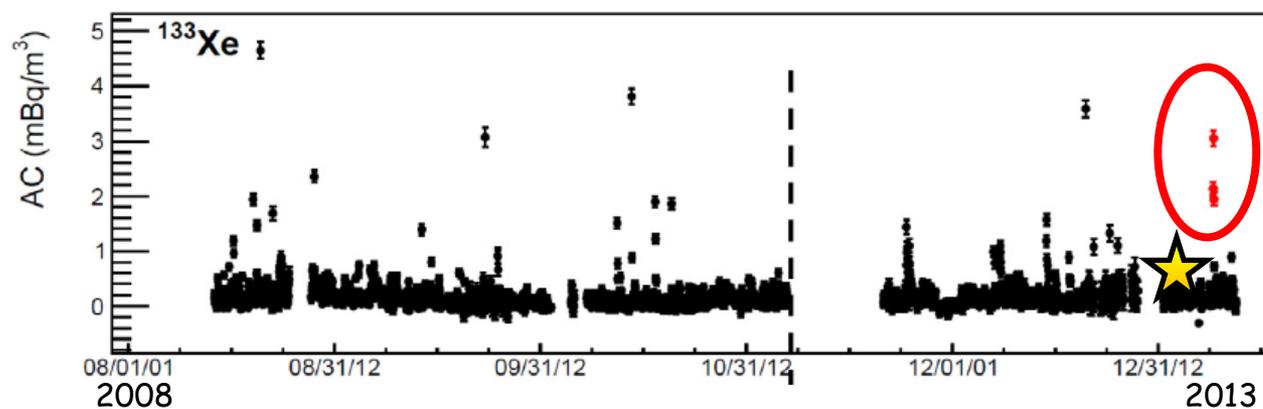
Pump Effizienz ~  $\frac{1}{\sqrt{D}}$



# Nordkorea Test vom 9. Oktober 2006: Xenon-133, Station Yellowknife, Kanada

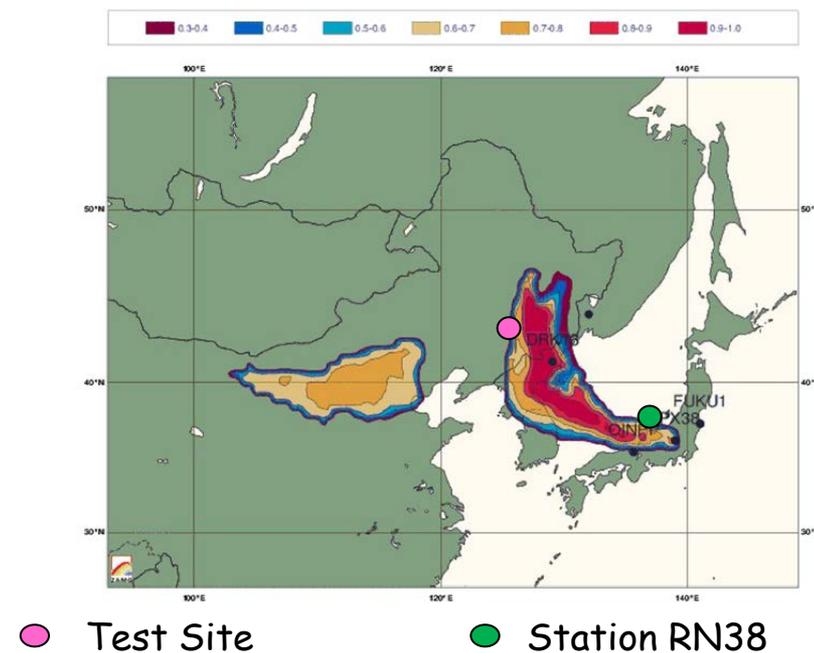


# Nordkorea Test vom Februar 2013, Station Takasaki, Japan

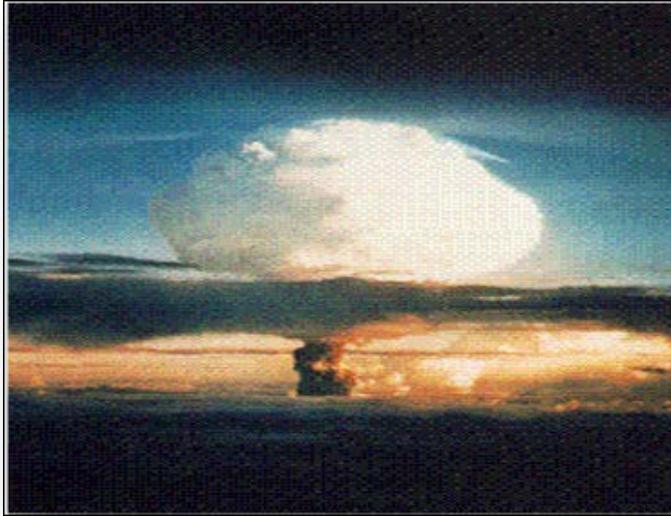


## Transportmodellierung

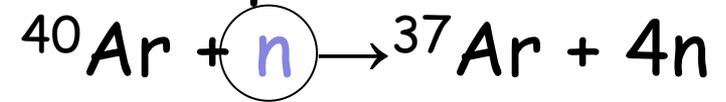
133Xe Peak 55! Tage  
nach Test



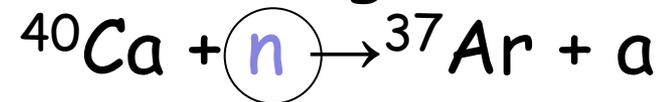
# Verbesserte Methode Uni Bern: Ar-37

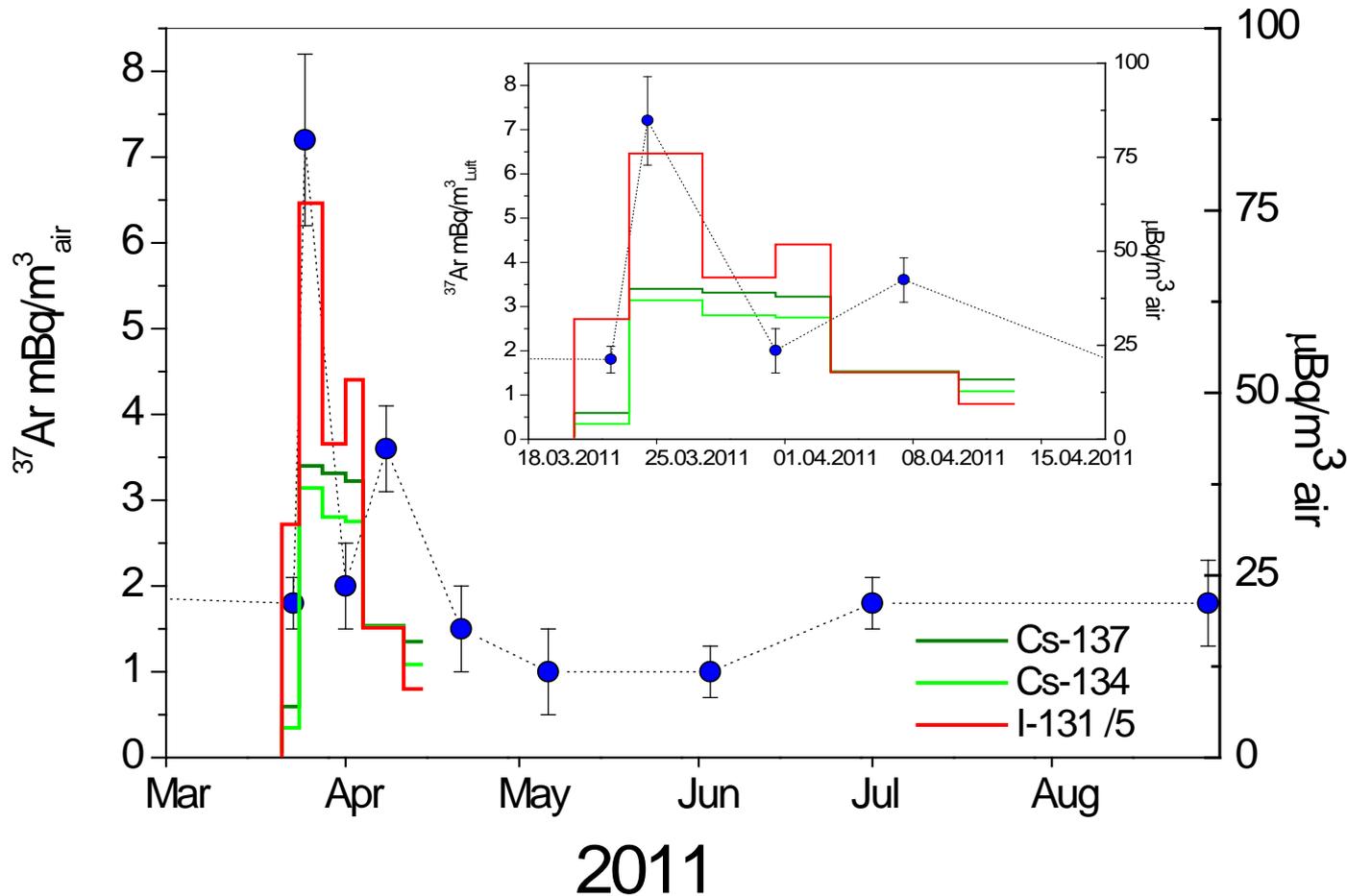


Atmosphäre



Im Untergrund





- Ar-37 Anstieg in Bern 2 Wochen nach nach dem Unfall in Fukushima

# Zur Zeit Testphase in Japan und Südkorea

u<sup>b</sup>

UNIVERSITÄT  
BERN

DESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH

## Japan



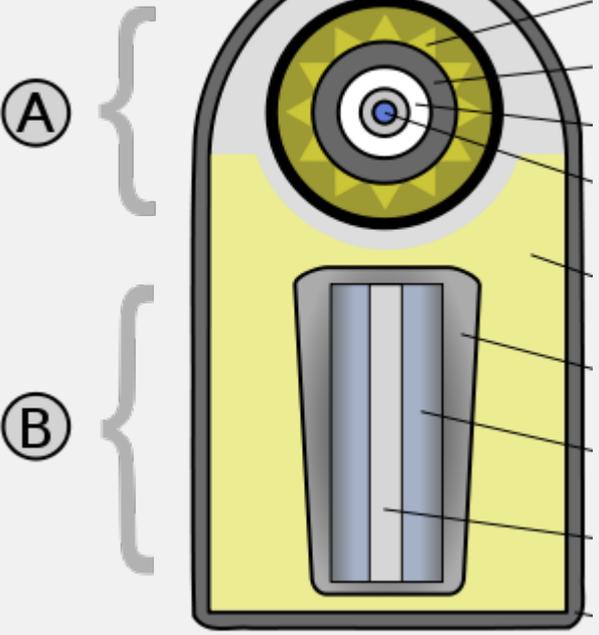
## Uni Bern



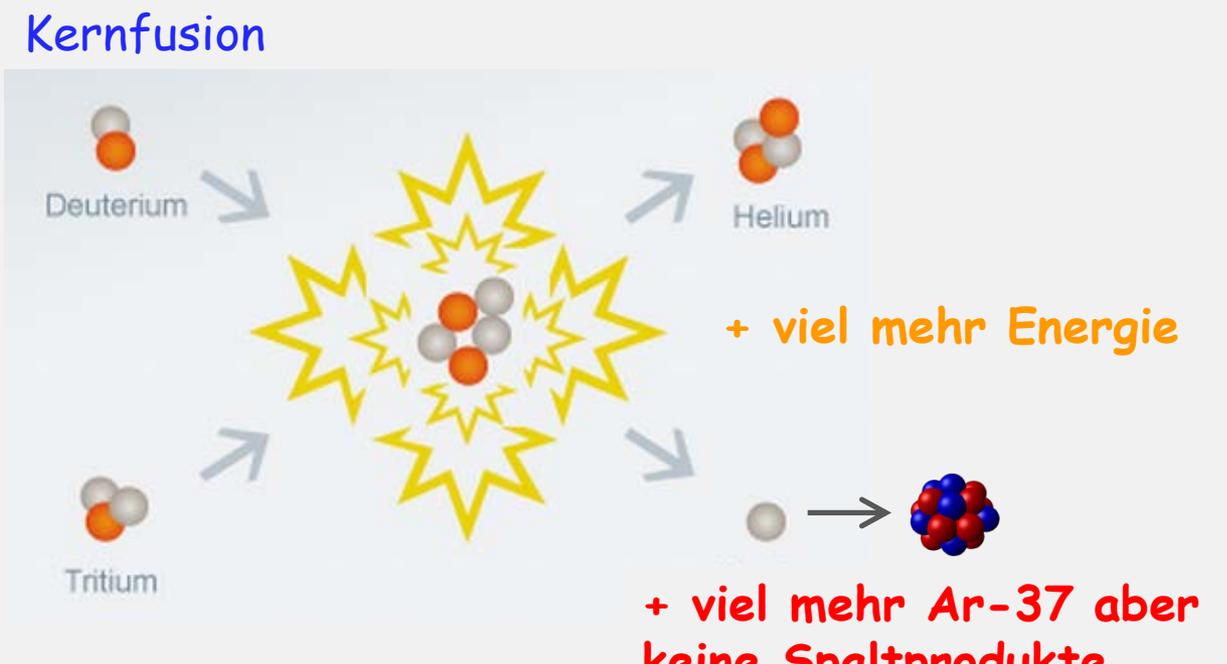
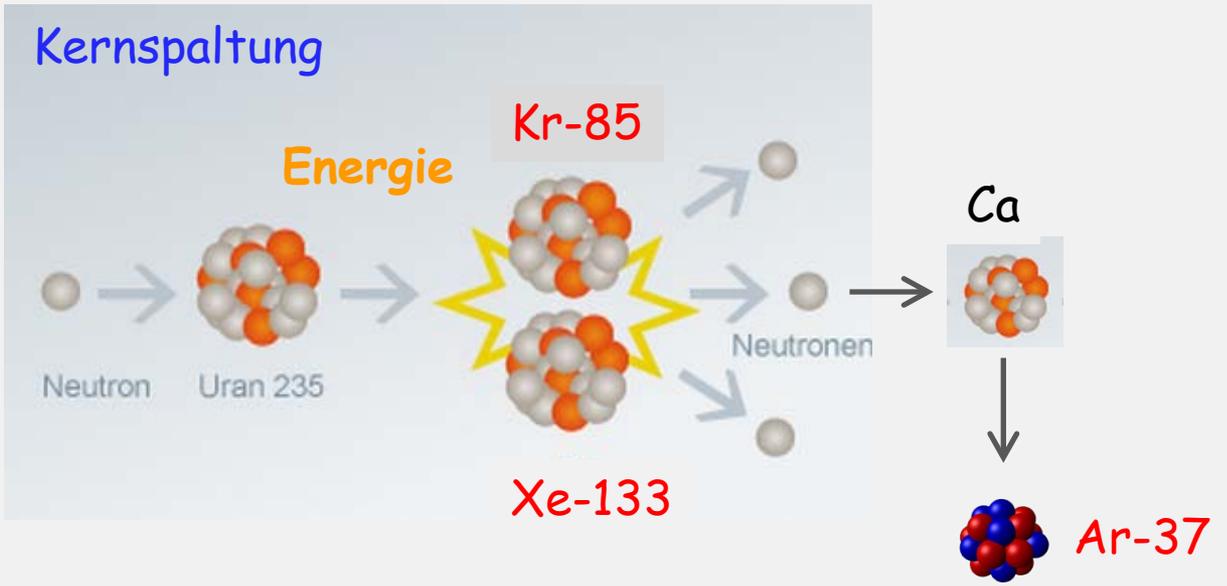
80 Liter Luft 400 <sup>37</sup>Ar Atome

Davon zerfallen in 4 Tagen 30 Stk

# Wasserstoffbombe oder nicht?



A: Spaltbombe  
B: Fusionsbombe



Spaltbombe

H-Bombe

Ar-37

---

Xe-133

Ar-37

---

Xe-133

Das Zählen weniger Edelgasatome  
kann vieles zu Tage bringen was  
sonst verborgen wäre.

Danke für die Aufmerksamkeit