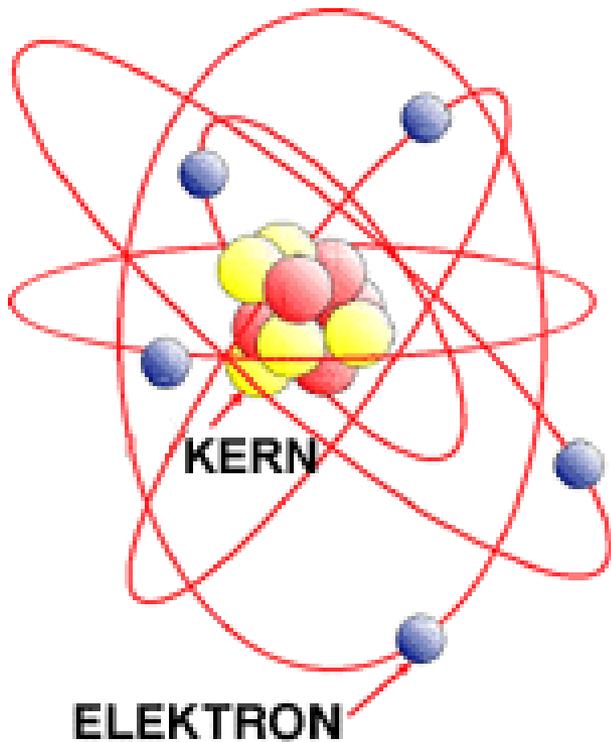




Entstehung der chemischen Elemente im Universum und im Labor

Struktur des Atoms



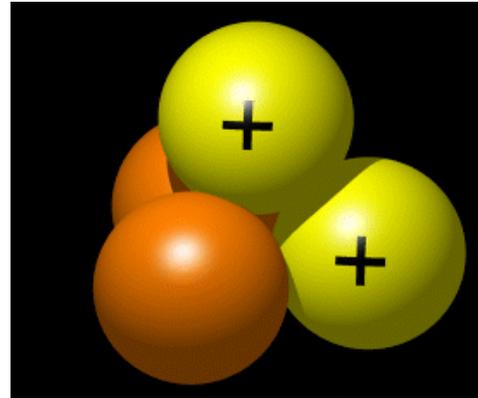
~ 10^{-10} m

Atomhülle
Elektronen

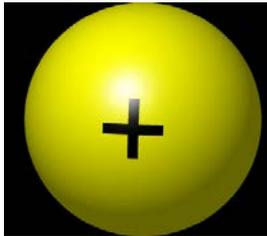
Atomkern
Protonen, Neutronen

- Die Zahl von Elektronen bestimmt die chemischen Eigenschaften eines Atoms
- In neutralen Atomen ist die Zahl von Elektronen immer gleich der Zahl der Protonen im Kern

Atomkerne



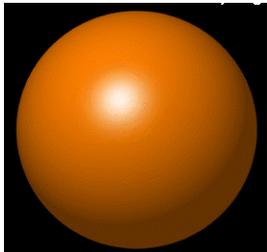
Helium Kern



Proton

➤ Protonen sind positive geladene Teilchen

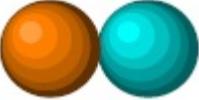
➤ Neutronen sind elektrisch neutral



Neutron

➤ Die Masse von Neutronen und Protonen ist fast gleich und ca. 2000 mal größer als die Elektronenmasse

Wasserstoff - Isotope

p n n				
	Wasserstoff (H)	${}^1_1\text{H}$	stabil	
	Deuterium (D)	${}^2_1\text{H}$	stabil	
	Tritium (T)	${}^3_1\text{H}$	radioaktiv	

Allgemein: ${}^A_Z\text{Element}_N$

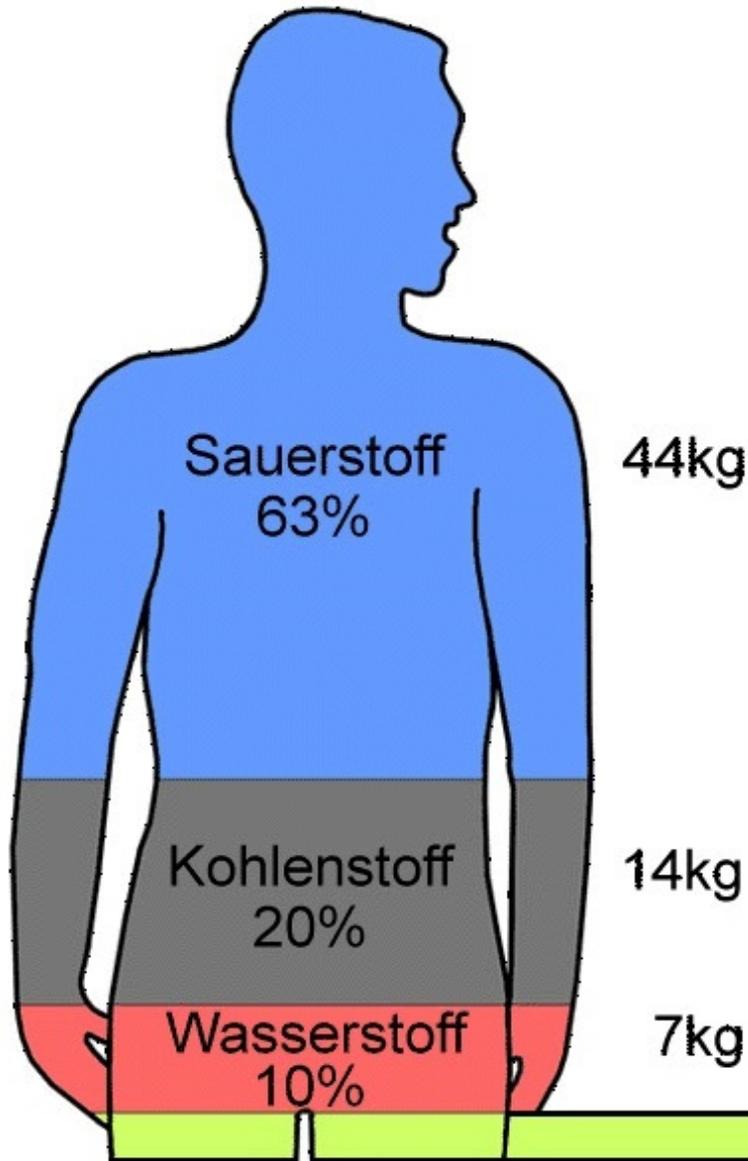
Z Ordnungszahl = Anzahl von Protonen

N Neutronenzahl = Anzahl von Neutronen

A Massenzahl = Anzahl von Nukleonen ($A = Z + N$)

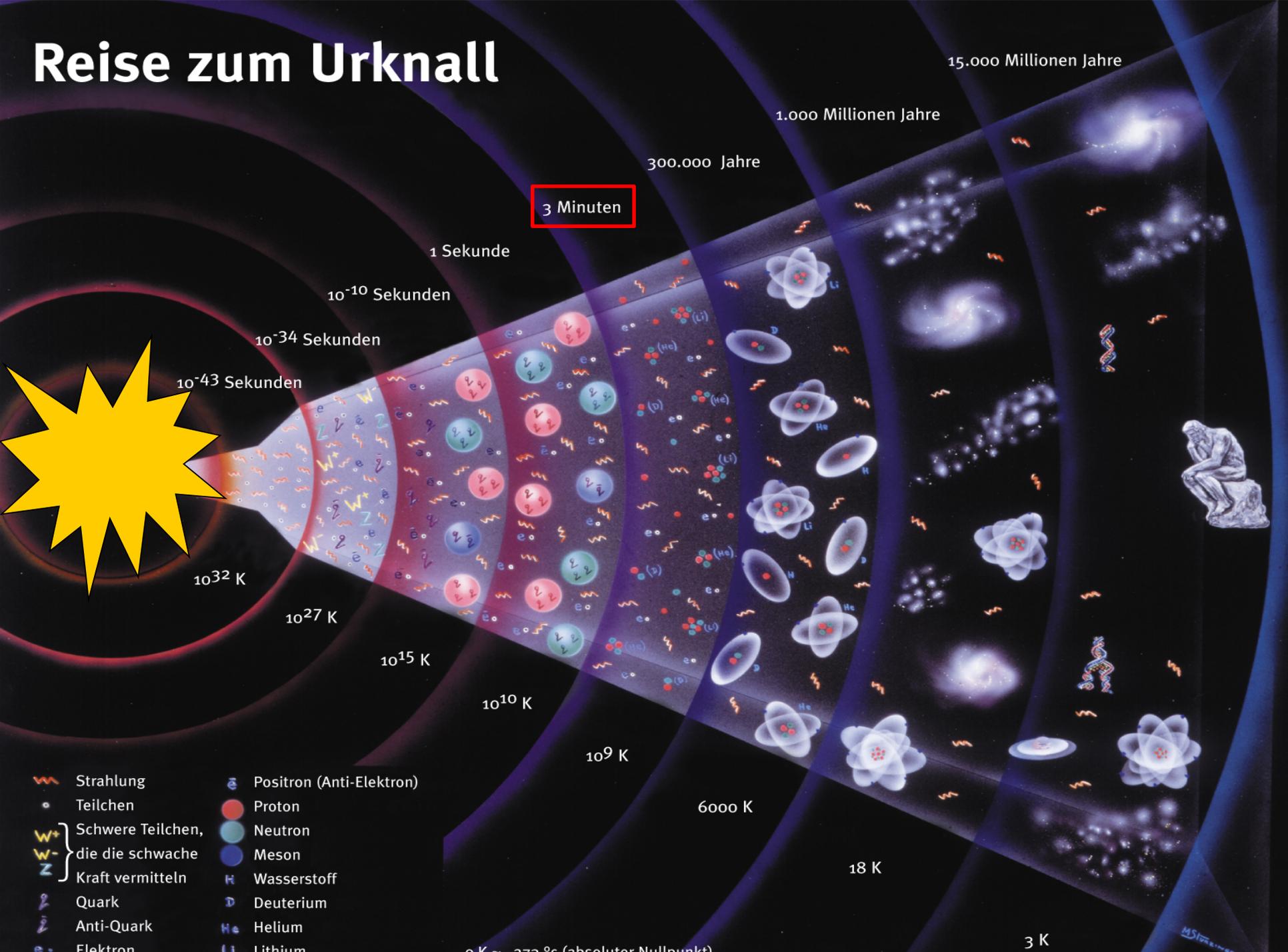
Anteile der Elemente in einem Menschen

Anteile (ca.) in Prozent und in Masse bei 70kg Körpergewicht



Restanteil	in %	Masse
Stickstoff	3	2,1 kg
Calcium	1,5	1 kg
Phosphor	1	0,7 kg
Kalium	0,25	170g
Schwefel	0,2	140g
Chlor	0,1	70g
Natrium	0,1	70g
Magnesium	0,04	30g
Eisen	0,004	3
Kupfer	0,0005	0,3g
Mangan	0,0002	0,1g
Iod	0,00004	0,03g

Reise zum Urknall



15.000 Millionen Jahre

1.000 Millionen Jahre

300.000 Jahre

3 Minuten

1 Sekunde

10^{-10} Sekunden

10^{-34} Sekunden

10^{-43} Sekunden

10^{32} K

10^{27} K

10^{15} K

10^{10} K

10^9 K

6000 K

18 K

3 K

- Strahlung
- Teilchen
- Schwere Teilchen, die die schwache Kraft vermitteln
- Quark
- Anti-Quark
- Elektron

- Positron (Anti-Elektron)
- Proton
- Neutron
- Meson
- Wasserstoff
- Deuterium
- Helium
- Lithium

0 K = -273,15 °C (absoluter Nullpunkt)



M. S. F. F. F.

Reise zum Urknall

Natur



Quark-Gluon
Plasma

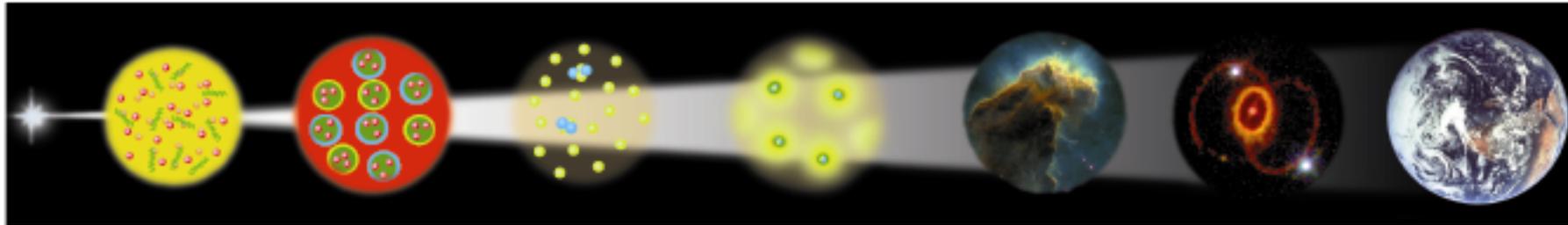
Nukleonen

Kerne

Atome

Heute

Big
Bang



10^{-6} sec

10^{-4} sec

3 min

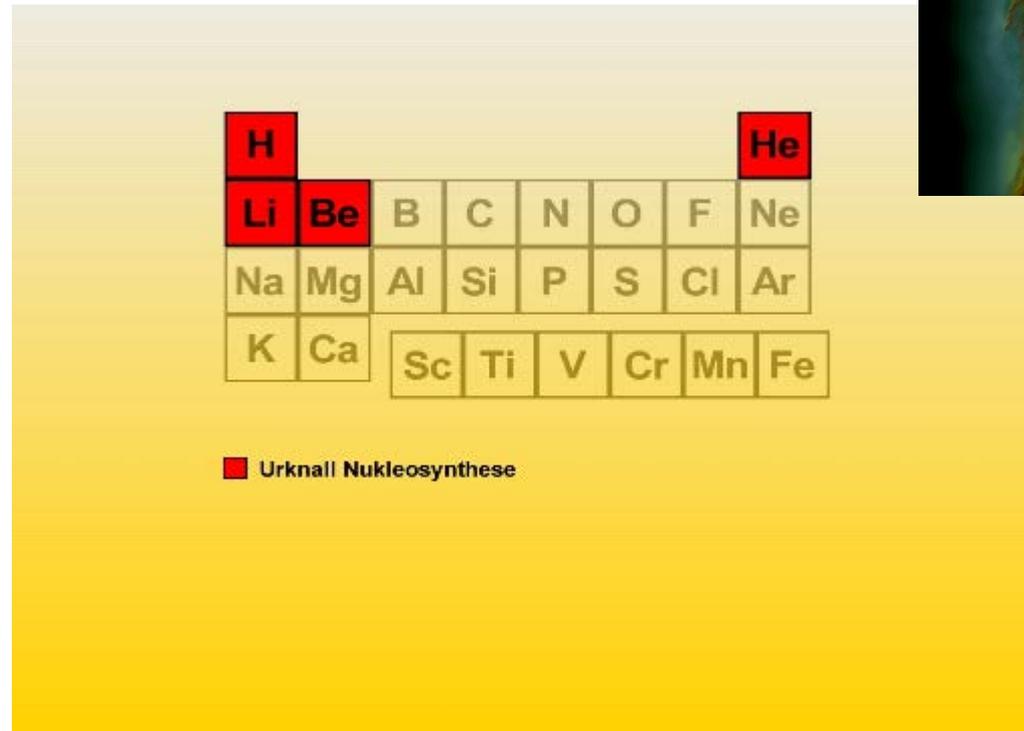
13,8 Milliarden Jahre

Experiment



Fragen, die es zu beantworten gilt

aus dem Bereich des Urknalls:



H								He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	

■ Urknall Nukleosynthese



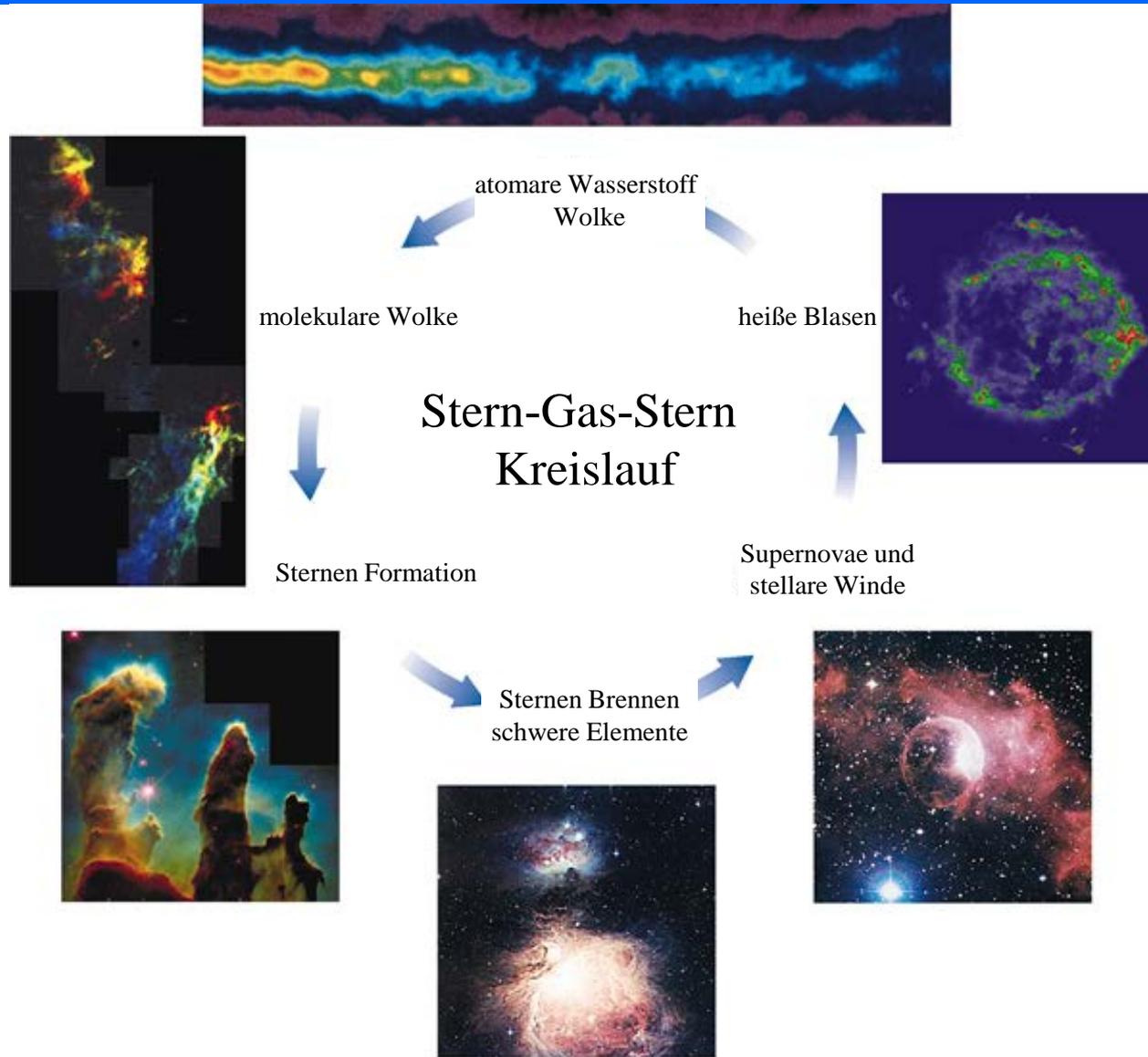
Häufigkeit der Elemente vor 13.8 Milliarden Jahren (Urknall):

Wasserstoff 75%

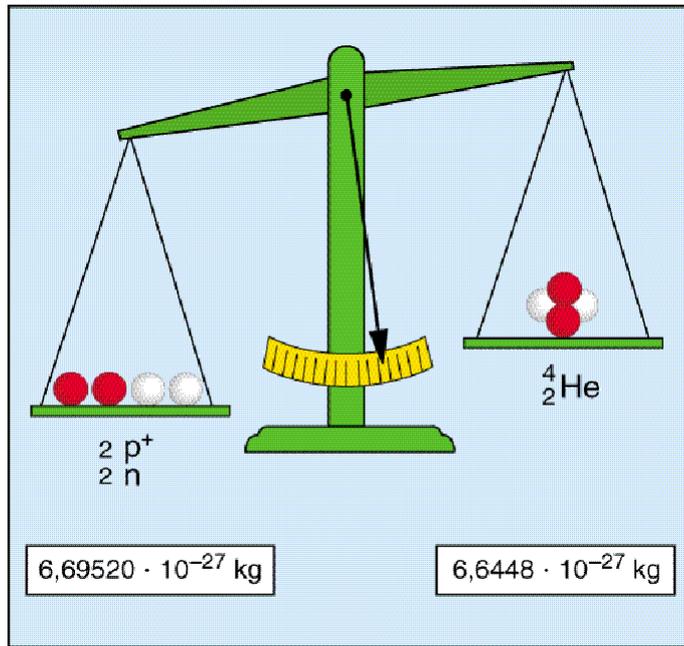
Helium 25%

Spuren (10^{-10}) von Lithium und Beryllium

Stern – Gas – Stern Kreislauf



Synthese innerhalb der Sonne



$$E = mc^2$$

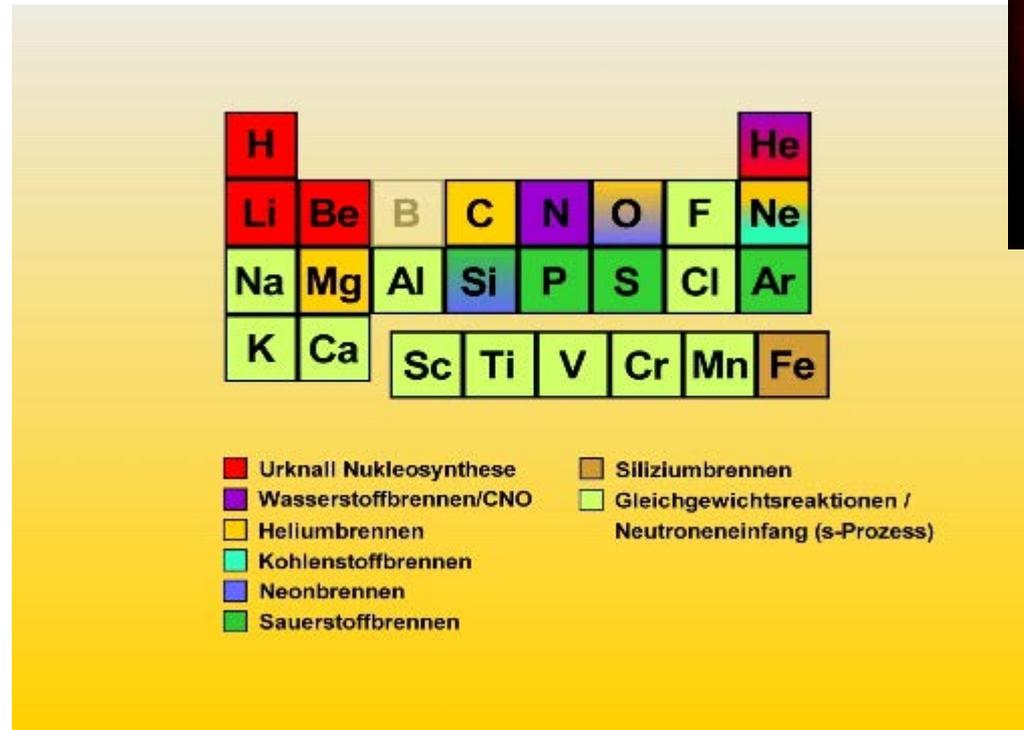


Sonne

28 Millionen [eV]



Synthese innerhalb der Sterne



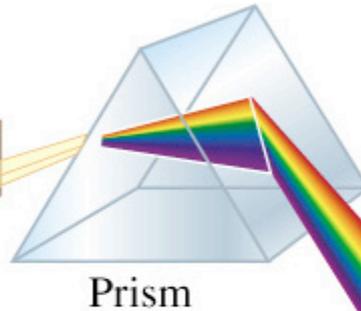
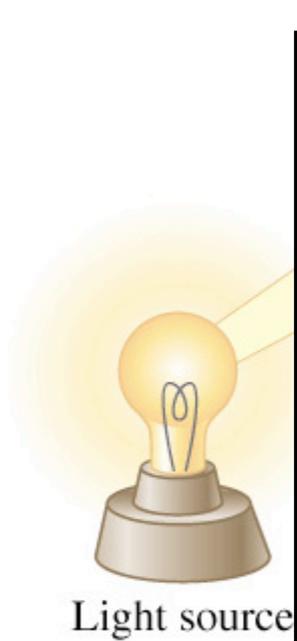
Häufigkeit der Elemente vor 4.6 Milliarden Jahren (Sonne):

Wasserstoff 71.6%

Helium 27.0%

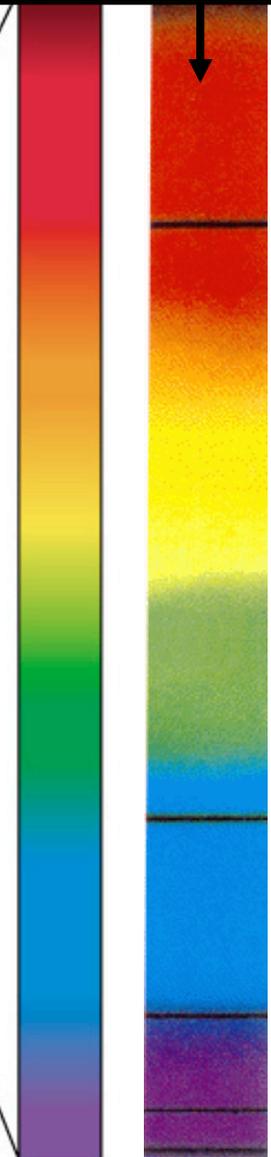
schwere Elemente 1.4%

Absorbtionsspektren

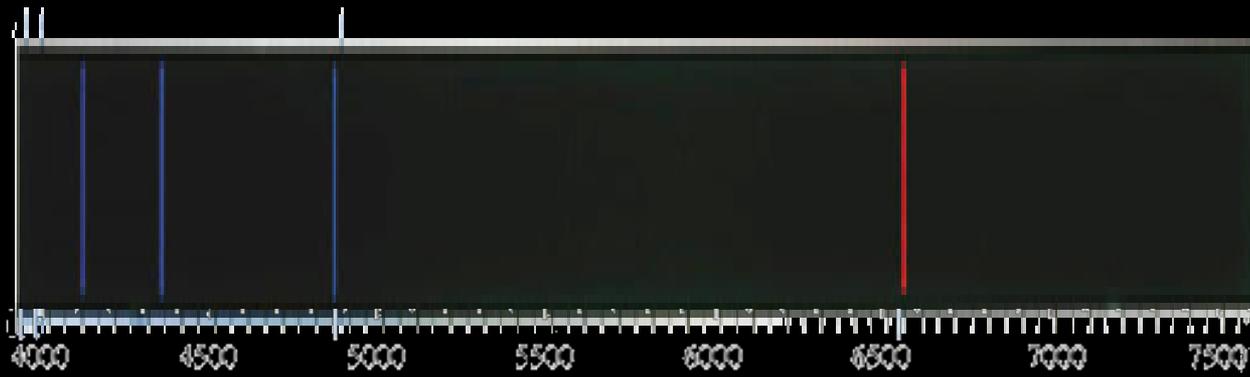


Red

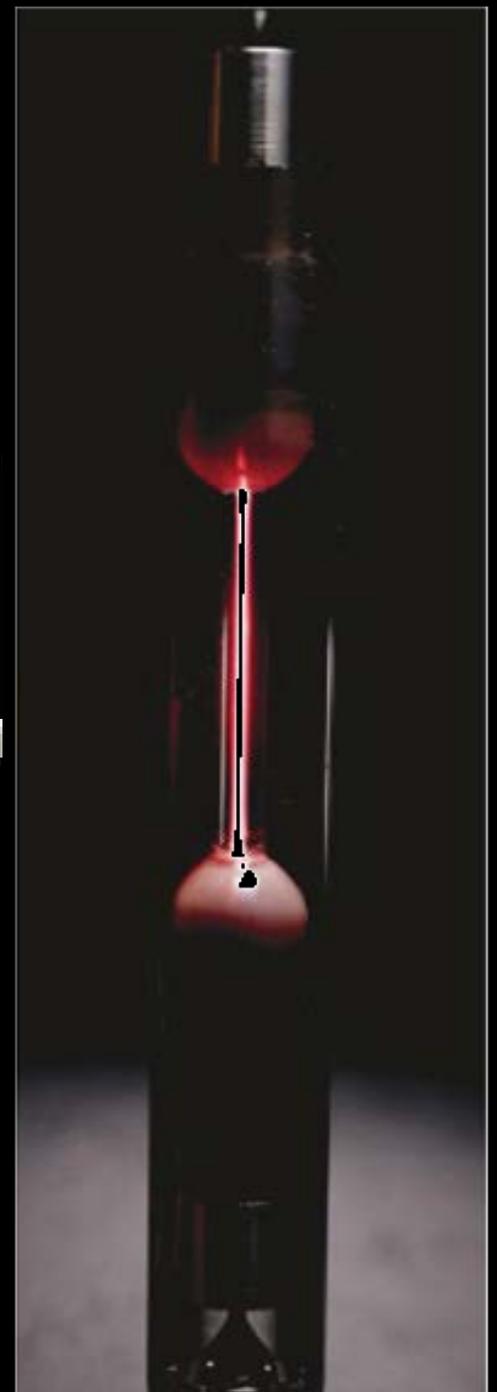
Violet



Wasserstoff Emissionsspektrum



Wellenlänge nm



H



H δ

410 nm

H γ

434 nm

H β

486 nm

H α

656 nm

Spektralanalyse
Kirchhoff und Bunsen:
Jedes Element hat charakteristische Emissionsbanden

Cd



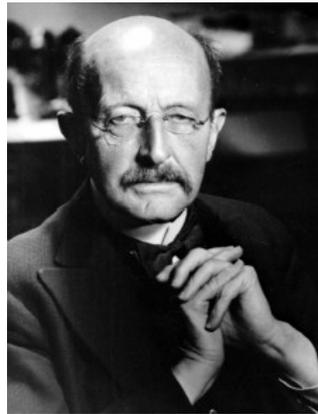
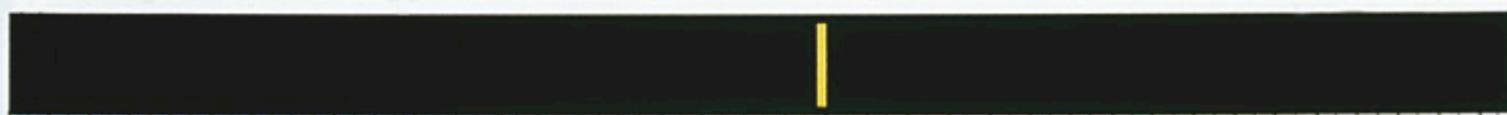
Sr



Ca

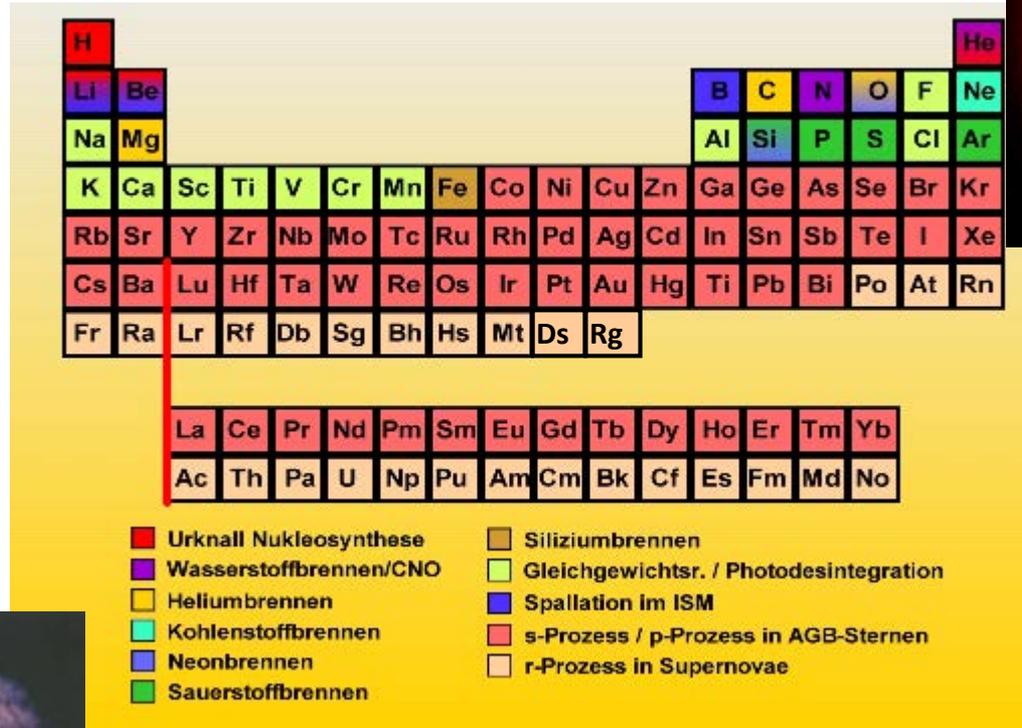


Na



Max Planck

Die Entstehung der Elemente im Universum



Eta Carinae

Häufigkeit der Elemente heute:

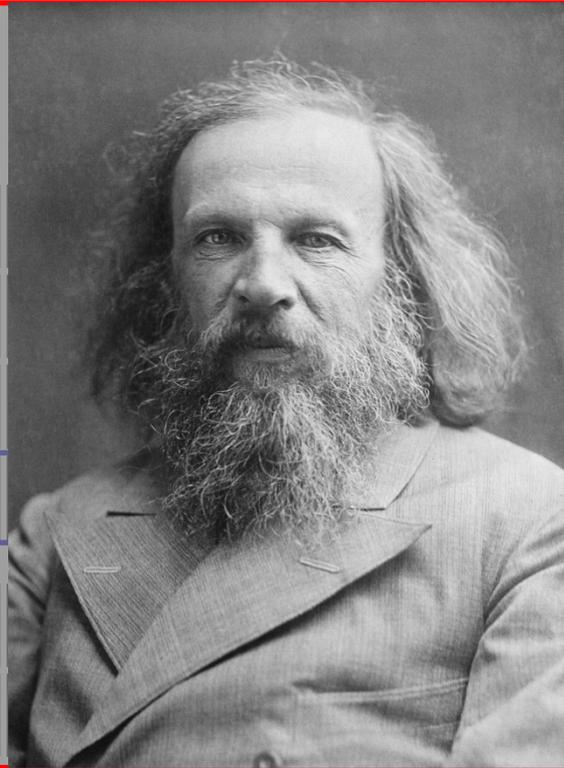
Wasserstoff 73.0%

Helium 25.0%

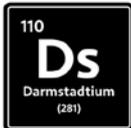
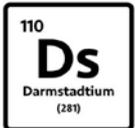
schwere Elemente 2.0%

Periodensystem chemische Eigenschaften

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
↓Period																			
1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc		22 Ti	23 V							30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y		40 Zr	41 Nb							48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta							80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	**	104 Rf	105 Db							112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
				*	58 Ce	59 Pr							66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
				**	90 Th	91 Pa							98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

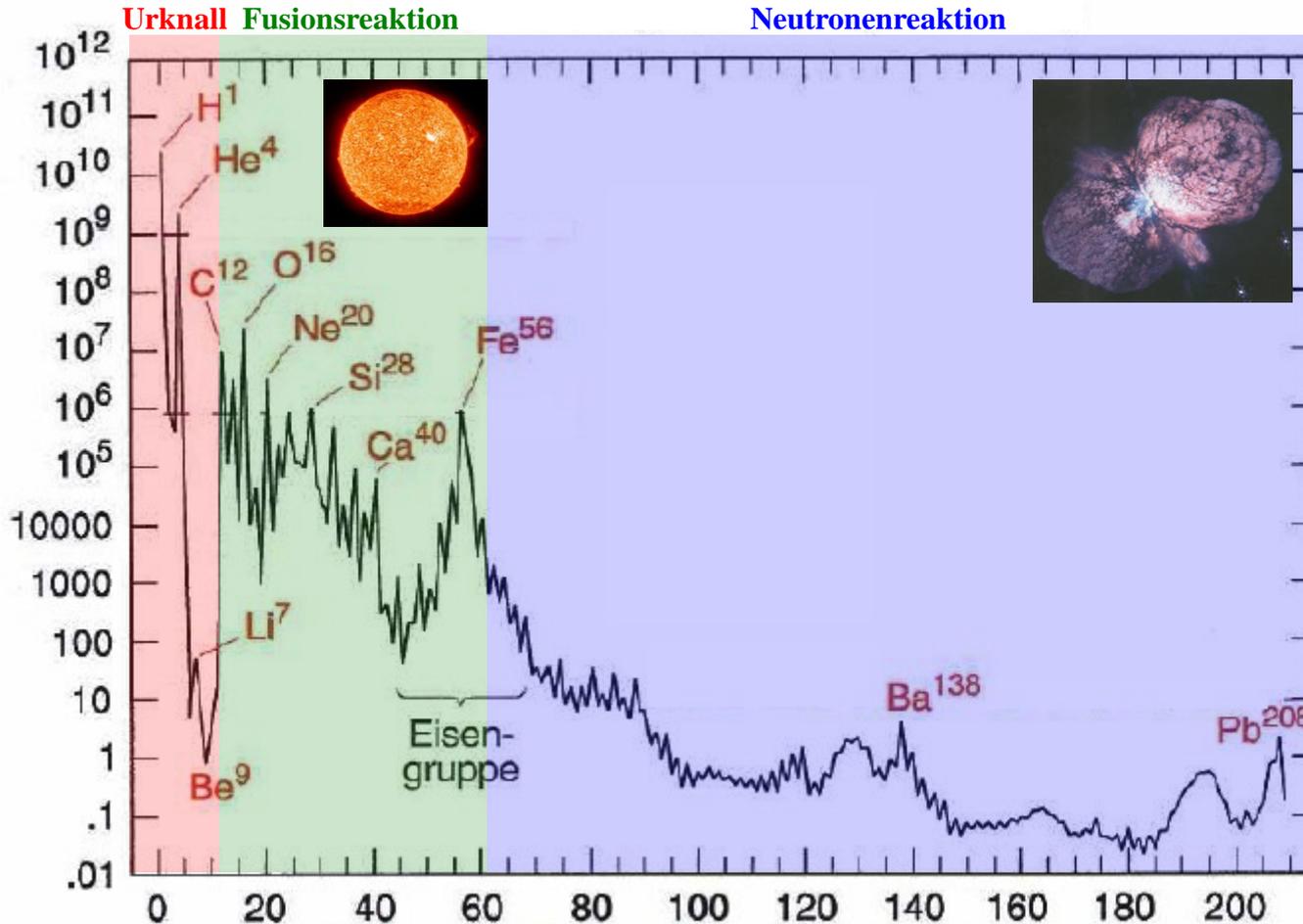


Dimitri Mendeleev



Fragen, die es zu beantworten gilt

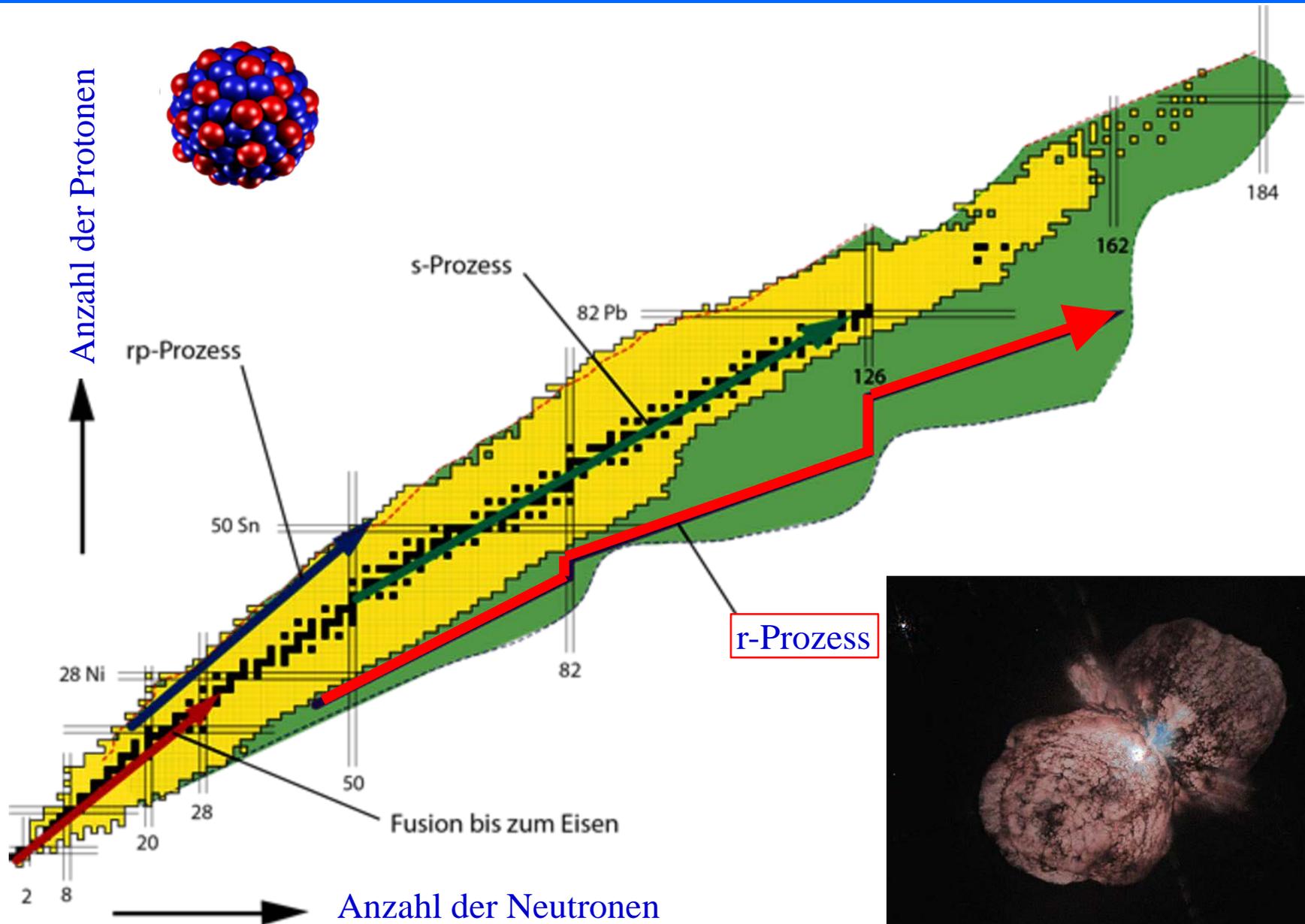
Solare Häufigkeit ($\text{Si}^{28} = 10^6$)



Massenzahl (Anzahl der Protonen + Neutronen)

- Warum ist Eisen so viel häufiger als Gold?
- Warum gibt es die schweren Elemente überhaupt und wie sind sie entstanden?
- Wie können wir die Zusammensetzung des Universums erklären?

Isotopentafel physikalische Eigenschaften

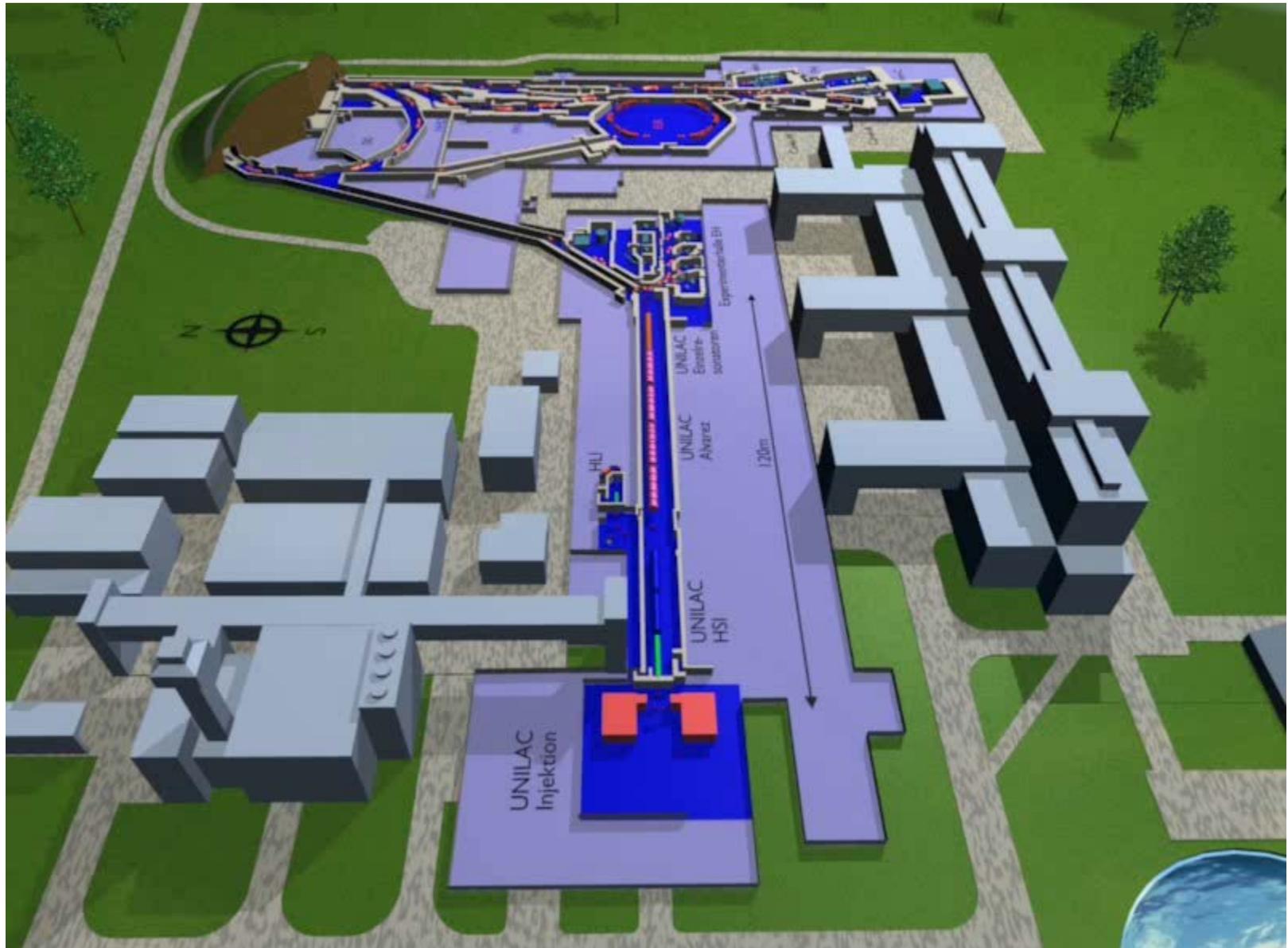


Facility for Antiproton and Ion Research

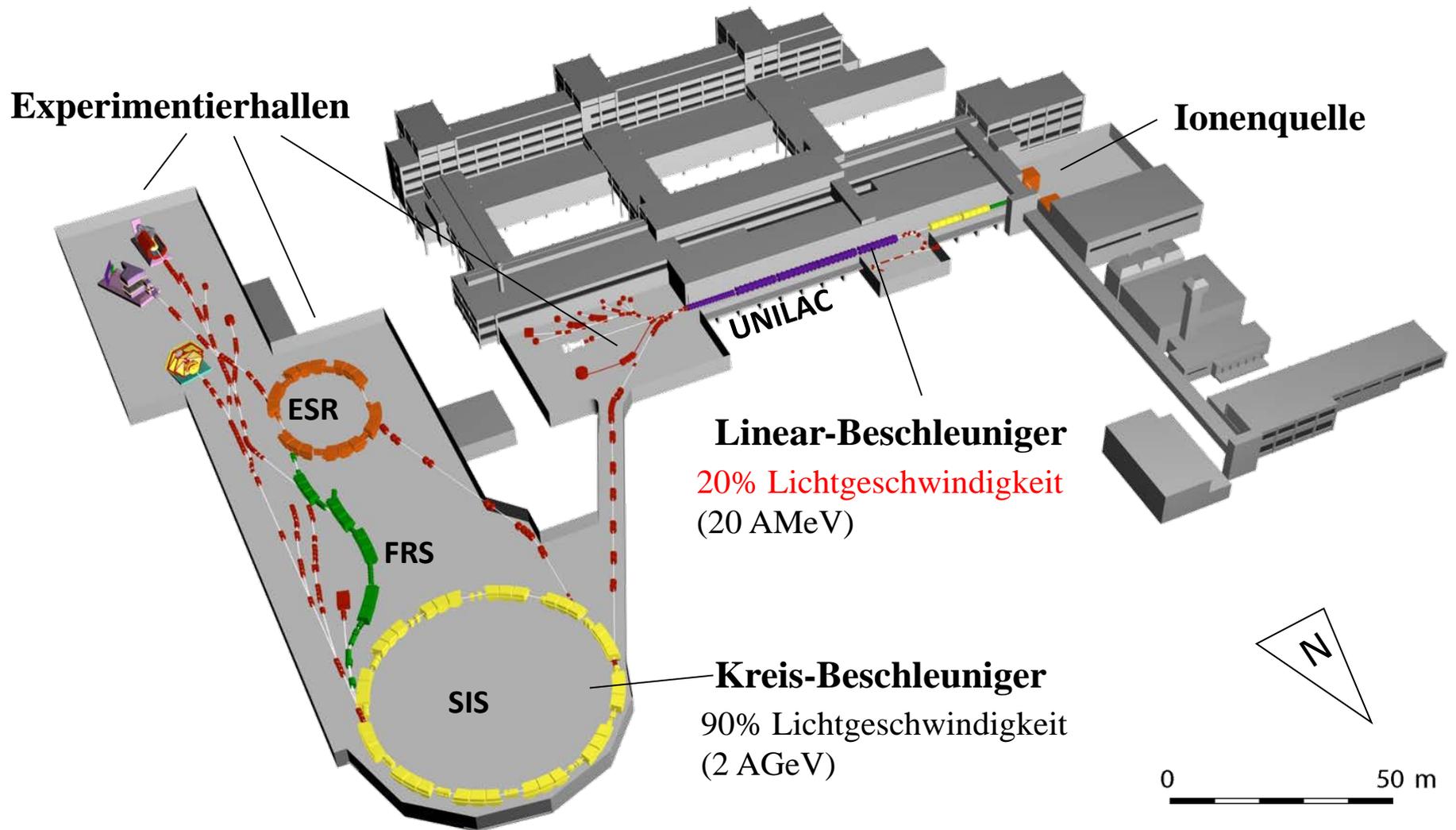


GSI Einrichtung

Wo experimentieren wir?



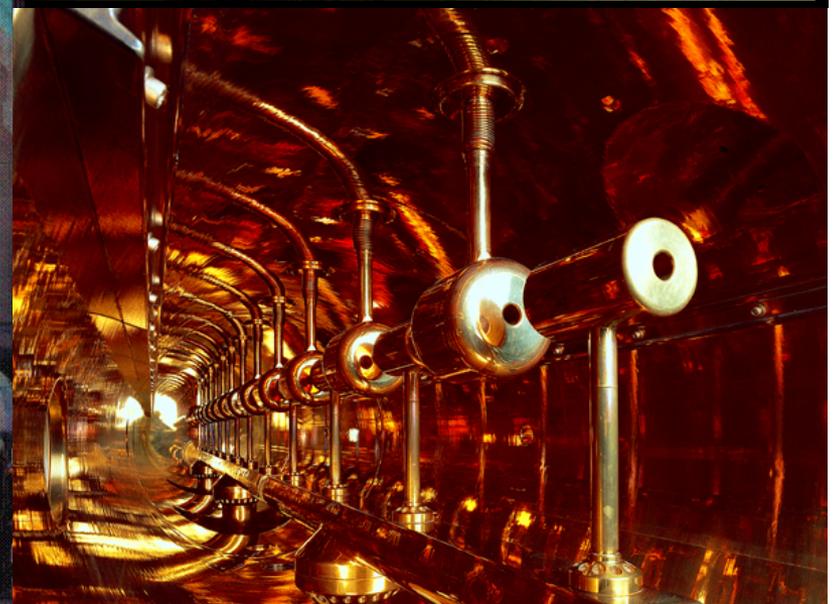
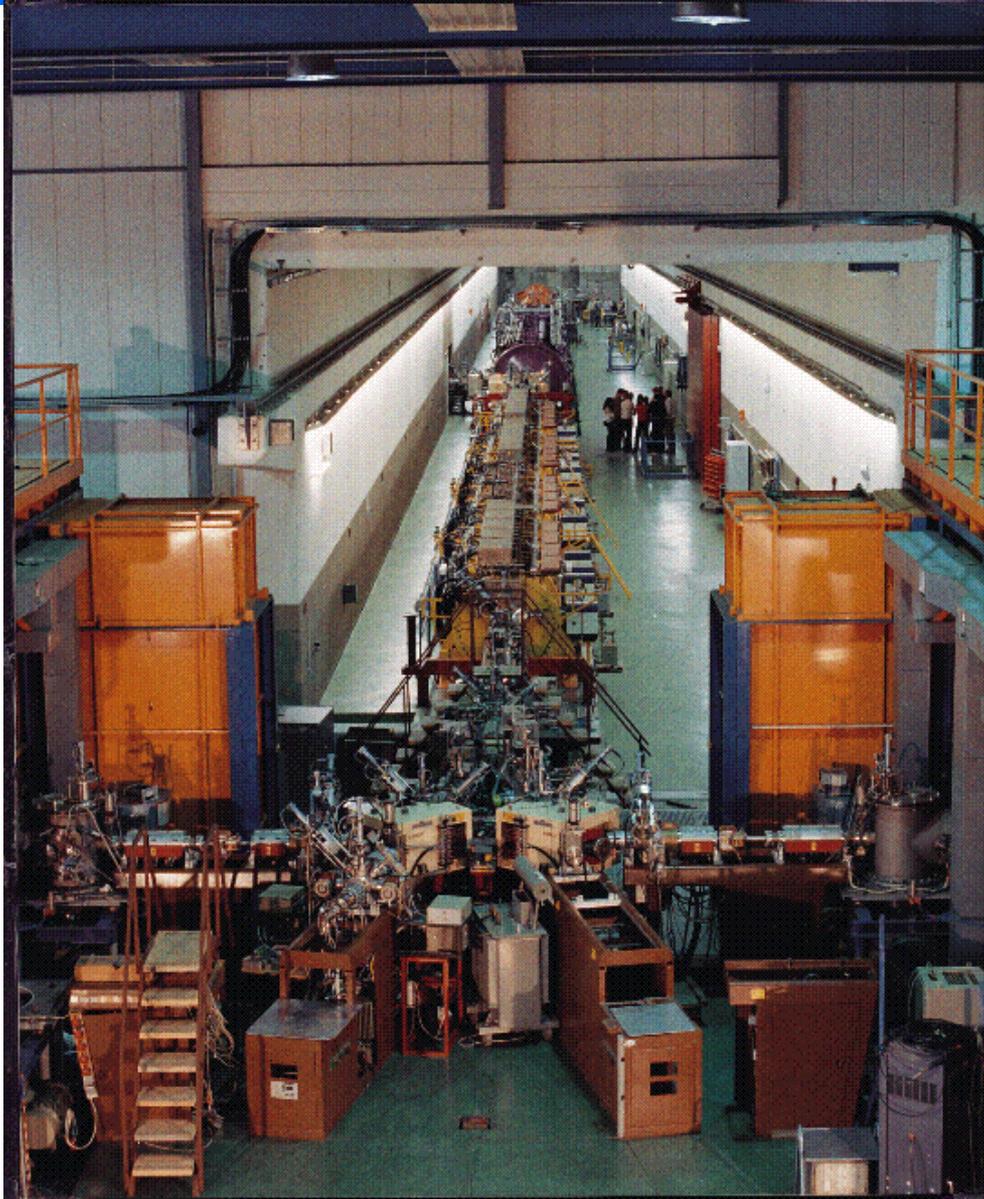
Teilchenbeschleuniger Mikroskope des Mikrokosmos



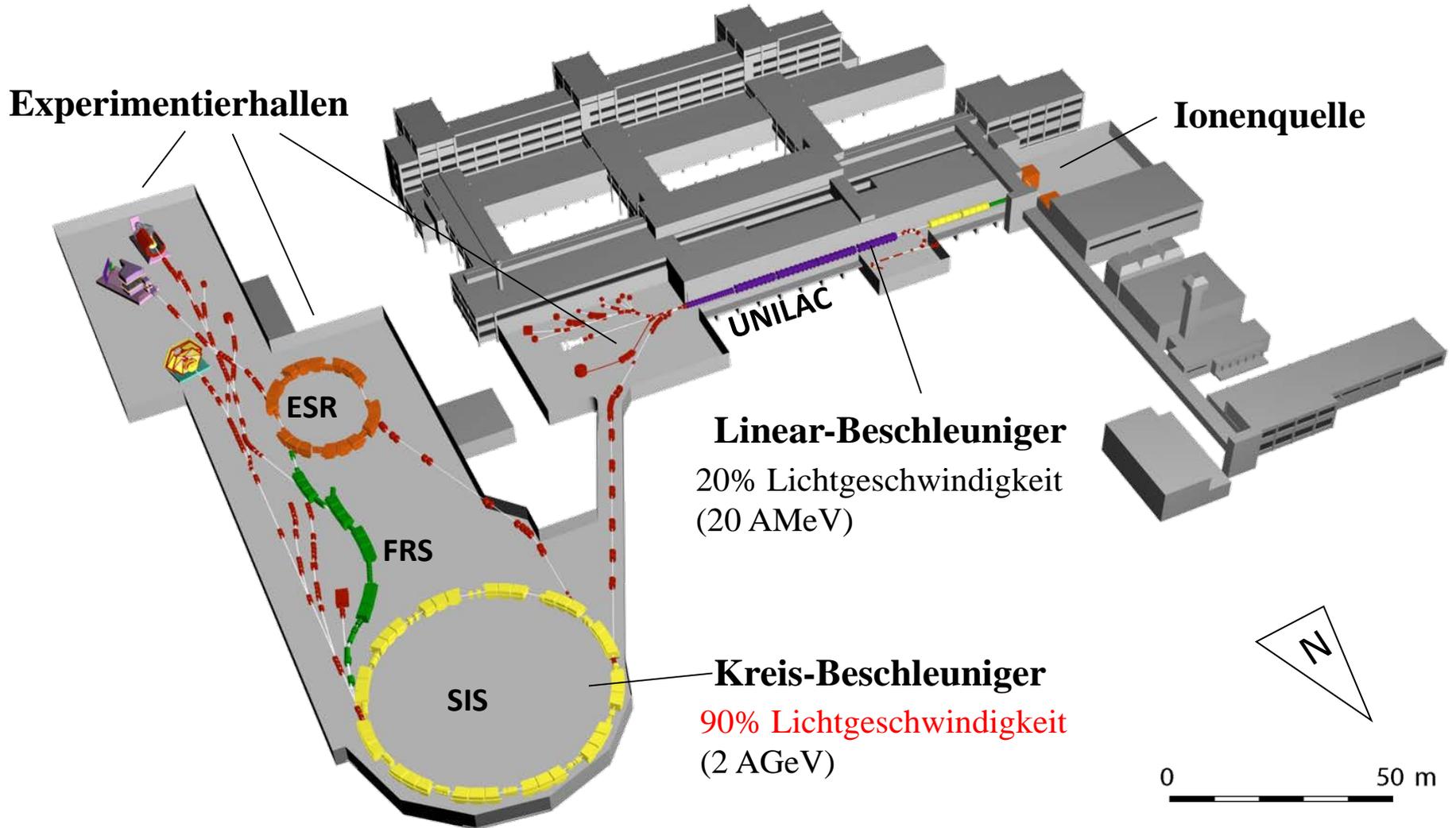
UNIversal LInear ACcelerator Beschleuniger



UNILAC Beschleuniger

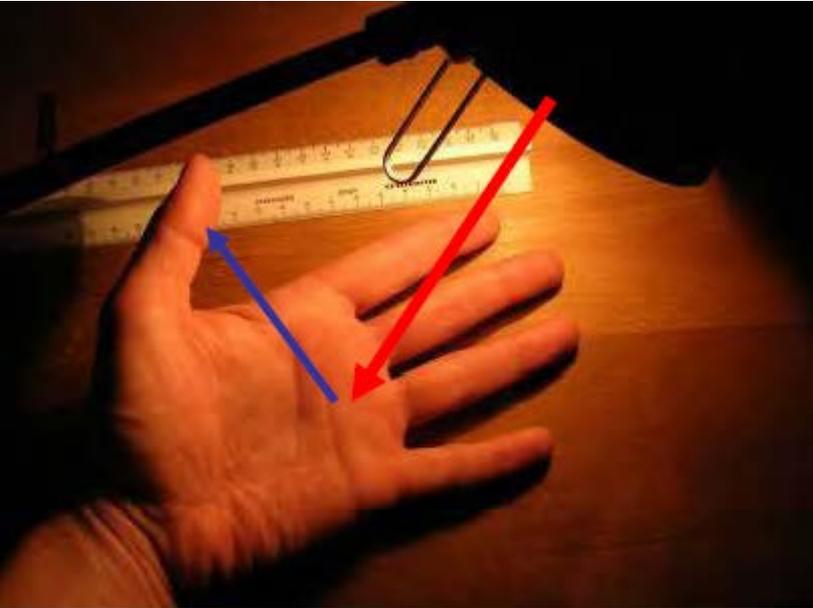


Teilchenbeschleuniger





Wie kann man die Struktur der Atome sehen?



Das Licht der Lampe wird von der Hand verschiedenartig reflektiert und zeigt damit die Struktur der Hand.

Mit Hilfe einer Lupe oder eines Mikroskops kann man kleinere Strukturen auflösen, aber es gibt eine fundamentale Grenze:

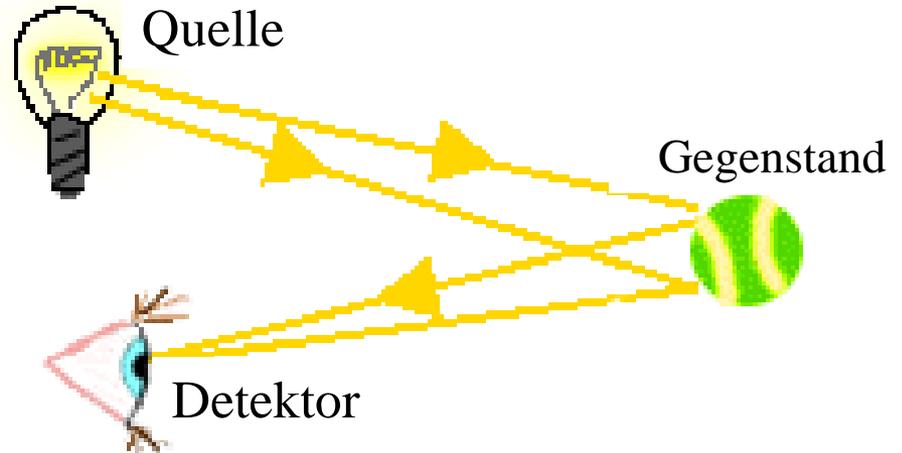
Es können keine Strukturen aufgelöst werden, die kleiner sind als die Wellenlänge des Lichtes!
(*ca. 1 tausendstel mm für sichtbares Licht*).

Licht der Lampe → **Beschleuniger**

Lupe oder Mikroskop → **Nachweisdetektor**

Was heißt überhaupt „sehen“ ?

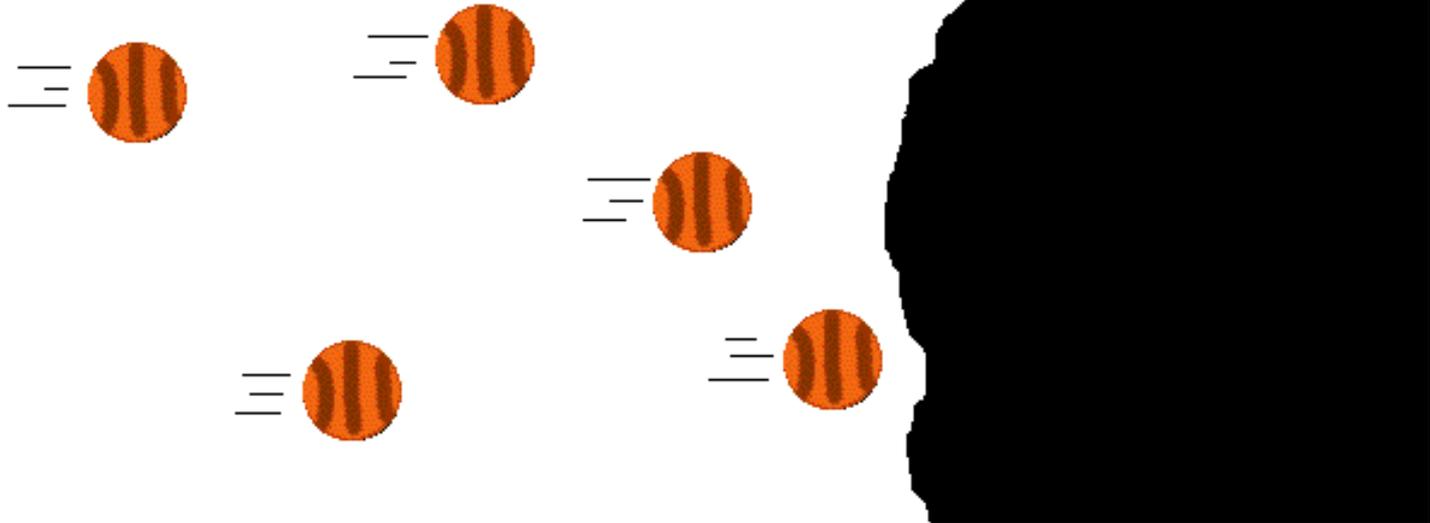
Sehen = Abbilden



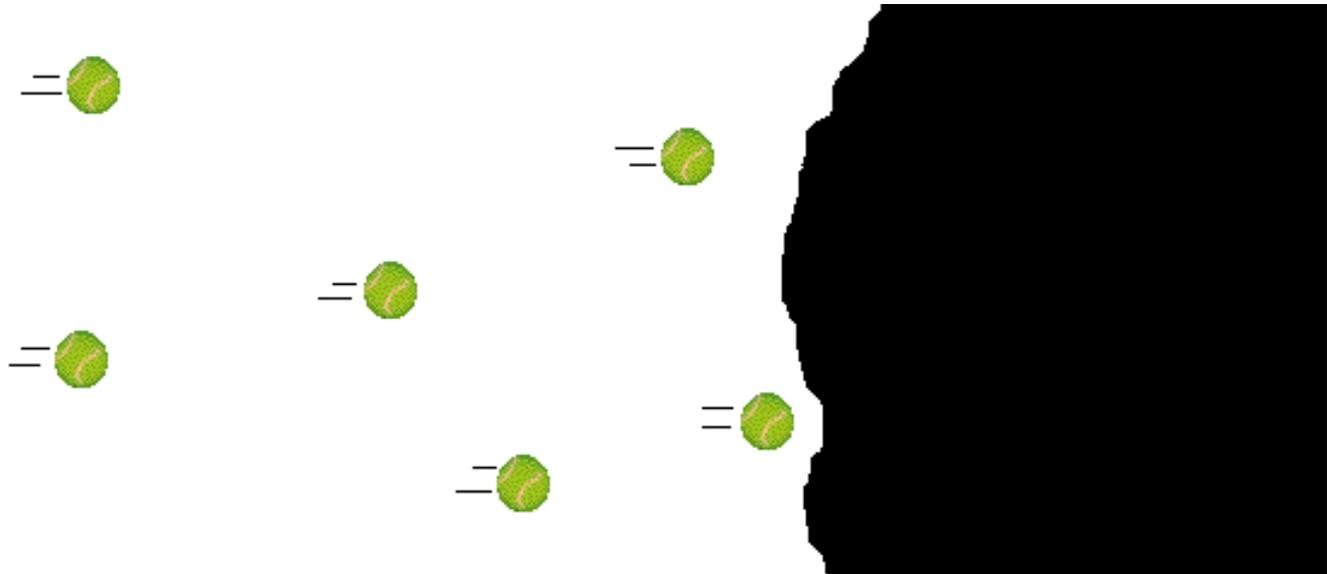
Wurfgeschöß (Projektile) → Zielobjekt → Nachweisdetektor

- **Dazu nötig:**
 1. **Größe der Projektile** \ll **Größe der Strukturen**
 2. **Treffgenauigkeit** \ll **Größe der Strukturen**

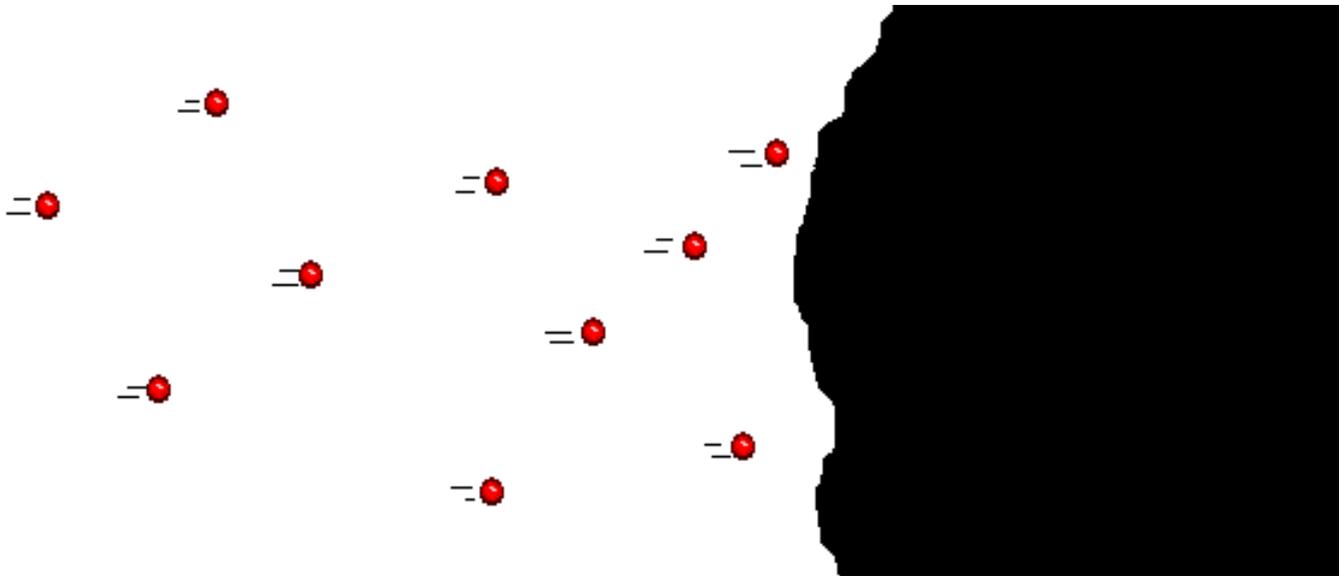
- Projektil: Basketbälle



- Projektil: Tennisbälle



- Projektil: Marmeln

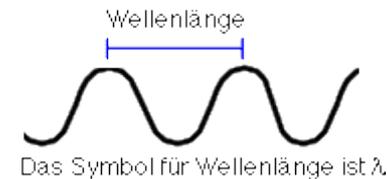


...Nichts wie weg!

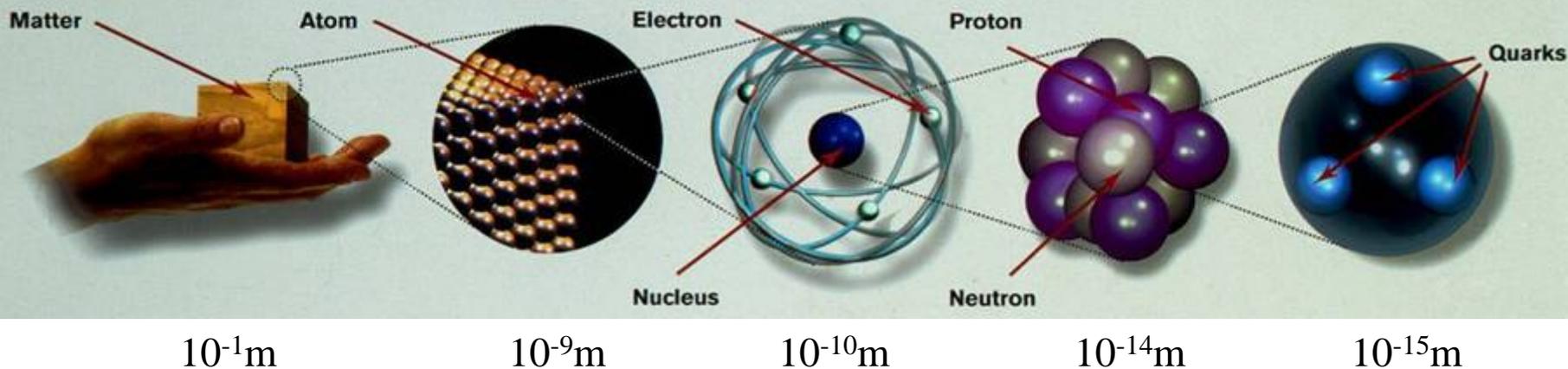
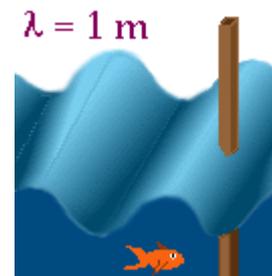
Energie, Wellenlänge und Auflösungsvermögen

Räumliche Auflösung=Wellenlänge

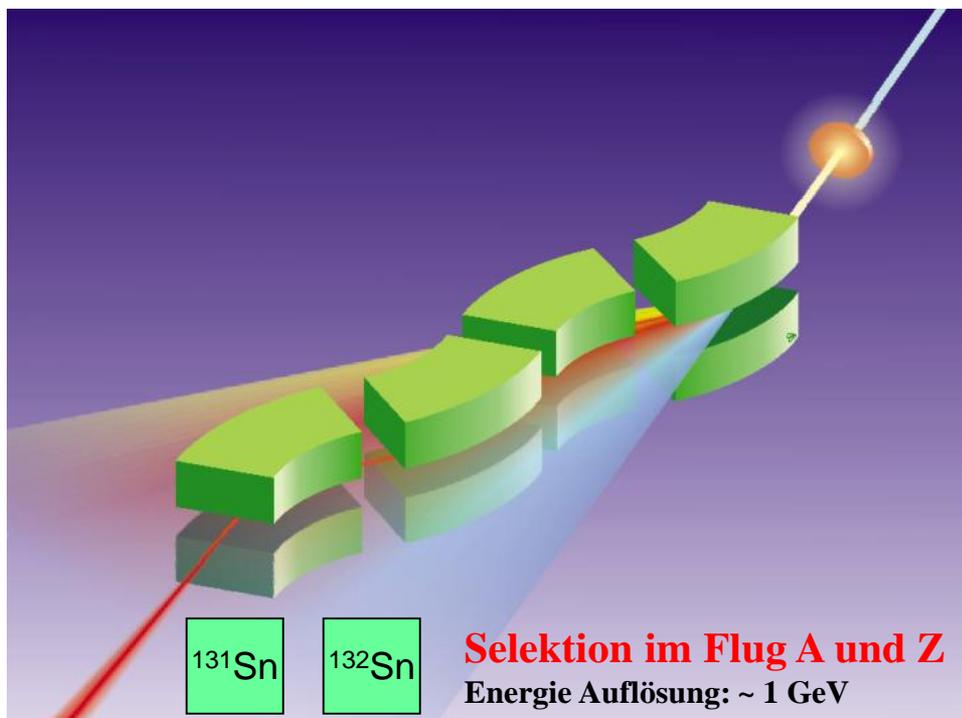
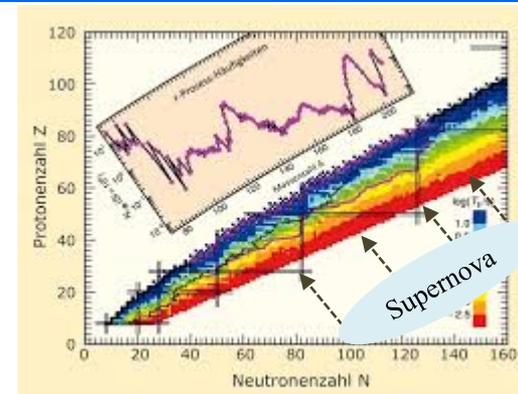
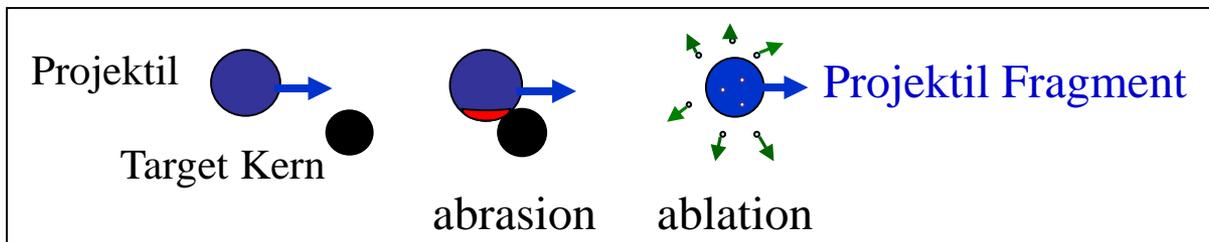
$$E \approx \frac{h \cdot c}{\lambda}$$



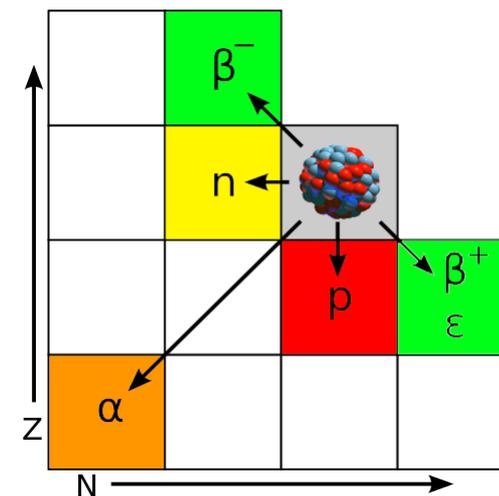
*Je kleiner die Struktur, desto größer der Beschleuniger: z.B.
100 MeV \rightarrow $10^{-14}m$ = Kernradius*



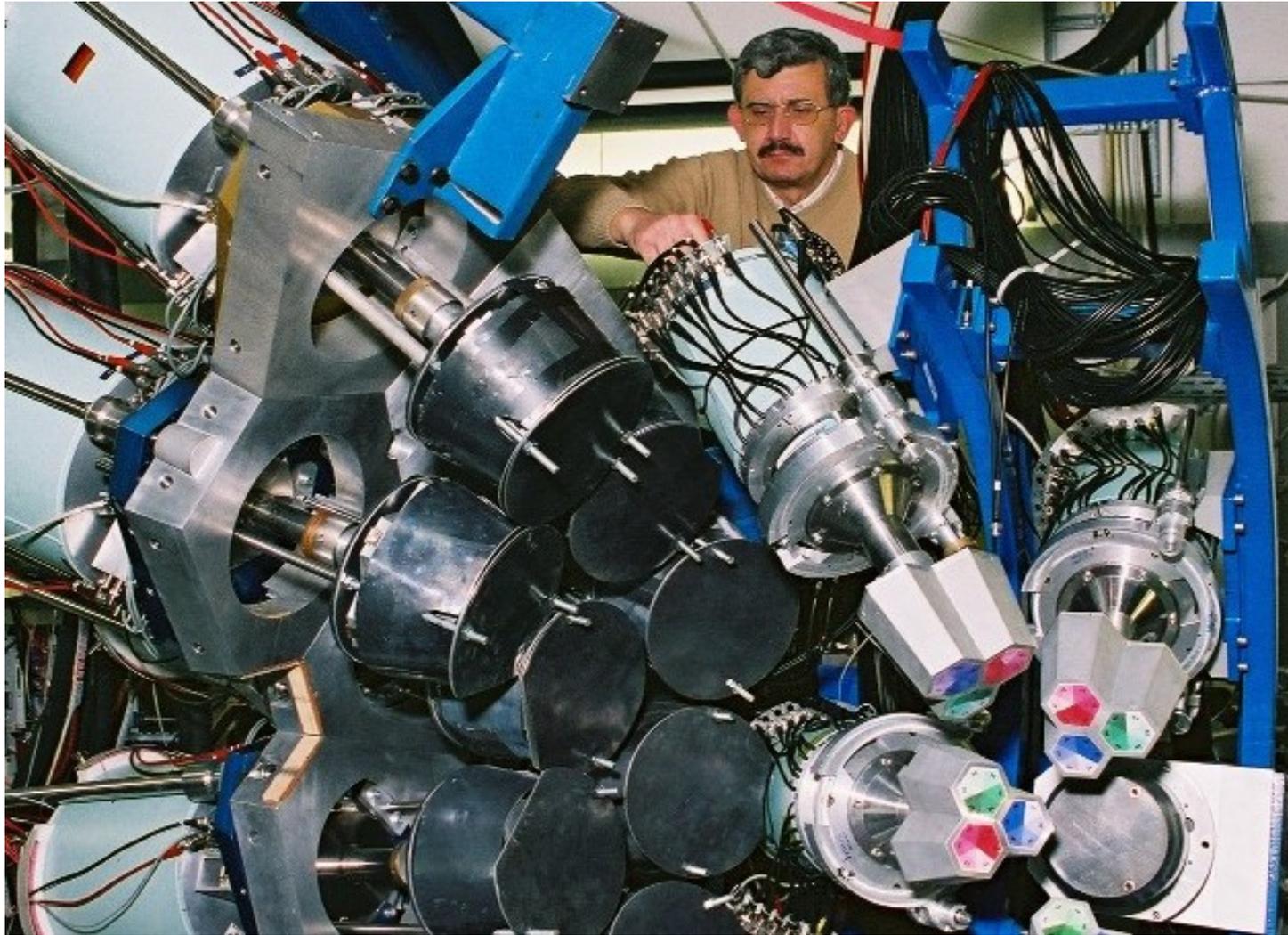
Produktion von exotischen Atomkernen



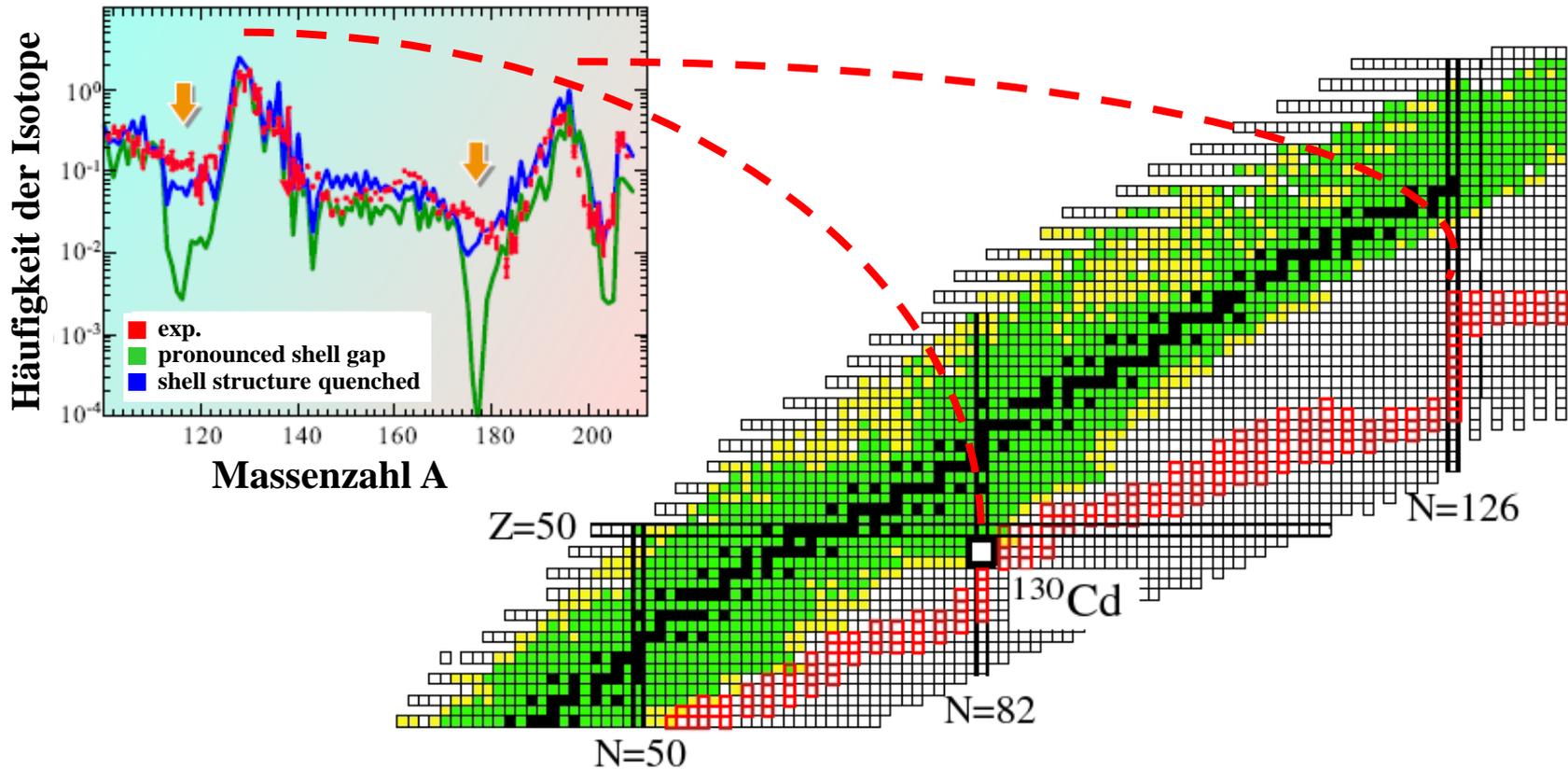
radioaktiver Zerfall



Licht der Atomkerne



Häufigkeit der Elemente



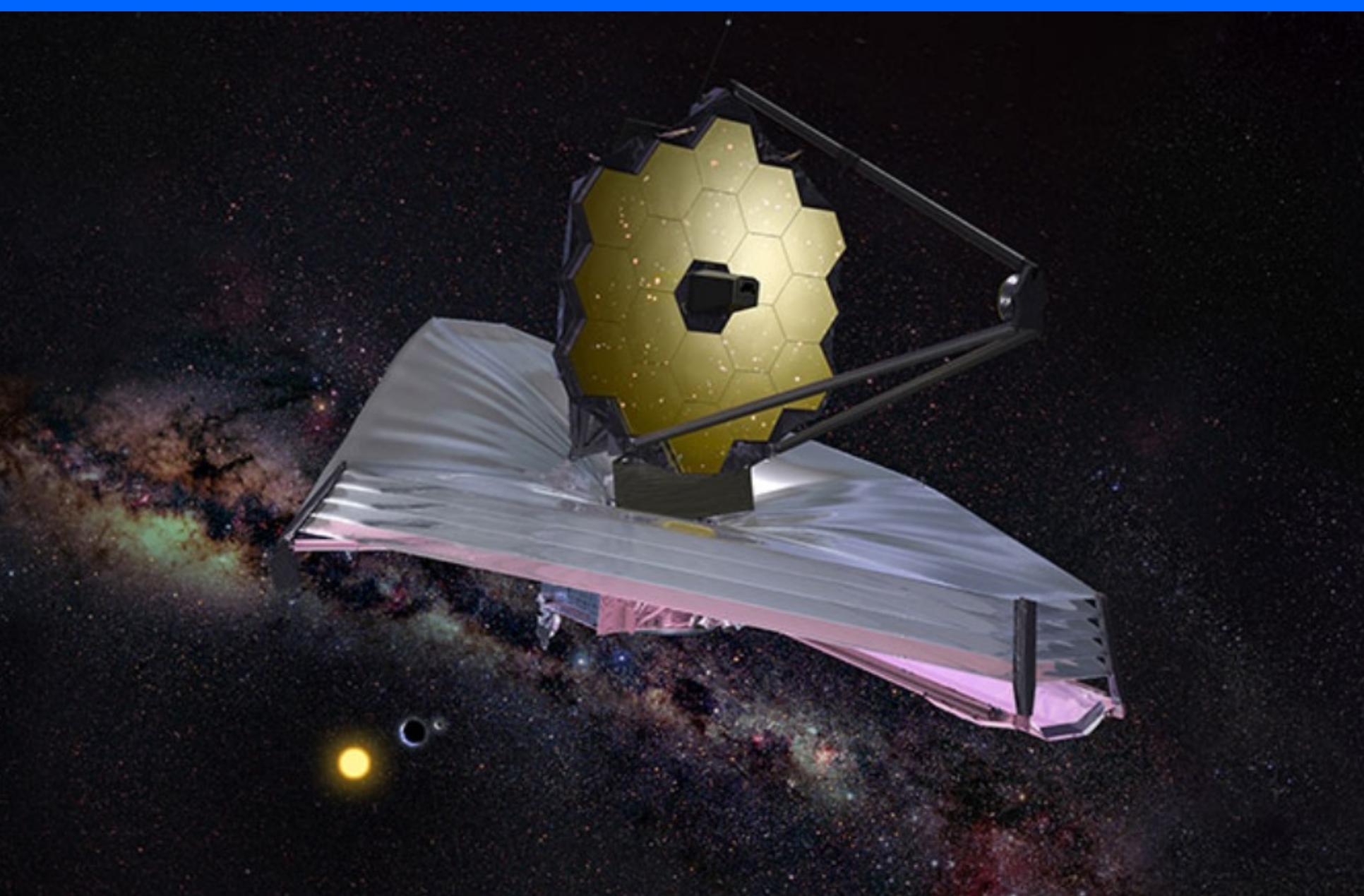
Häufigkeit der Elemente im Universum

Wasserstoff 73%

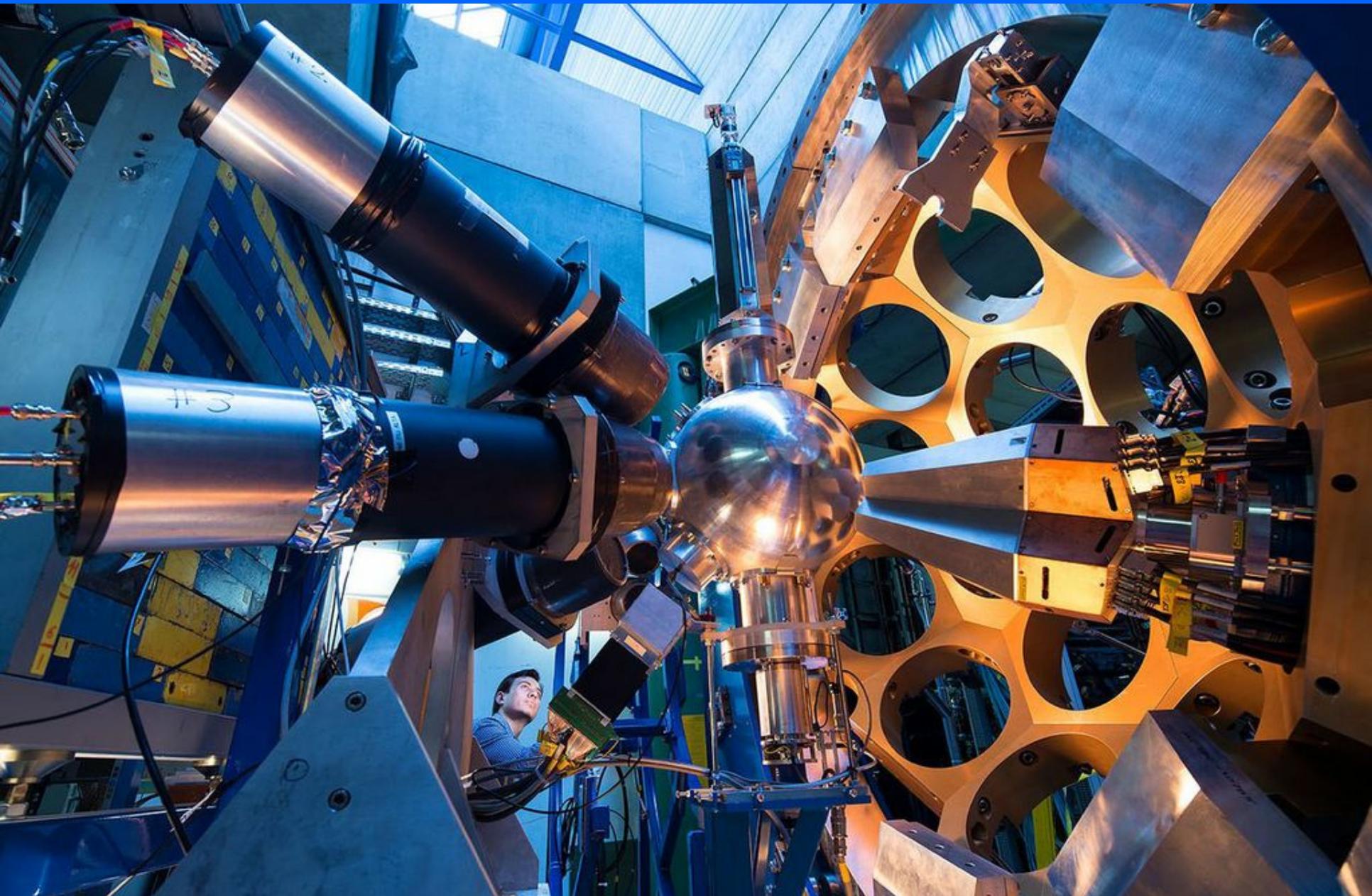
Helium 25%

restlichen Elemente 2%

Enthüllung des Universums mit dem James Webb Space Teleskop

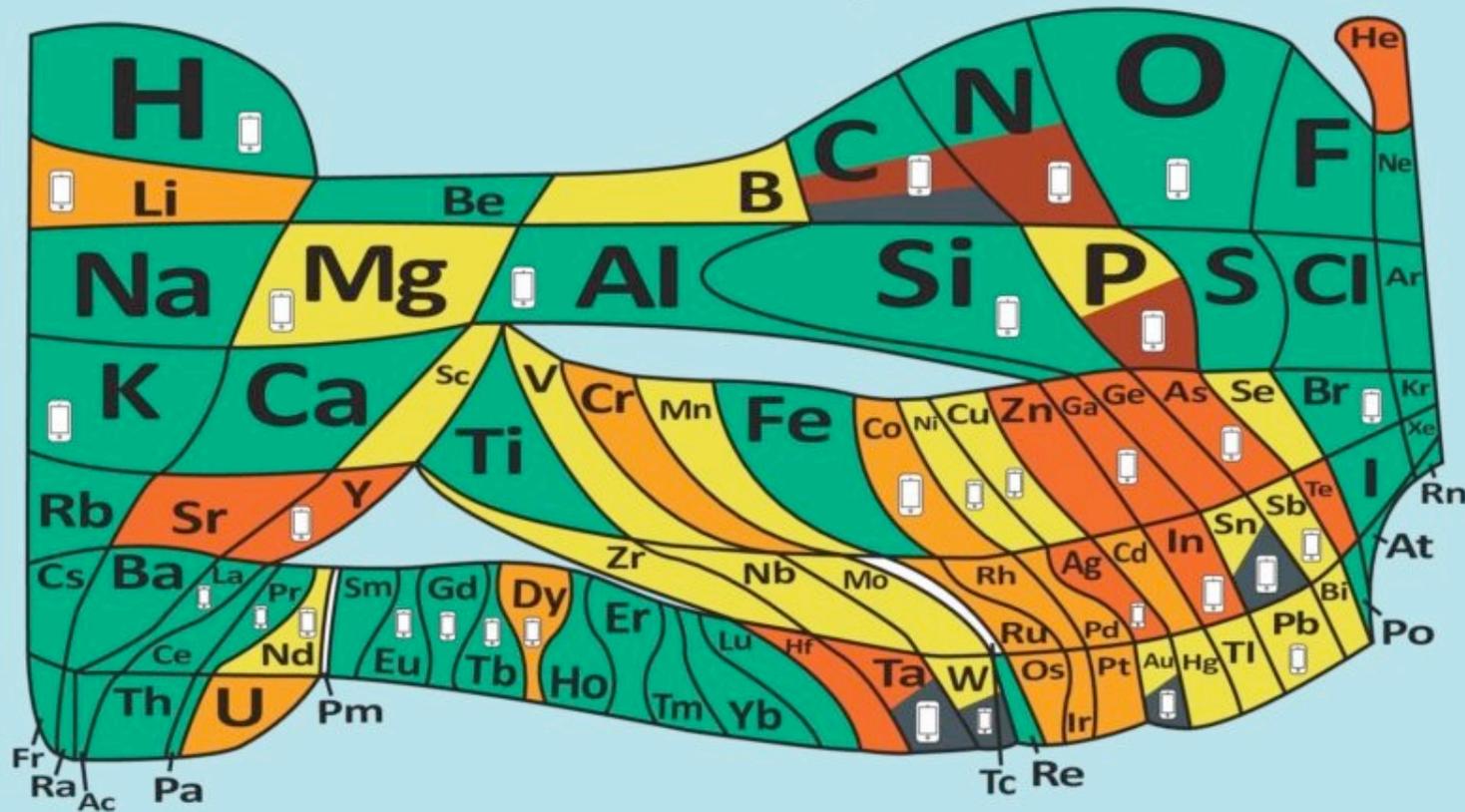


FAIR – Facility for Antiproton and Ion Research



The 90 natural elements that make up everything

How much is there? Is that enough? Is it sustainable?



Availability

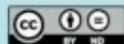
- Serious threat in the next 100 years
- Rising threat from increased use
- Limited availability, future risk to supply
- Plentiful Supply
- Synthetic

Sustainability

- Serious global problems through overuse
- From conflict resources
- Elements used in a smart phone

Read more and play the video game <http://bit.ly/euchems-pt>

Edition 2.0 (2023)



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivs CC-BY-ND

EuChemS
European Chemical Society

Inspired by WF Sheehan's 'A Periodic Table with Emphasis' published in Chemistry, 1976, 49, 17-18'