



# Keine Leben ohne Supernovae

· Bruno Leibundgut

Europäische Südsternwarte (ESO)



# Was ist Leben?

Leben ist der Zustand, den Lebewesen gemeinsam haben und der sie von toter Materie unterscheidet [...]. Eigenschaften von Lebewesen:

- Sie sind von ihrer Umwelt abgegrenzte Stoffsysteme.
- Sie haben Stoff- und Energiewechsel und sind damit in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt.
- Sie organisieren und regulieren sich selbst.
- Sie pflanzen sich fort, das heißt, sie sind zur Reproduktion fähig.
- Sie wachsen und sind damit zu Differenzierung fähig.
- Sie sind reizbar und damit fähig, chemische oder physikalische Änderungen in ihrer Umgebung zu registrieren.
- Ein System als solches erreicht noch nicht die Stufe des Lebens, da auch unbelebte Zusammenschlüsse einzelner Einheiten zu höheren Einheiten über mehrere Stufen hinweg vorkommen.



# Was ist eine Supernova

Explosion eines Sternes





# Es war einmal ...

- **Ein Universum ohne höhere Elemente**
  - Urknall erzeugt das Universum
    - Zeit, Raum, Materie, ???
    - Wasserstoff, Helium, Lithium und Beryllium
- **Produktion der höheren Elemente in Sternen**
  - Nukleosynthese
  - Energie für Leben
- **Verteilung der neuen Elemente zur Produktion von Molekülen und Leben**
  - Supernovae als Recycling Prozess





**Um einen Apfelkuchen mit all seinen Zutaten zu backen, müssen Sie zuerst das Universum erzeugen.**

**If you want to make an apple pie from scratch, you must first create the universe.**

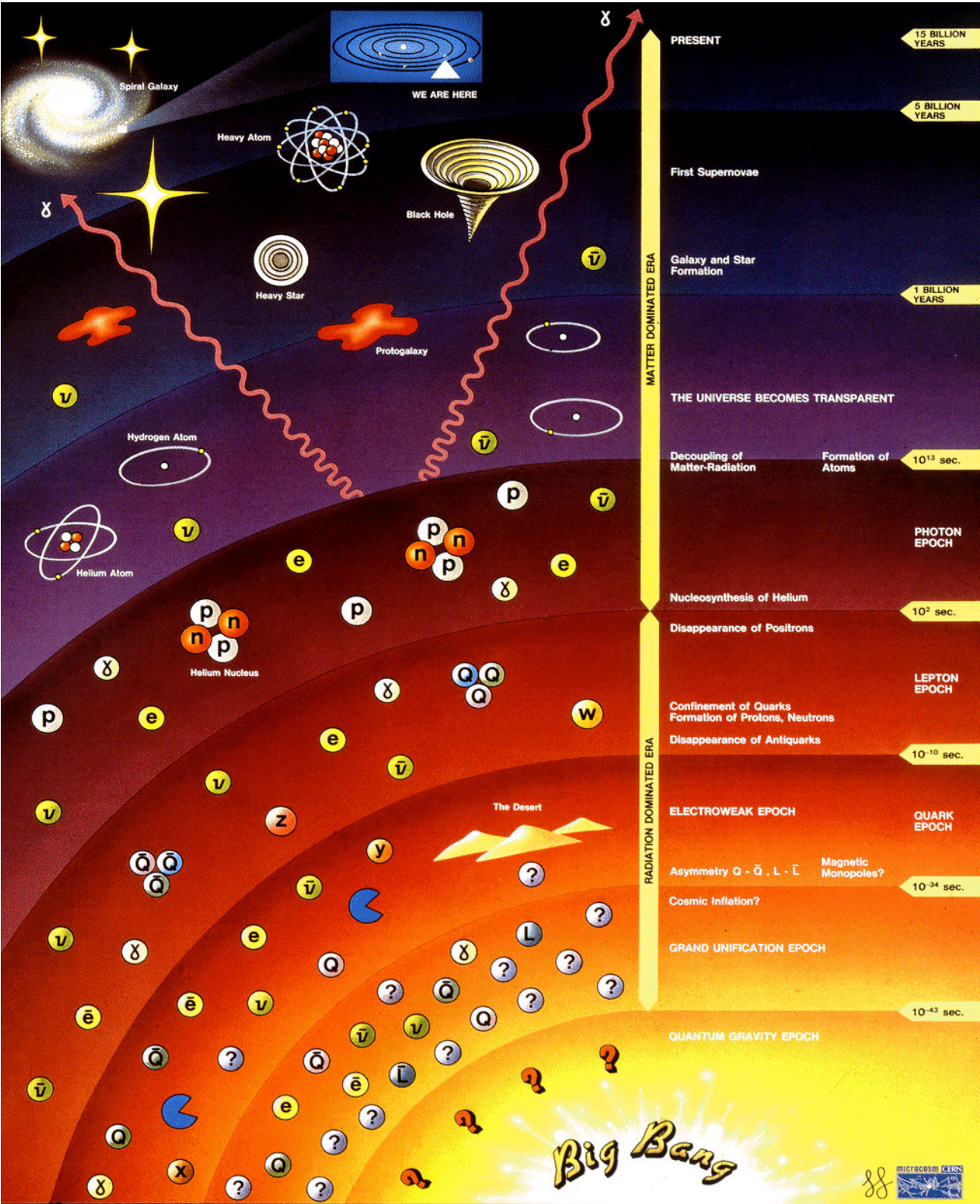
**Carl Sagan  
quoted in  
Big Bang  
by Simon Singh (2004)**



# Das ganze bekannte Universum (fast)







Elemente bestehen aus Elementarteilchen

Quarks → Protonen und Neutronen

Elektronen

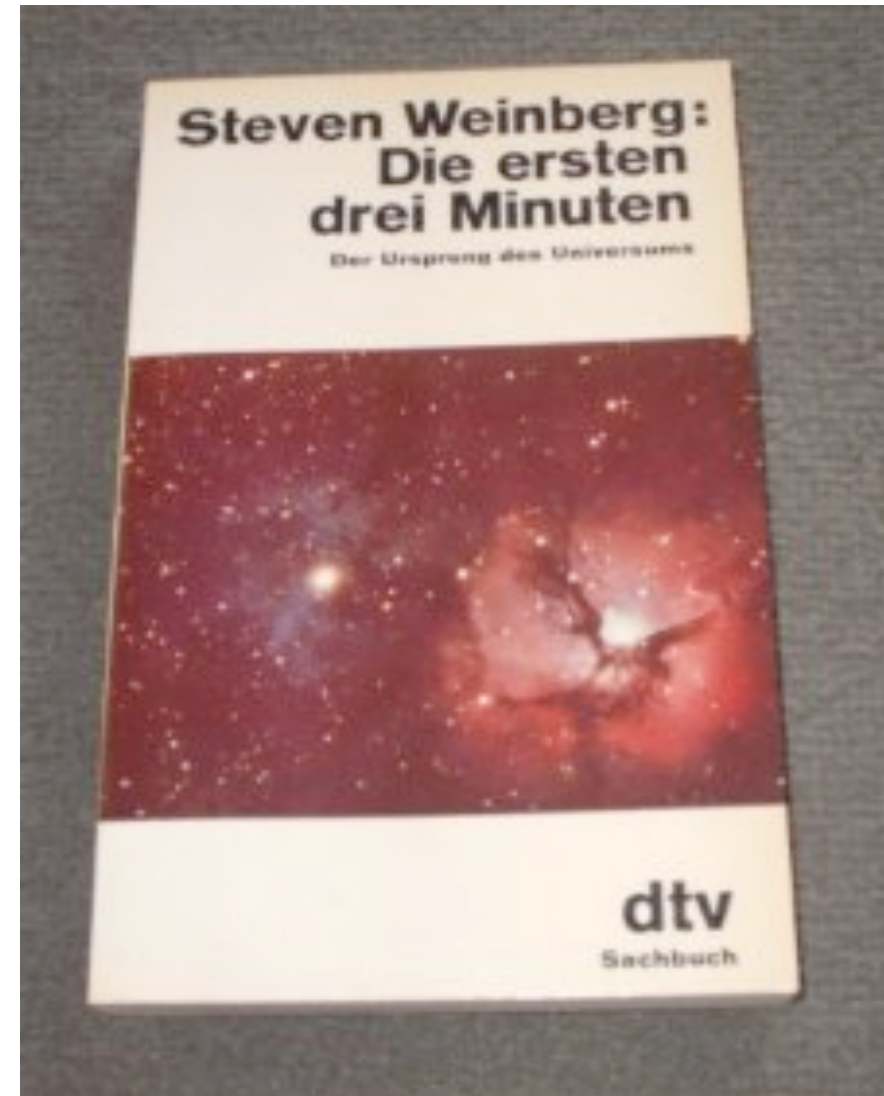
Protonen und Neutronen bilden Atomkerne

Zusammen mit Elektronen bilden sie die Atome



# Die ersten drei Minuten

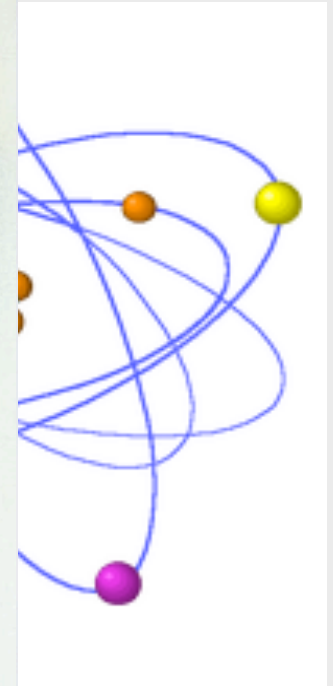
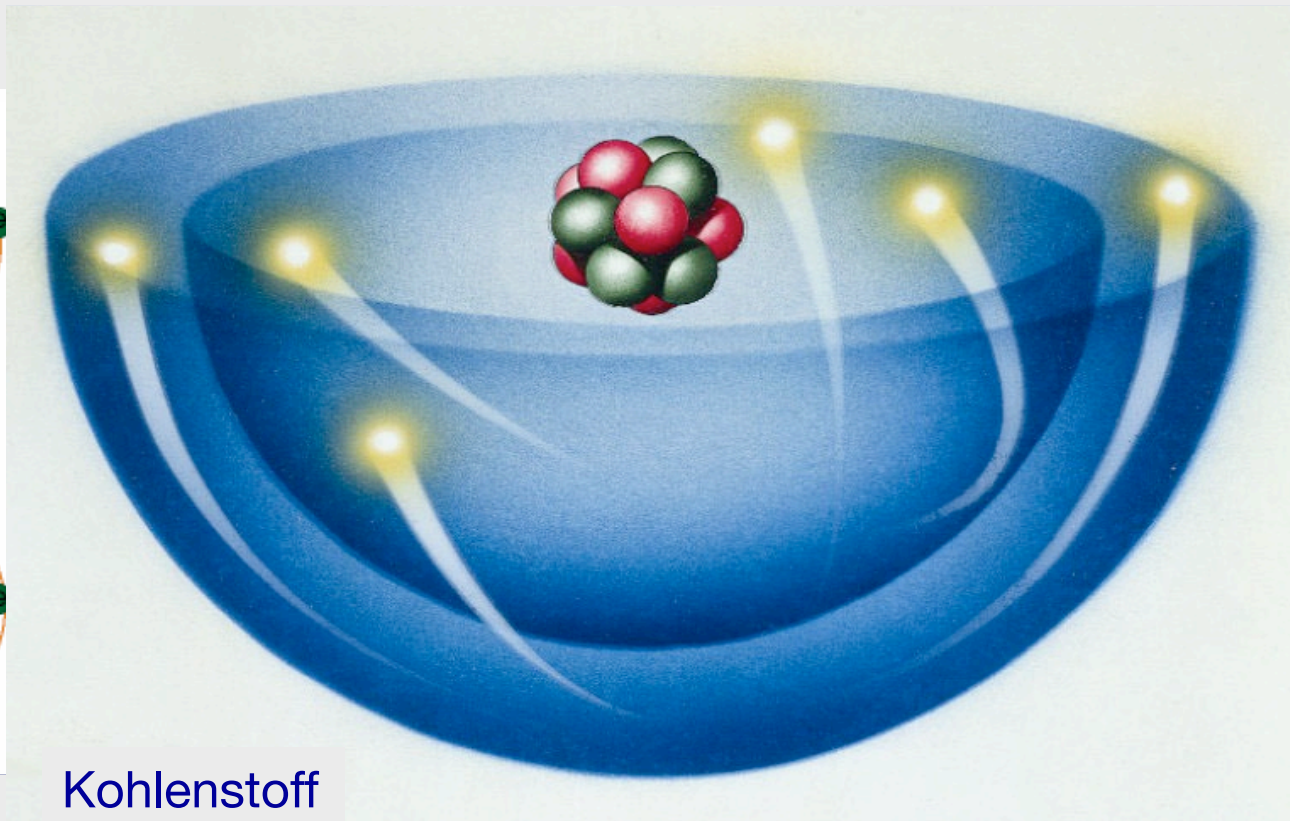
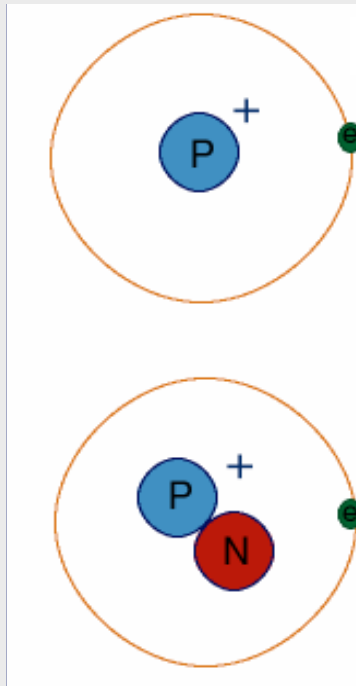
- Entstehung der Teilchen und der ersten Elemente im Urknall
- **Protonen** und **Neutronen** nach 0.0001 Sekunden
- **Elektronen** nach 4 Sekunden
- **Deuterium**  
(**Proton** + **Proton**) nach 2 Minuten
- **Helium**  
(2 **Protonen** und 2 **Neutronen**) nach 3 Minuten





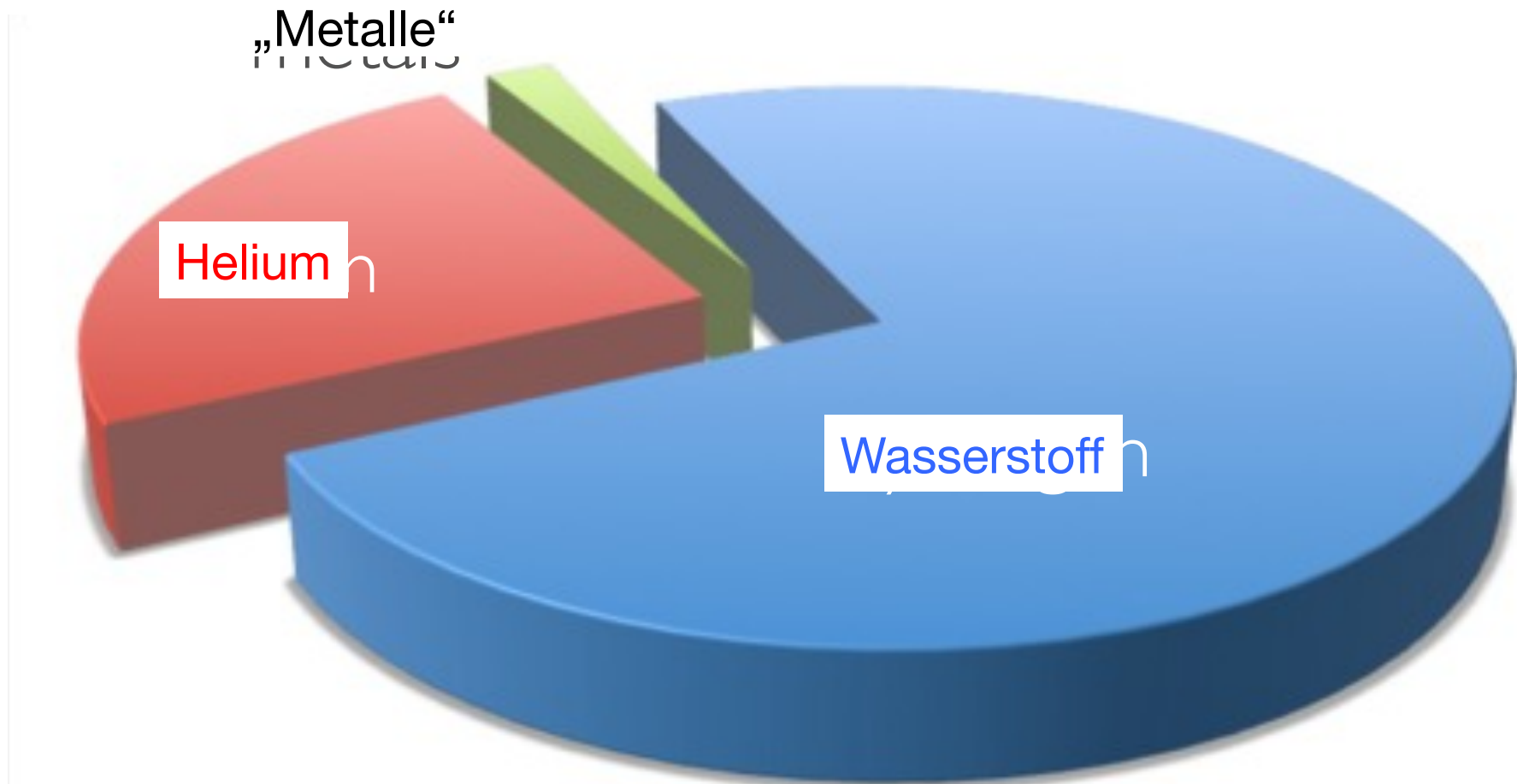
# Was sind Elemente?

- Eigenschaften der Atome





# Zusammensetzung des Universums



Damit kann noch kein Apfelkuchen gebacken werden!



# Woher kommt der Rest?

Periodic table of the elements

group	1*	2											13	14	15	16	17	18
1*	Ia**	IIa											IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb			Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112 *** (Uub)	113 *** (Uut)	114 *** (Uuq)	115 *** (Uup)	116 *** (Uuh)		118 *** (Uuo)
lanthanide series			6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
actinide series			7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Urknall

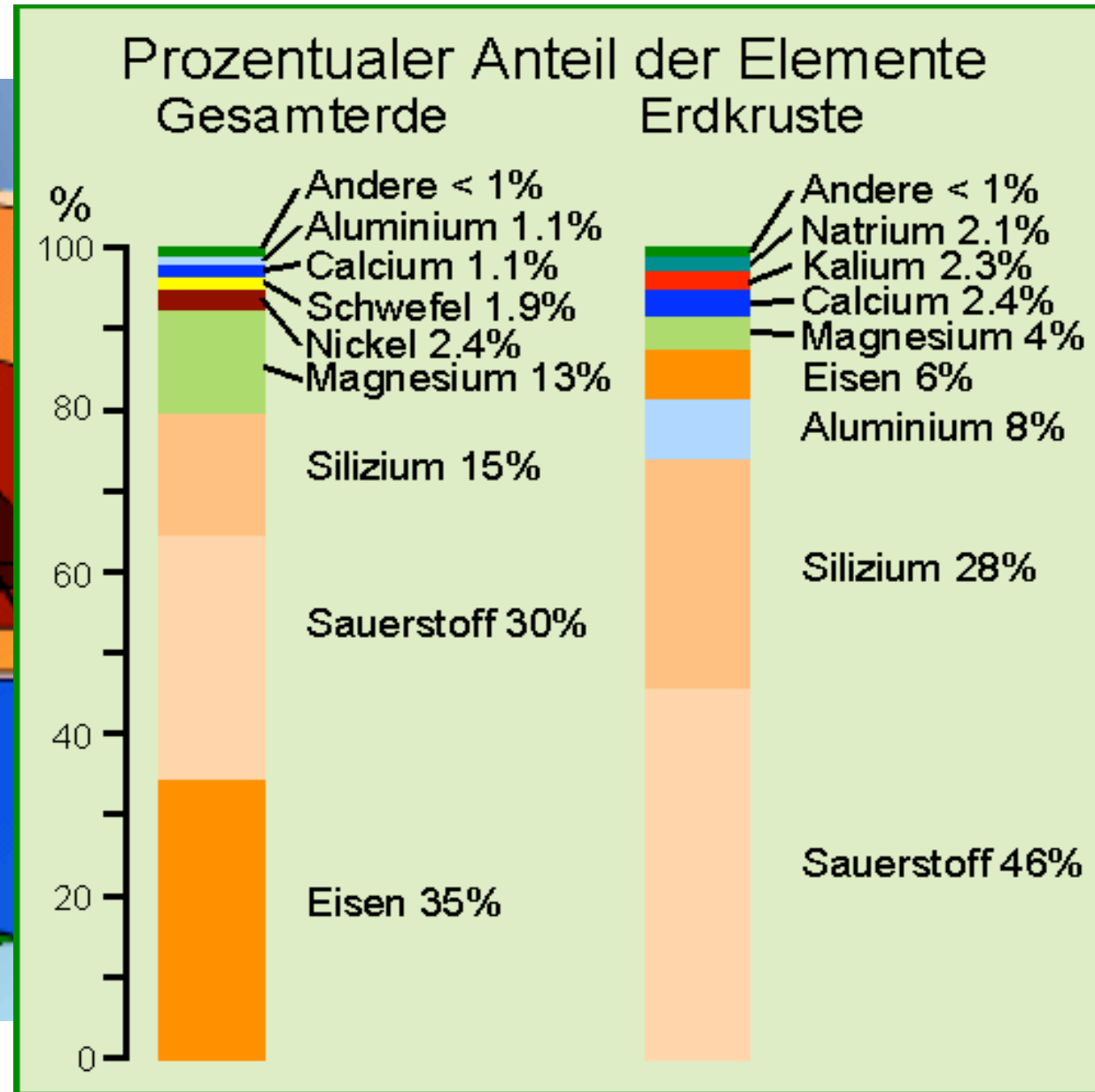
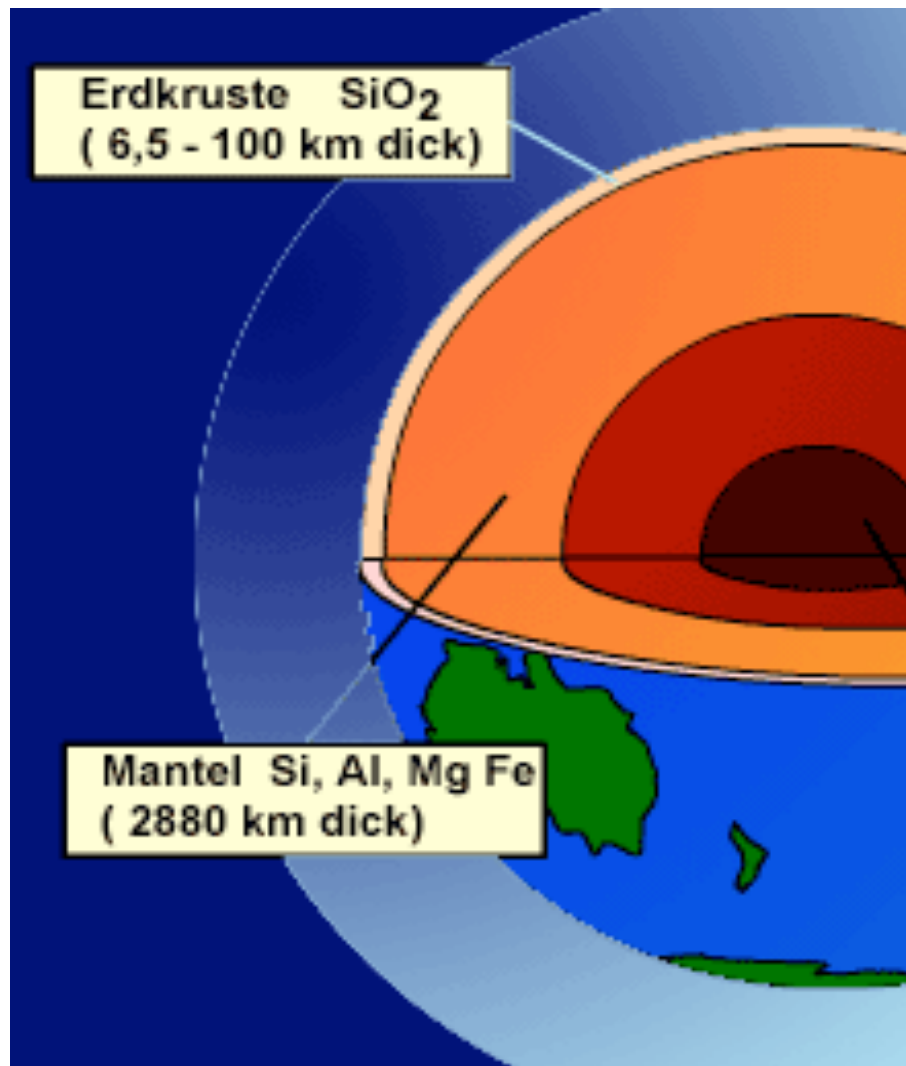
\* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

\*\* Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.

\*\*\* Discoveries of elements 112–116 and 118 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.

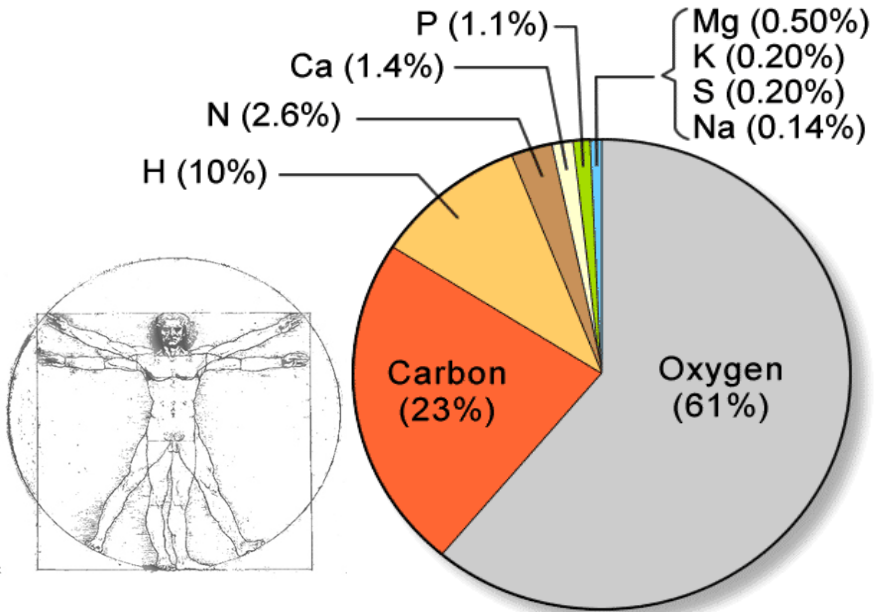
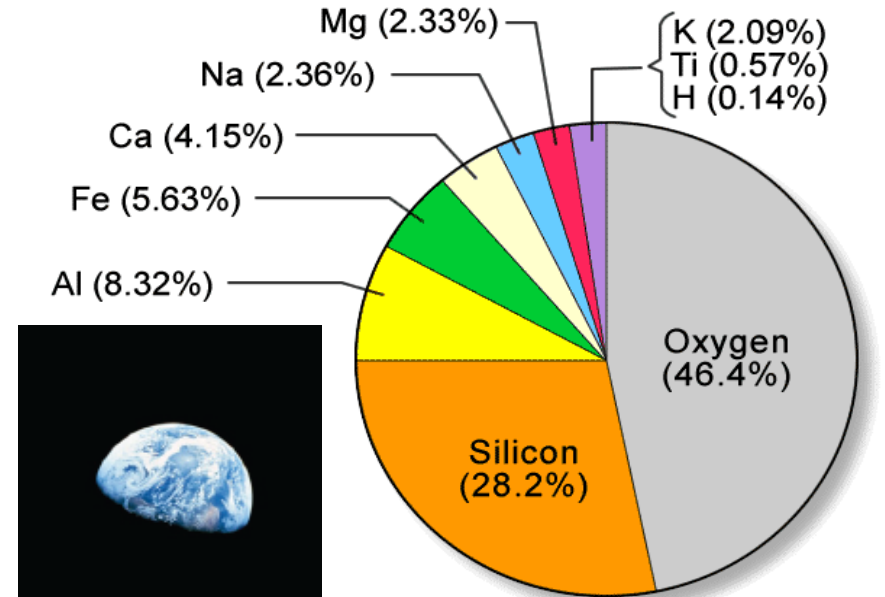
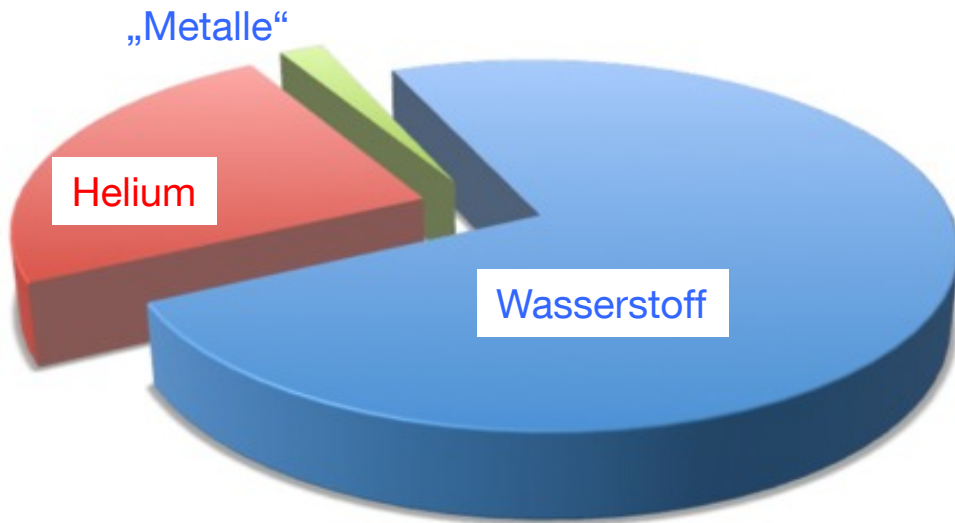


# Chemische Zusammensetzung der Erde





# Wie sind wir entstanden?





# Sterne



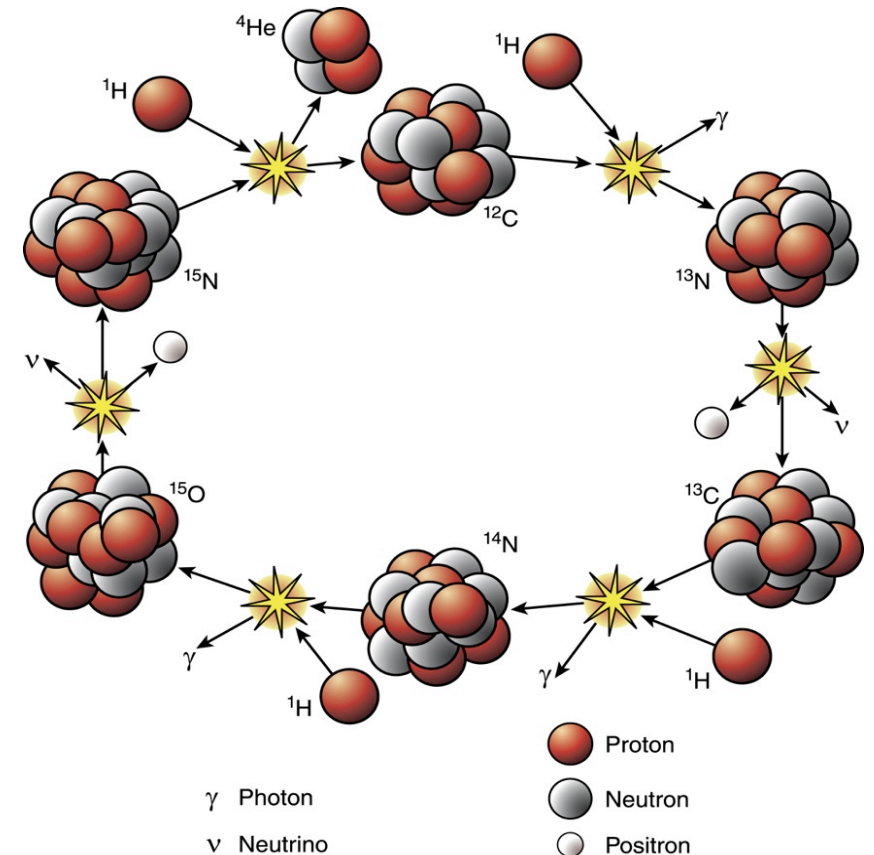


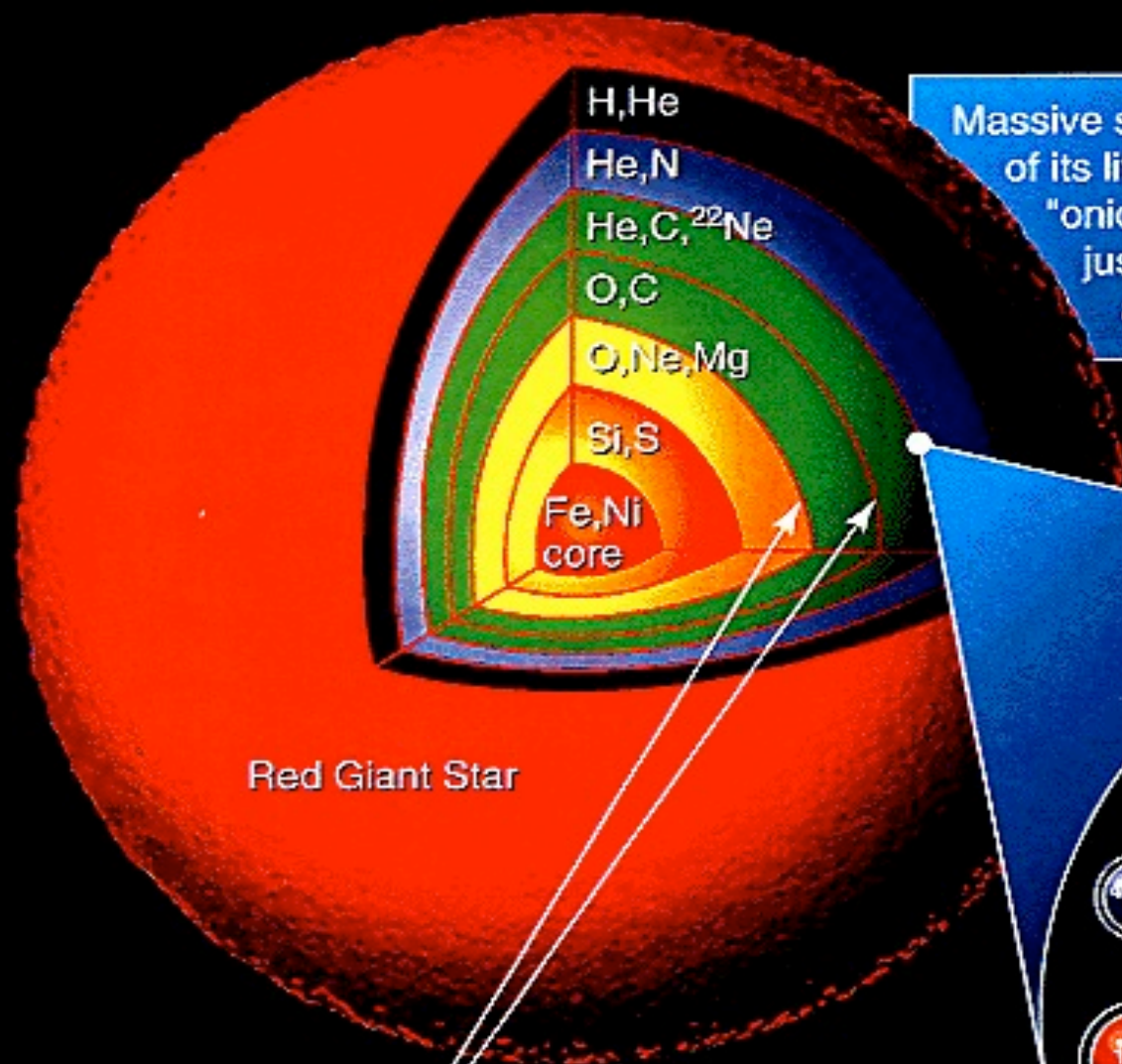
# Wie wissen wir aus was die Sterne gemacht sind?



# Elemente werde in Sternen gemacht

- Kernfusion
  - e.g. Wasserstoffbombe
- Energieerzeugung mittels der atomaren Bindungsenergie  
 $E=mc^2$
- Funktioniert bis zu Eisen (Fe)

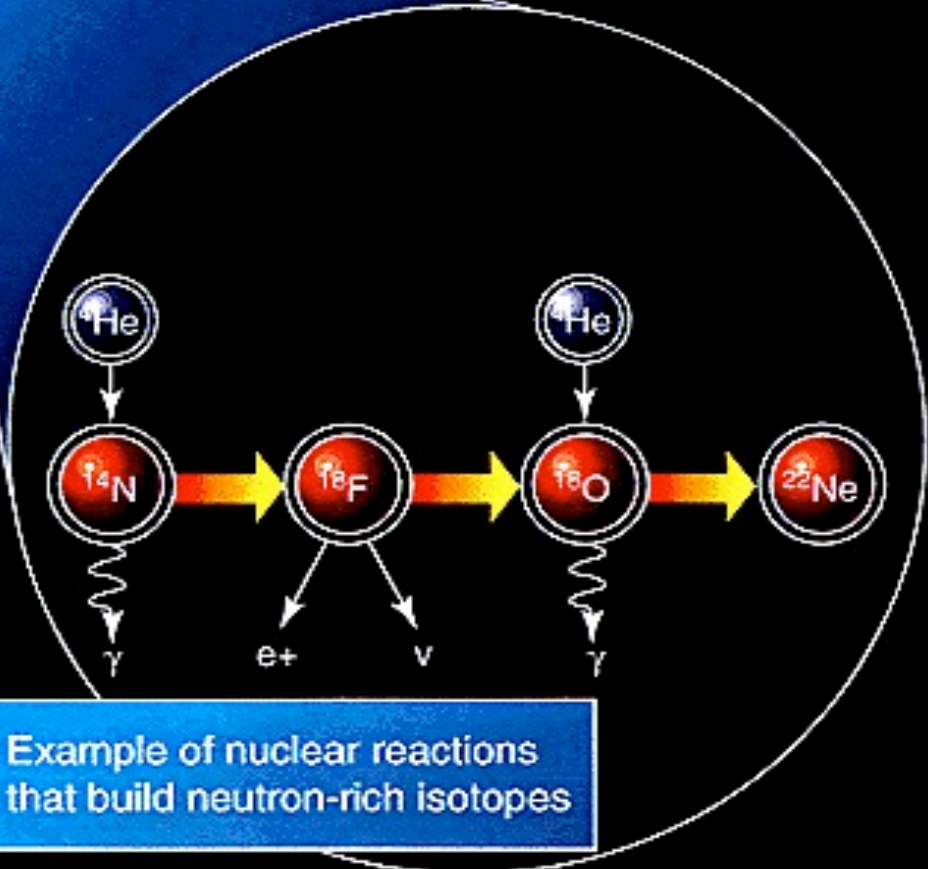




Red Giant Star

Massive star near the end of its lifetime has an "onion-like" structure just prior to exploding as a supernova

Nuclear burning occurs at the boundaries between zones



Example of nuclear reactions that build neutron-rich isotopes



# Es fehlen noch ein paar Elemente

Periodic table of the elements

period	group 1* Ia**	2 IIa	3 IIIb	4 IVb	5 Vb	6 VIb	7 VIIb	8 VIIIb	9 VIIIb	10 VIIIb	11 Ib	12 IIB	13 IIIa	14 IVa	15 Va	16 VIa	17 VIIa	18 0
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	(Uub) ***	(Uut) ***	(Uuq) ***	(Uup) ***	(Uuh) ***		(Uuo) ***
lanthanide series			6	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
actinide series			7	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Sterne

Urknall

- \* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).
- \*\* Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.
- \*\*\* Discoveries of elements 112–116 and 118 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.



# Supernova!





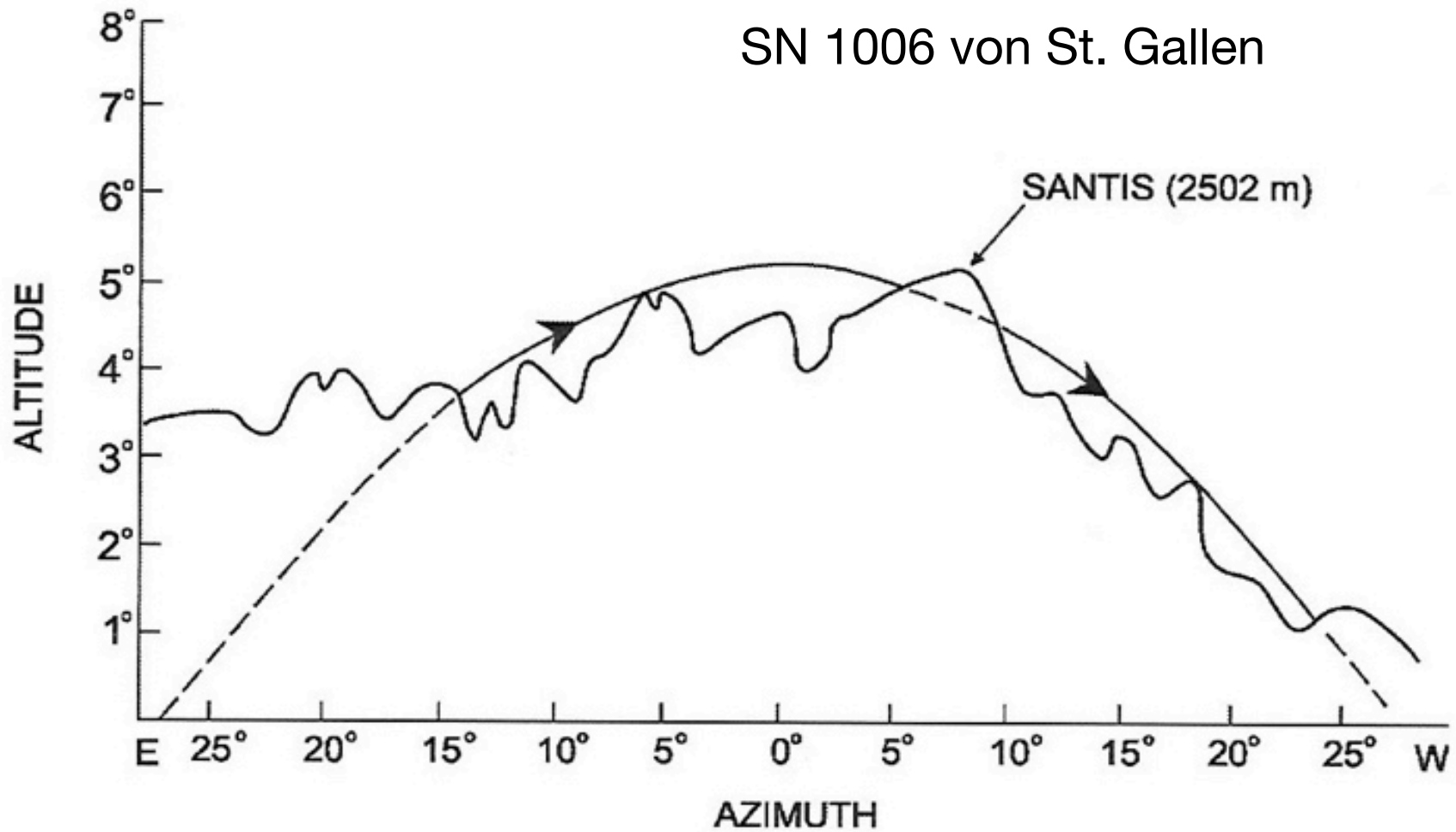
# SN 1054 oder Krebsnebel



# Schweizer Beobachtungen

SN

«S  
gl  
in  
et  
m  
vi



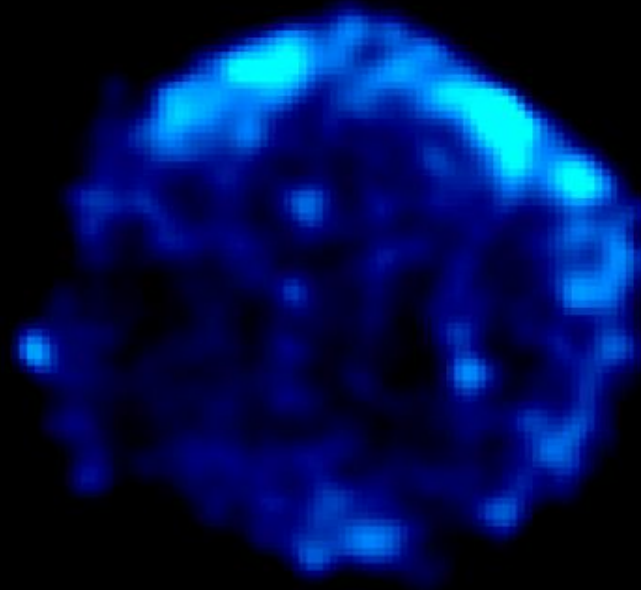
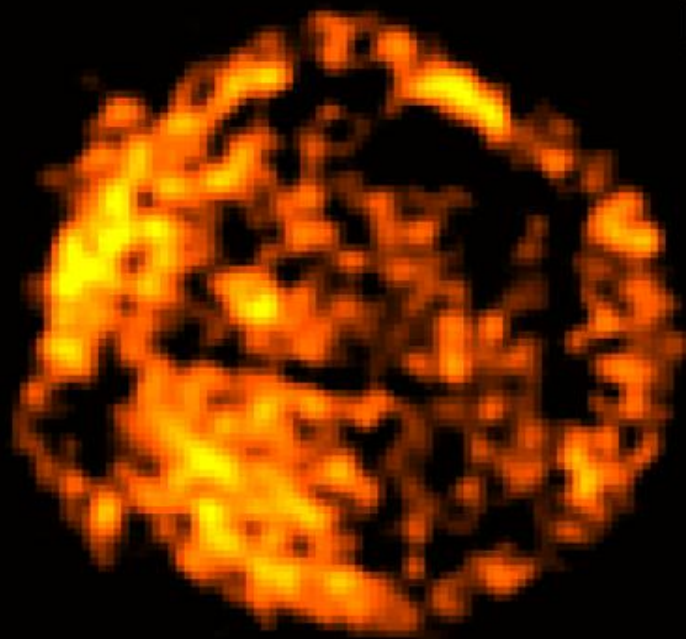


Magnesium

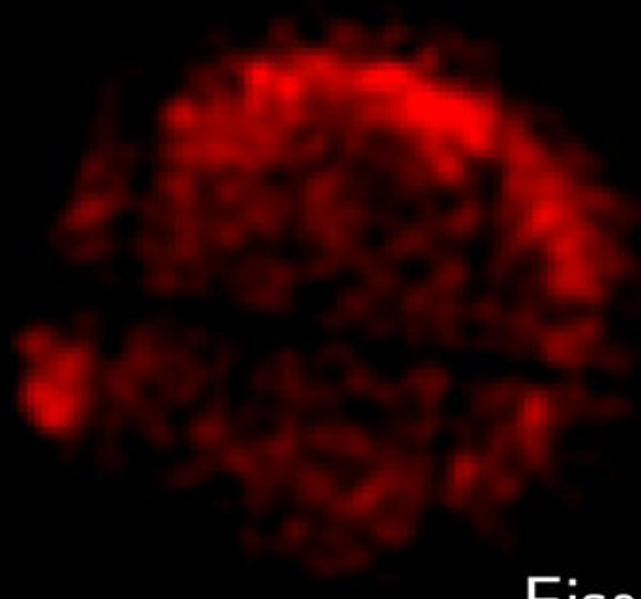
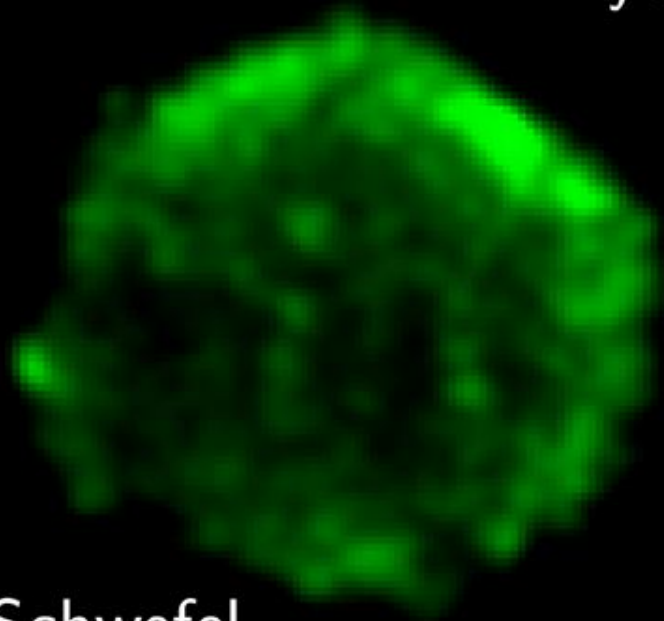
XMM-Newton

Silizium

EPIC



Tycho's SNR



Schwefel

Eisen

# Cassiopeia A (Cas A)

Röntgenstrahlung



optisch





# Supernovae

- Kollaps des inneren Kernes eines massiven Sternes (“Roter Riese”) oder
- Thermonukleare Explosion eines kleinen, kompakten Sternes (“Weisser Zwerg”)
  - Druck und Temperatur sind hoch genug um die Eisengrenze zu überschreiten und höhere Elemente zu erzeugen
  - Verteilung des Inneren des Sternes in den interstellaren Raum



# Das vollständige Periodendiagramm

Periodic table of the elements

period	group 1* 1a**	2 IIa	Sterne										Urknall					18 0					
1	H																				He		
2	Li	Be																					
3	Na	Mg	3 IIIb	4 IVb	5 Vb	6 VIb	7 VIIb	8 VIIIb	9	10	11 Ib	12 IIb	13 IIIa	14 IVa	15 Va	16 VIa	17 VIIa	18					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112 *** (Uub)	113 *** (Uut)	114 *** (Uuq)	115 *** (Uup)	116 *** (Uuh)			118 *** (Uuo)				
			series 6																				
			actinide series 7																				
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu							
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr							

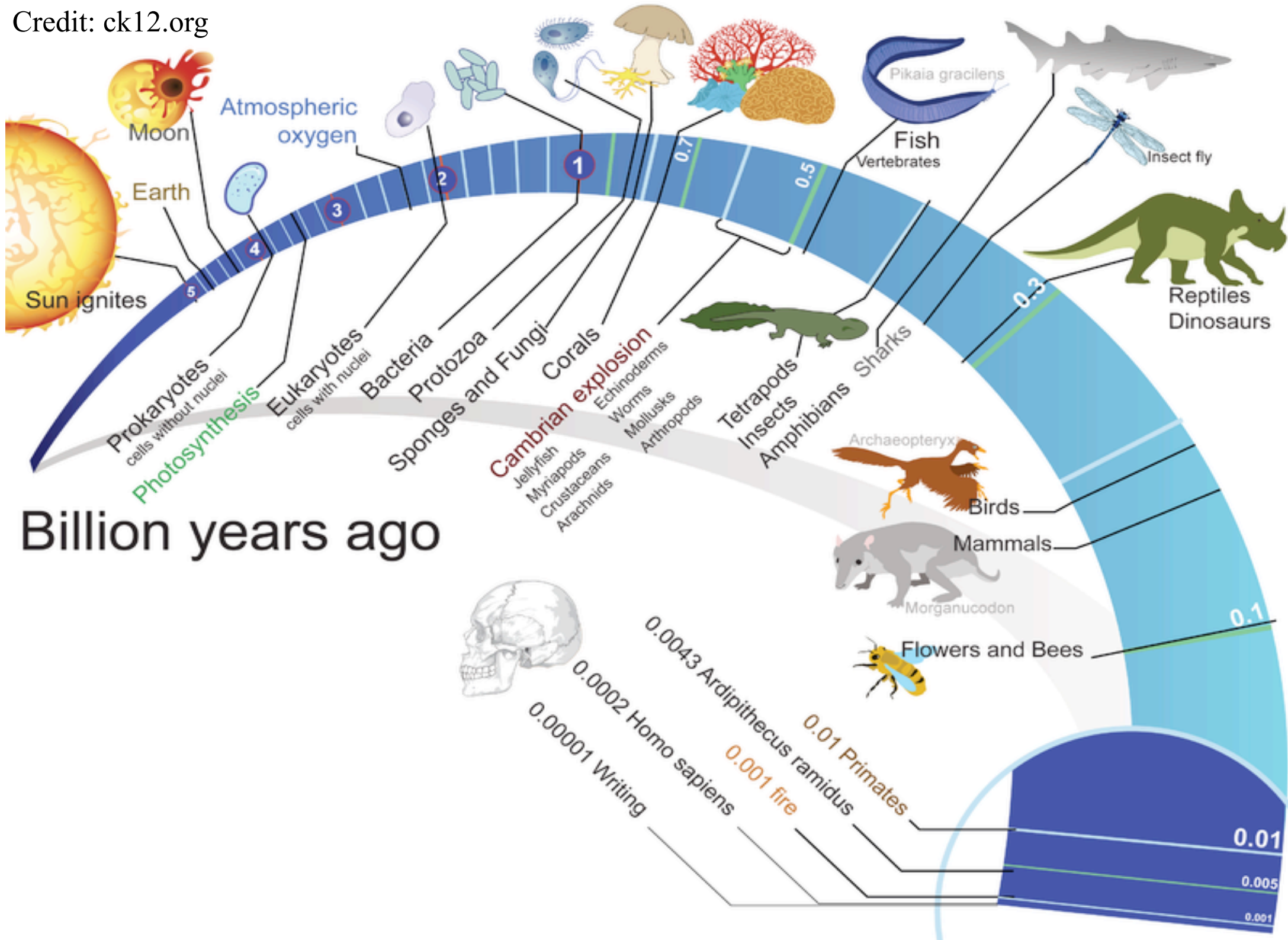
Supernovae

\* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).  
 \*\* Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.  
 \*\*\* Discoveries of elements 112–116 and 118 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.



# Das ganze bekannte Universum (fast)

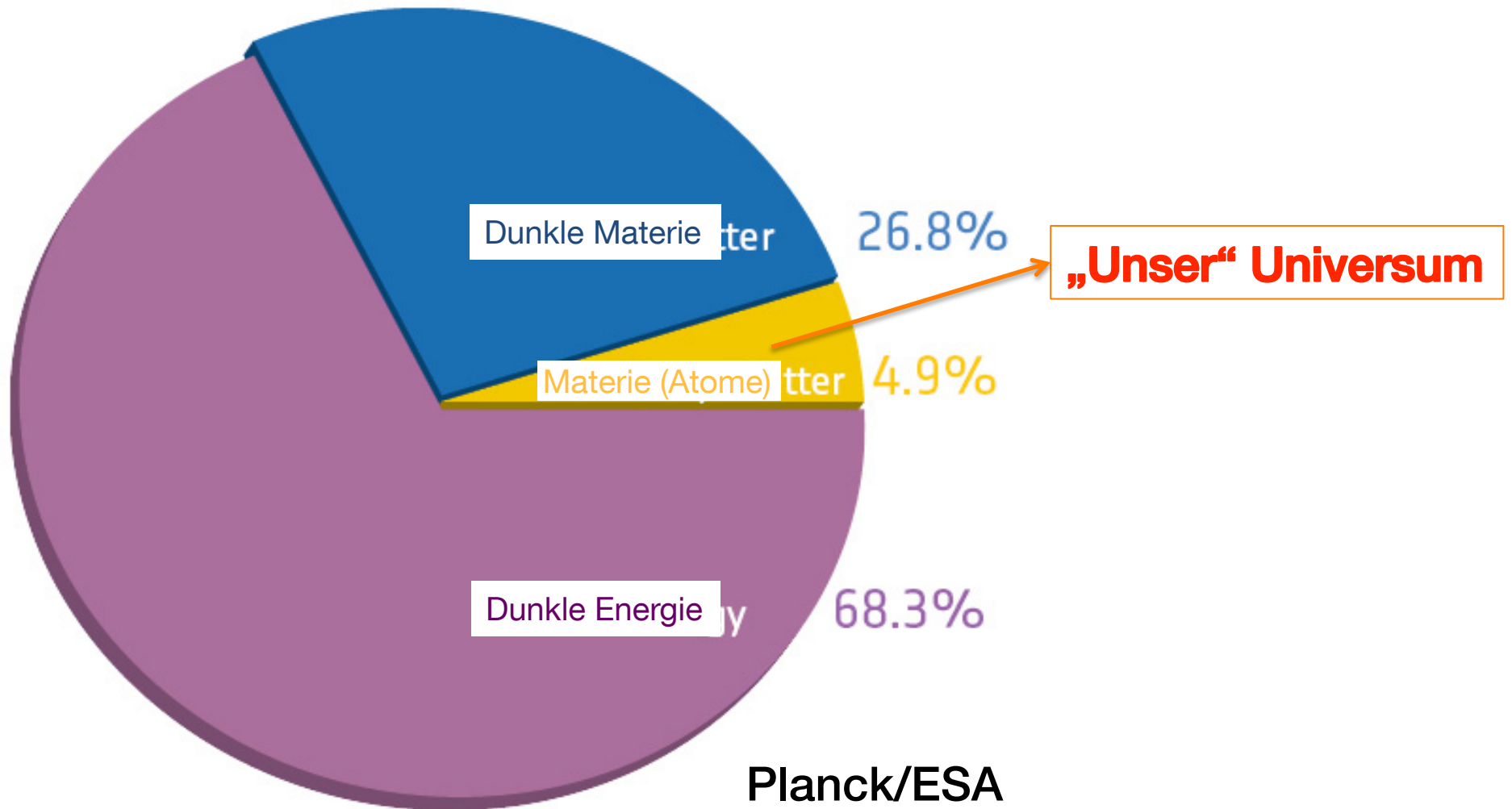






# Das ist noch nicht alles

## Bekannte Komponenten des Universums





# Die Dunkle Seite des Universums

Dunkle Materie und Dunkle Energie

Wie verstehen wir das Universum?

Aus was besteht das Universum?

Thema eines anderen Vortrages



Wie sehen wir unsere Welt?



# ESO's Welt

**Paranal**  
**La Silla**  
**Santiago**

**Chajnantor**

**Garching bei München**



ESO





Astronomen arbeiten im Dunklen, was sie ans Licht bringen, ist geeignet, unsere Vorstellungen von der Welt radikal zu verändern.



Büäude in Garching  
*Bauwelt*, Juli 1980





# Eine Nacht auf Paranal

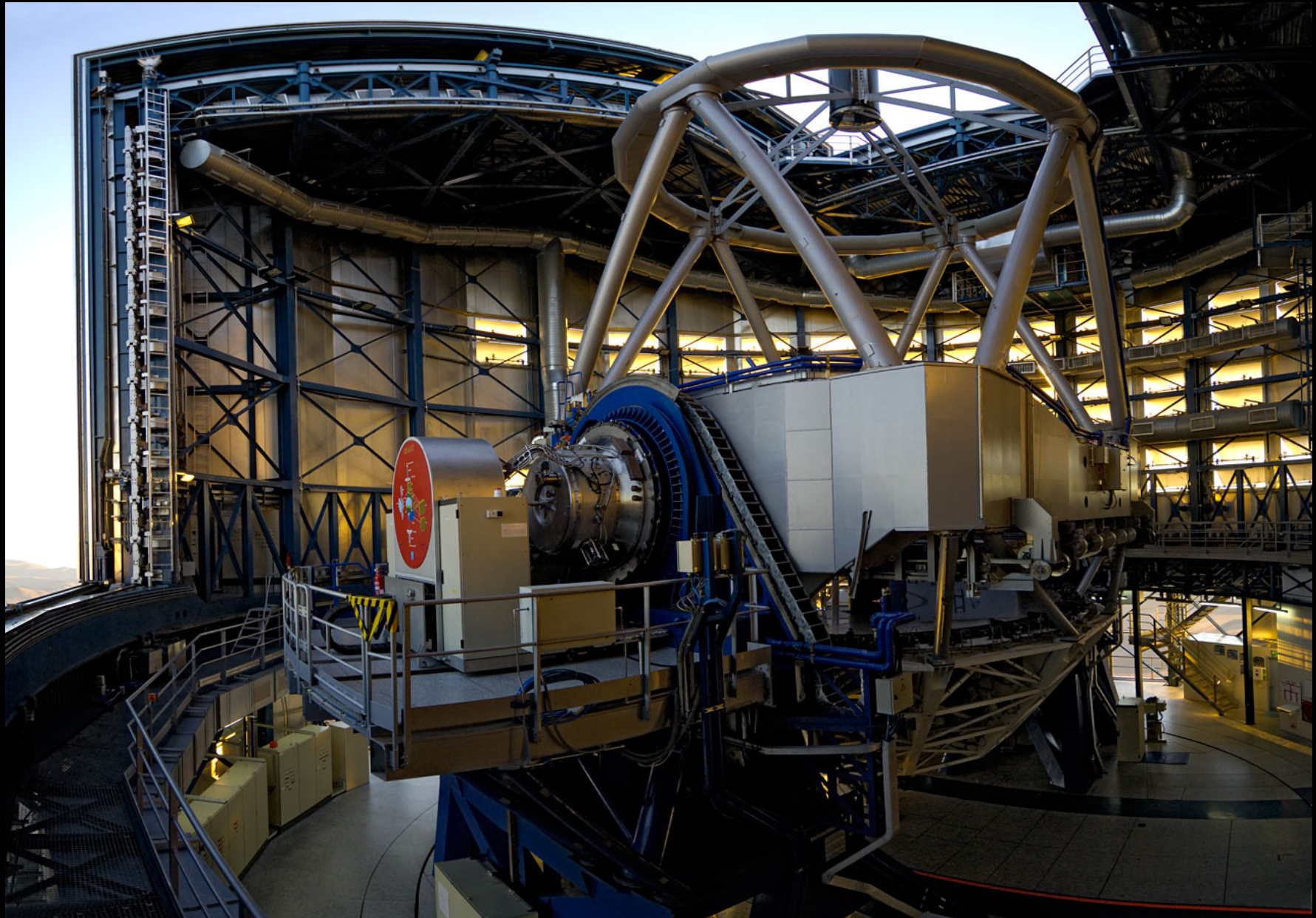




# Himmelsbeobachtung



# Eines der 8m Teleskope

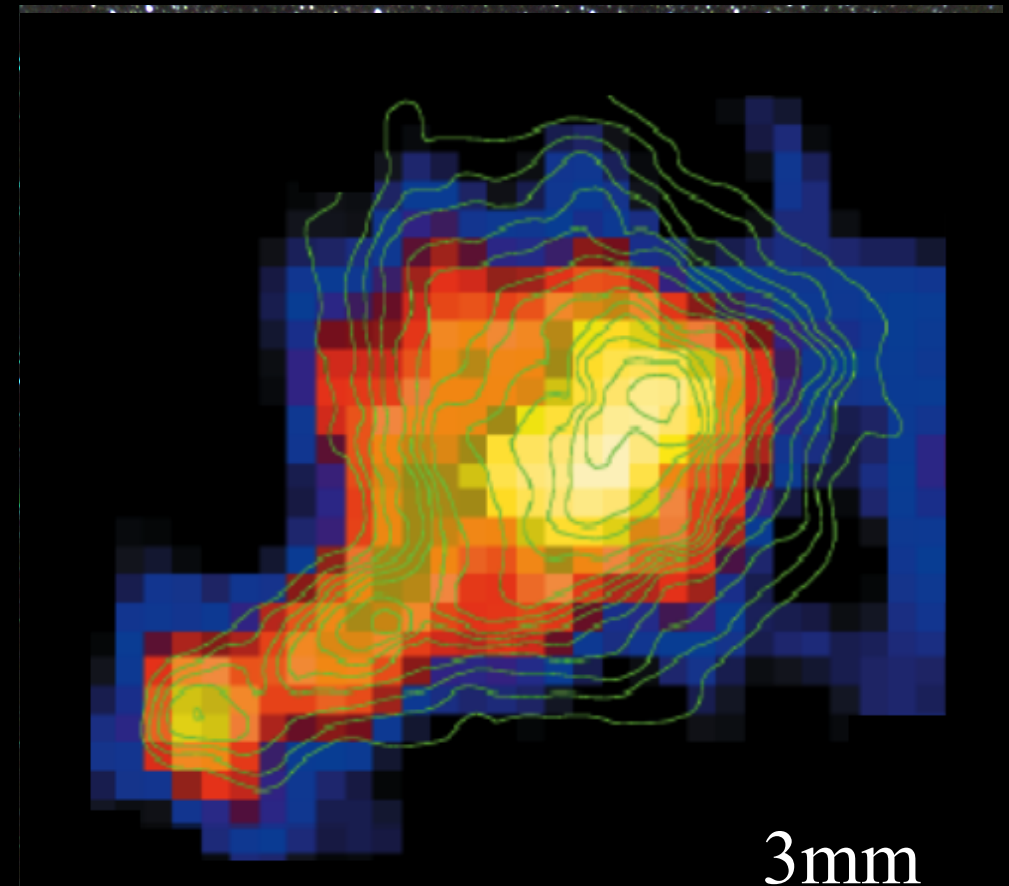






# Weshalb Teleskope und Antennen?

- Was in einer Wellenlänge schwach leuchtet kann an einer anderen sehr hell sein
- Beispiel: Wärmebilder







# ALMA Antennentransport



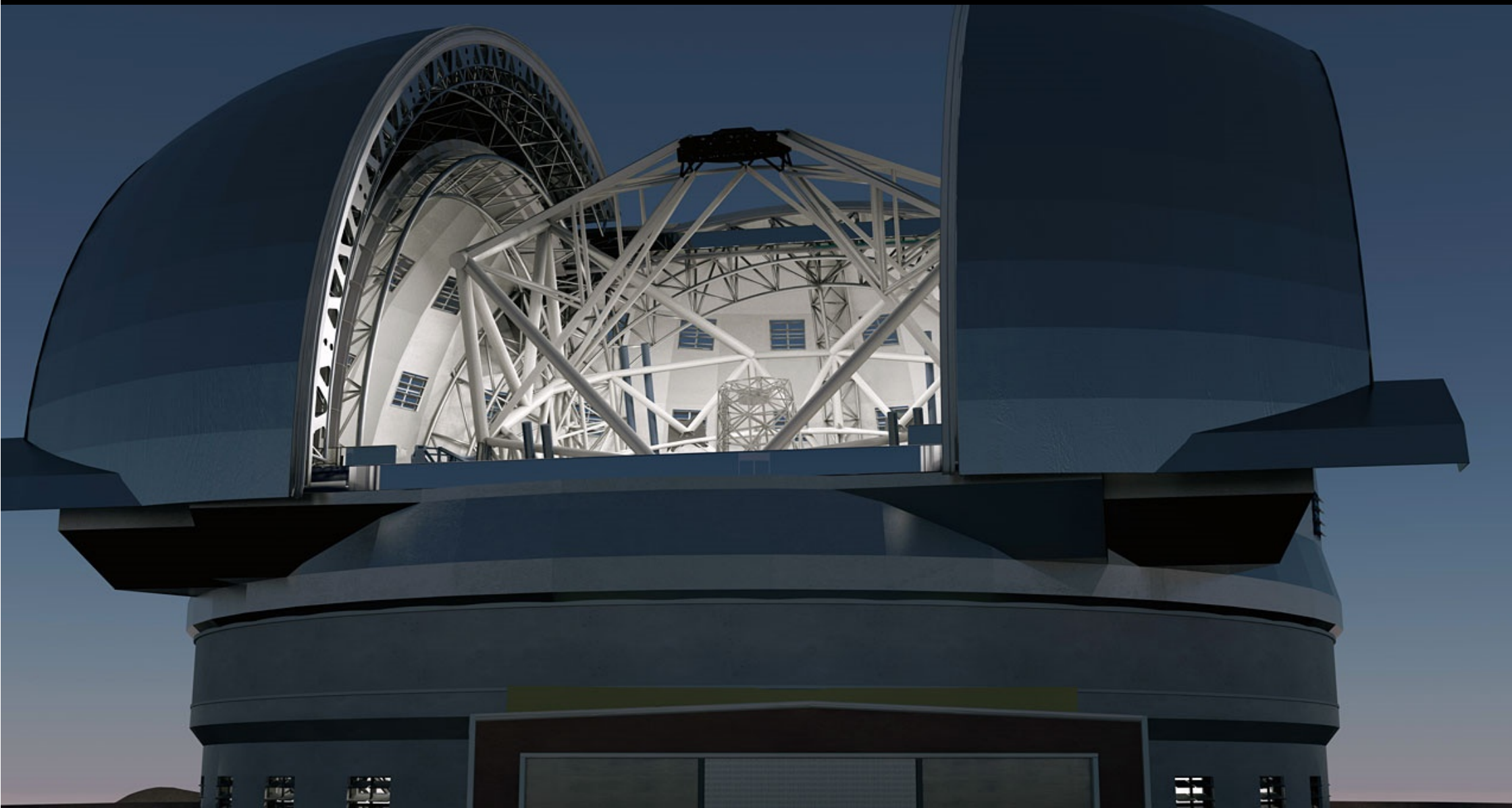


# Beobachten mit ALMA



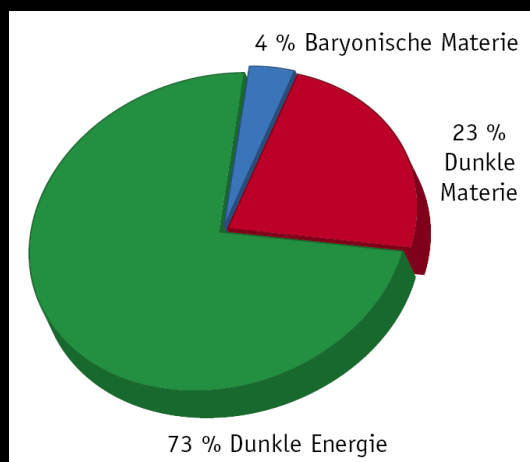
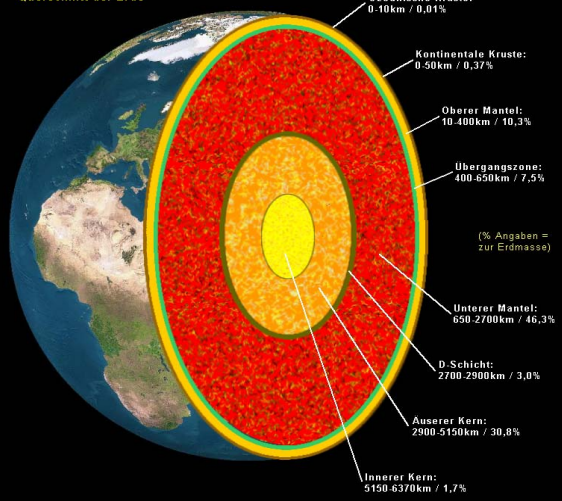
[www.eso.org](http://www.eso.org)

# ESO's nächstes Projekt Das E-ELT





Querschnitt der Erde



# Unser Universum Unsere Welt

