



Gefahren aus dem All





Planetare Killer auf Kollisionskurs?

Perseiden 2010, Chile

Jede klare Nacht können wir selbst mit freiem Auge beobachtend im Mittel 4 **sporadische** Sternschnuppen pro Stunde zählen.

Während eines Meteorschauers kann diese Zahl auf über 100 steigen.

Tagesperiodische Schwankungen der Häufigkeit hängen mit der Eigenrotation der Erde (Uhrzeit) und der Bewegungsrichtung der Erde zusammen. Wenn wir uns in Richtung der Erdrotation befinden (von Mitternacht bis Mittag), sehen wir mehr Sternschnuppen als auf der „abgewandten“ Seite (Mittag bis Mitternacht). **Am besten können wir Sternschnuppen also in den frühen Morgenstunden beobachten.**

Beispiele für Meteorschauer 2015:

Perseiden: Maximum: 13. August, Quelle: 109P/Swift-Tuttle

Leoniden: Maximum: 17. November, Quelle: Komet 55P/Temple-Tuttle

Geminiden: Maximum: 14. Dezember, Quelle: vermutlich (3200) Phaeton

Meteorschauer 2015

Das Auftreten von Kometen wurde auch oft mit „Überirdischem“ in Verbindung gebracht:

So glaubten manche Kulturen, dass mit den Kometen die Seelen Verstorbener in den Himmel führen und freuten sich darüber...

... doch oftmals wurden Kometen und Sternschnuppen auch mit Naturkatastrophen, zukünftigen Kriegen und dem Tod hochgestellter Persönlichkeiten assoziiert.

So beobachteten die Normannen 1066 den **Halley'schen Kometen** und nahmen den Fall irgendeines Königreiches an...

... und fielen erfolgreich in England ein.

1910 durchquerte die Erde wieder den Schweif des **Halley'schen Kometen** und Wissenschaftler entdeckten, dass dieser giftige Blausäure enthält. Zahlreiche Betrüger verkauften daraufhin erfolgreich Anti-Kometenpillen und Atemschutzmasken.

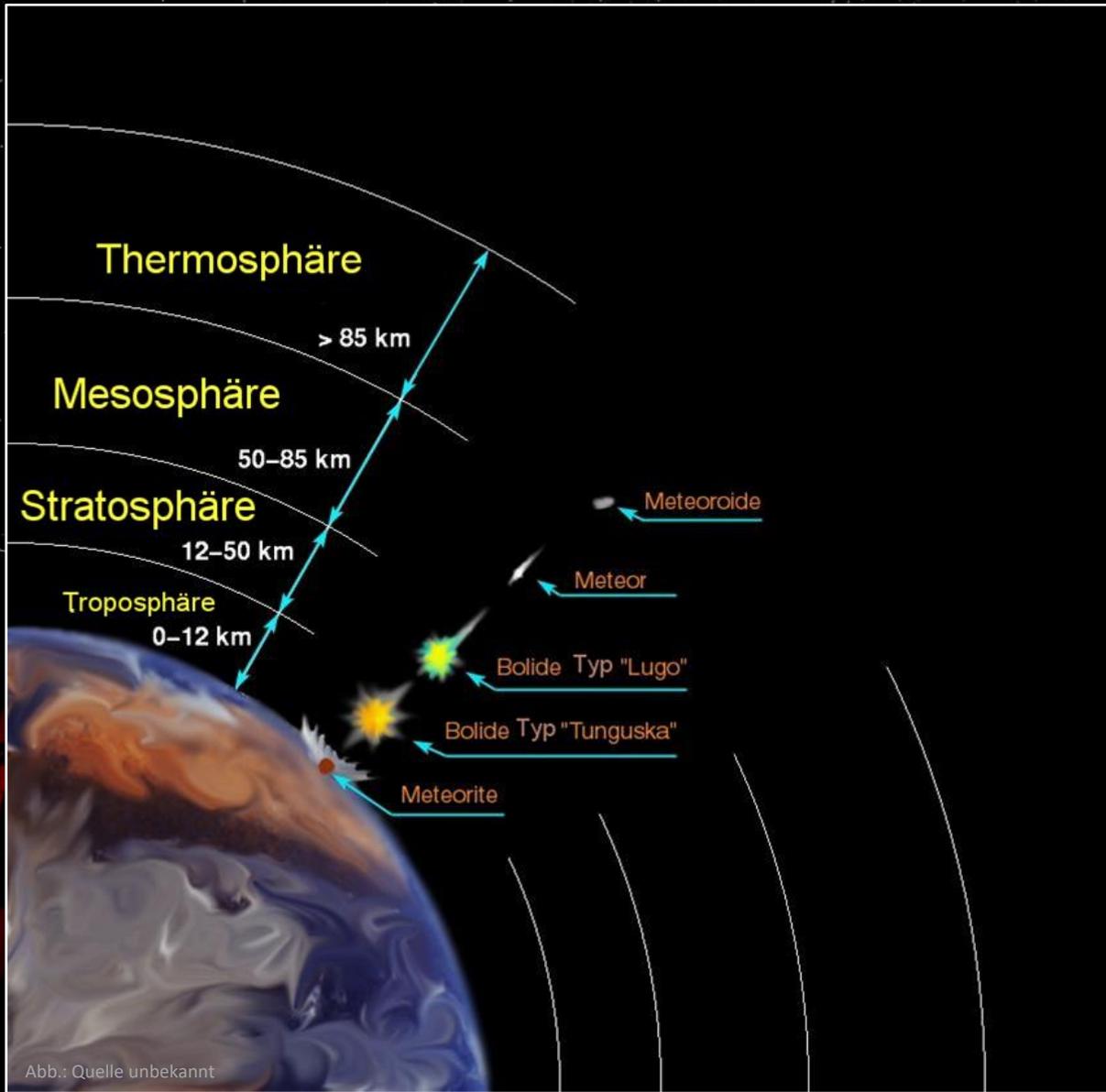
Wie groß sind die „Bruchstücke“, die unsere klassischen Sternschnuppen verursachen?

Bezeichnung	Durchmesser des Objekts	Masse des Objekts	Gesamtmasse aller Objekte, die jeden Tag die Erde erreichen	
Feuerkugeln, -bälle, Boliden	größer als 10 mm	mehr als 2 g	1 t	freiäugig sichtbar
Sternschnuppen	1 mm bis 10 mm	2 mg bis 2 g	5 t	
Teleskopische Meteore	0,1 mm bis 1 mm	0,002 mg bis 2 mg	20 t	nicht freiäugig sichtbar
Mikrometeore	kleiner als 0,1 mm	weniger als 0,002 mg	1.000-10.000 t	

Doch es gibt da draußen und um uns herum auch noch größere Objekte ...

Vom Asteroiden zum Impaktkrater – Die Nomenklatur...

Abb.: ESO/S. Guisard



Barringer Crater, Arizona, USA:



Krater: Durchmesser: 1.200 m, Tiefe: 180 m, Alter: etwa 50.000 Jahre, umgebender Wall: 30-60 m

Impaktor: Durchmesser: 50 m, aus Eisen, 50.000 t, Geschwindigkeit: 15-30 km/s (55.000-110.000 km/h)

Der Impakt löste ein **Erdbeben der Stärke 5,5** aus und es breitete sich ein **Feuerball** aus, der innerhalb von 10 km alles Leben vernichtete, die **Schockwelle** verwüstete alles innerhalb von 20 km.

Der Canyon-Diablo Meteorit:



Abb.: SCI.E.S.COM

Canyon-Diablo Meteorite werden seit 1891 in der Gegend um den Barringer Krater gefunden und datieren mit einem Alter von etwa 4,55 Mrd. Jahren auf den Ursprung des Sonnensystem zurück.

Das größte jemals gefundene Bruchstück bringt 639 kg auf die Waage und trägt sogar einen eigenen Namen: **Holsinger Meteorit**.

Canyon-Diablo Meteorit:
chem. Klassifikation: IAB,
grober Oktaedrit, Bestandteile:

- 91,6 % Eisen
- 7,1 % Nickel
- 1 % Kohlenstoff
- 1 % Schwefel
- 0,26 % Phosphor
- 320 ppm Germanium
- 80 ppm Gallium
- 1,9 ppm Iridium

Der Sikhote-Alin (Sichote-Alin) Meteorit:

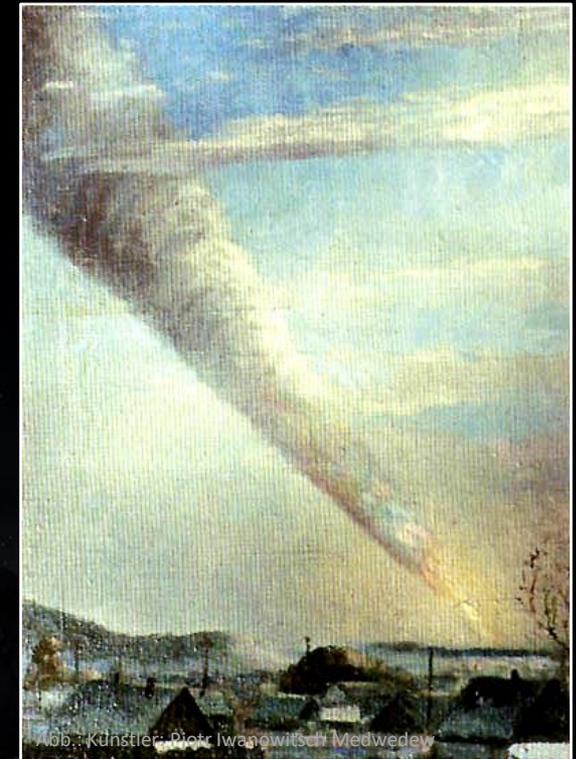
Der Eisenmeteorit mit Masse von etwa 200 t trat 1947 mit etwa 50 000 km/h in die Erdatmosphäre ein und hinterließ dabei eine 30 km lange Rauchspur in der Atmosphäre.

Dort zerbrach er in mehrere tausend Stücke und ging als Meteoritenschauer in einem etwa 4 x 12 km großem Areal nieder.

Es entstanden mehr als 120 Krater, der größte mit einer Tiefe von 6 m und einem Durchmesser von 28 m.



Über 8000 Bruchstücke mit einer Gesamtmasse von etwa 30 t wurden gefunden und können heute günstig erworben werden.



Sikhote-Alin Meteorit:

chem. Klassifikation: IIAB,
grober Oktaedrit, Bestandteile:

- 93 % Eisen
- 5,9 % Nickel
- 0,42 % Kobalt
- 0,46 % Phosphor
- 0,28 % Schwefel
- 161 ppm Germanium
- 52 ppm Gallium
- 0,03 ppm Iridium

Der Tscheljabinsk Meteor(it):

Der Meteoroid trat am 15. Februar 2013 in die Erdatmosphäre ein und war in weiten Gebieten des Urals sichtbar. Er ist in der Atmosphäre zerbrochen, das größte bisher geborgene Meteoritenfragment wiegt 570 kg.

Er besaß eine Masse von etwa 12.000 t und einen Durchmesser von etwa 19 m, das macht ihn seit dem Sikhote-Alin Eintritt zum bisher größten Meteoriten der jüngsten Vergangenheit.

Seine Einschlagsenergie hätte 500 kT TNT entsprochen.

Bei dem Ereignis gab es fast 1.500 Verletzte und etwa 3.700 beschädigte Gebäude zu beklagen.



Abb.: Wikipedia - Alex Alishevskikh

Der Tunguska „Impakt“:

30. Juni 1908: Ein Gesteinsmeteor, mit einem Durchmesser von etwa 60 m zerbrach (vermutlich) in der Atmosphäre. Zumindest wurden bis heute weder ein eindeutiger Krater, noch Meteoriten gefunden. Die Suche dauert jedoch noch an.

Die Schockwelle war so groß, dass noch mehrere 100 km vom „Einschlagsgebiet“ entfernt, die Menschen zu Boden geworfen wurden. Hunderte km² Waldfläche wurden vernichtet.



Es hätte aber auch Moskau oder Wien treffen können...

Der Peekskill Impact:



Abb.: Quelle unbekannt

2. Oktober 1992: Der ursprüngliche Meteorit war so groß wie ein Schulbus.
Ein Bruchstück davon traf ein Auto (Peekskill, USA).

Der größte Impaktkrater im Sonnensystem relativ zum Durchmesser seines Himmelskörpers ist auf dem Saturnmond Mimas zu finden (ein komplexer Krater):

Mittlerer Durchmesser von Mimas: 397 km

Der Kraterdurchmesser dieses vor etwa 4 Mrd. Jahren stattgefundenen Impaktes beträgt **30 % des Mimasdurchmessers.**

Der Impakt hätte fast dazu geführt, dass der Satellit auseinander gebrochen wäre.

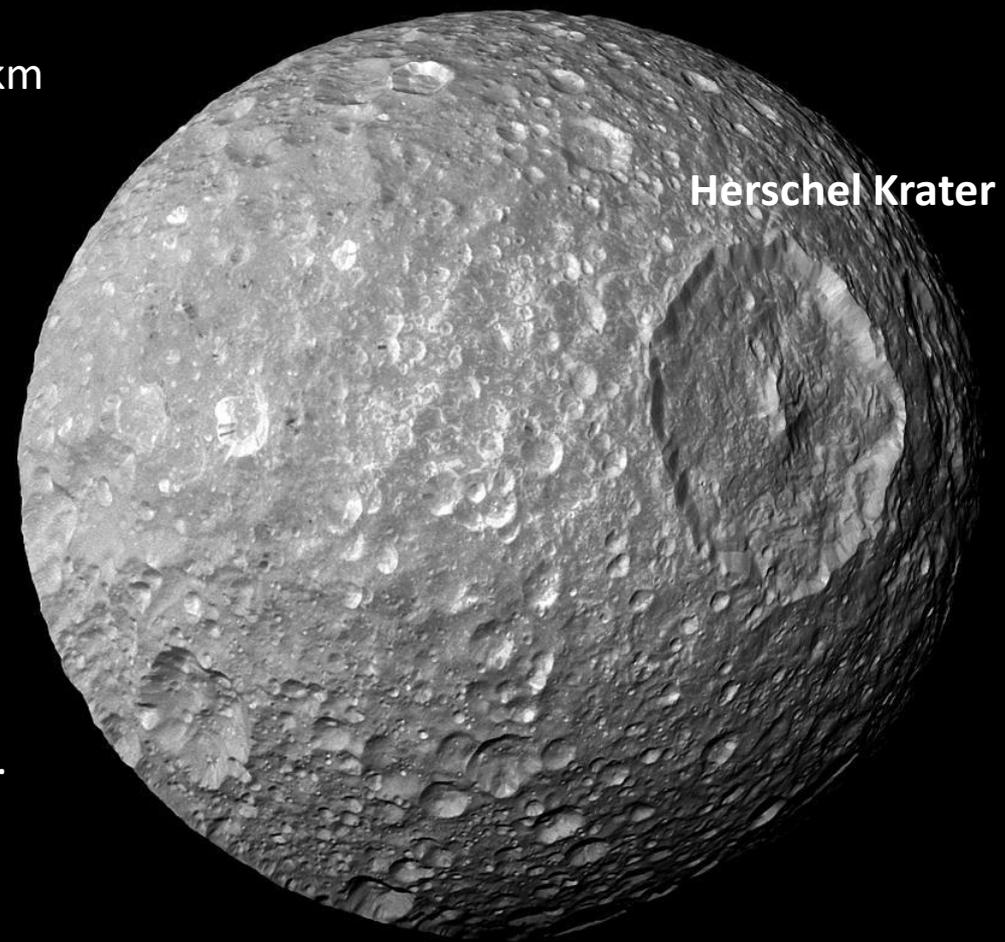


Abb.: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Der größte Impaktkrater im Sonnensystem ist das Südpol-Aitken-Becken auf dem Mond:

Kraterdurchmesser: 2.240 km

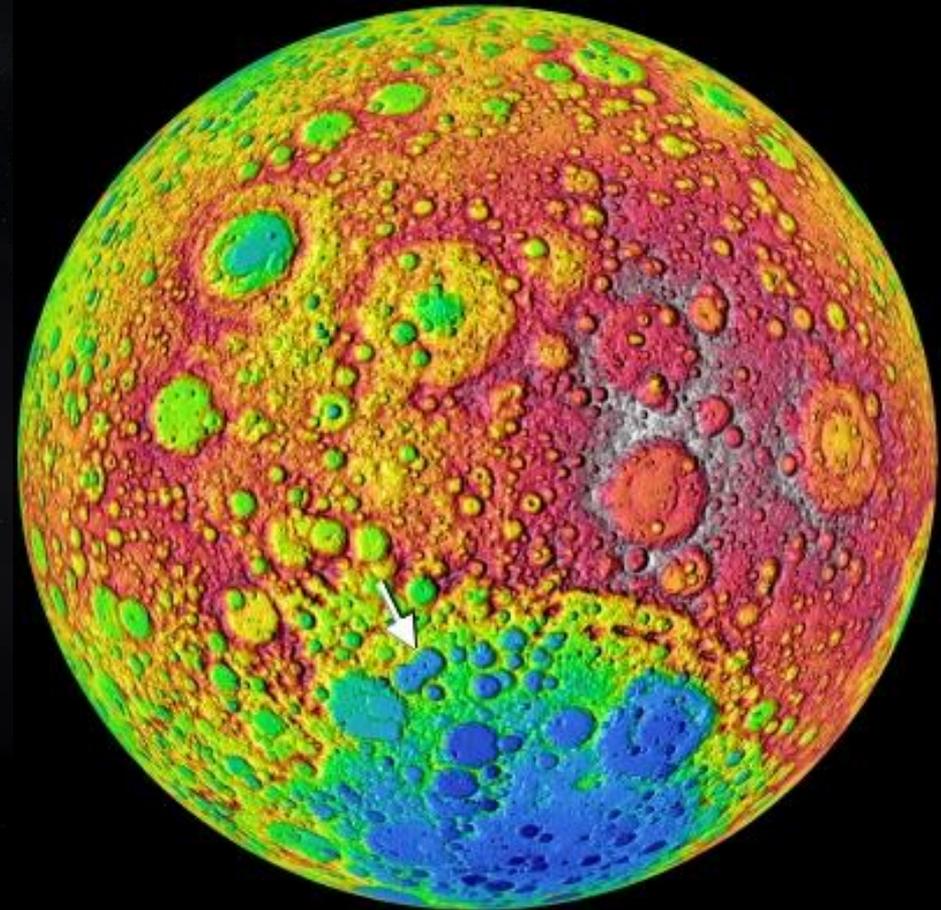


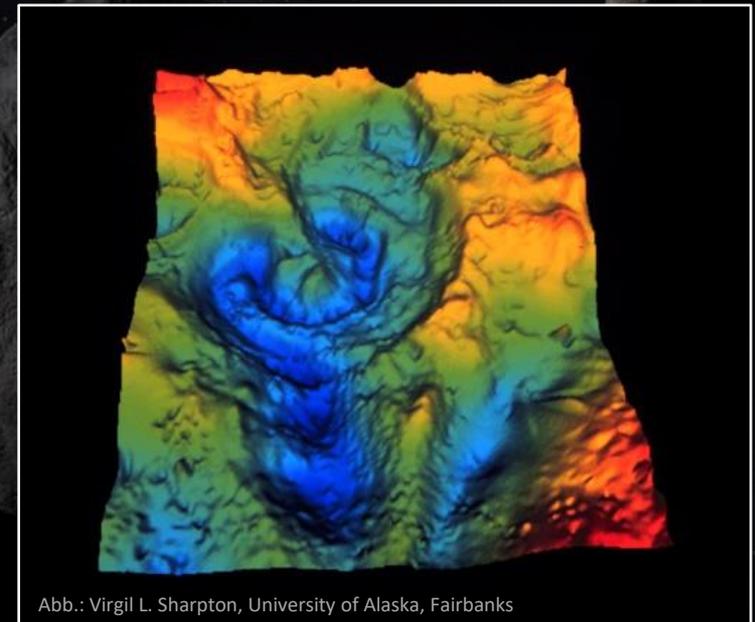
Abb.: NASA/GSFC/LOLA

Bei diesem Impact wurde vermutlich sogar die Mondkruste durchbrochen und Mantelmaterial freigelegt.

Der vielleicht bekannteste Impakt fand vor etwa 65 Millionen Jahren auf der Erde statt:



Als eine Konsequenz dieses Einschlages kam es zu einem verheerenden Klimawandel und in weiterer Folge zum Aussterben der Dinosaurier.



Was passiert bei einem Einschlag...

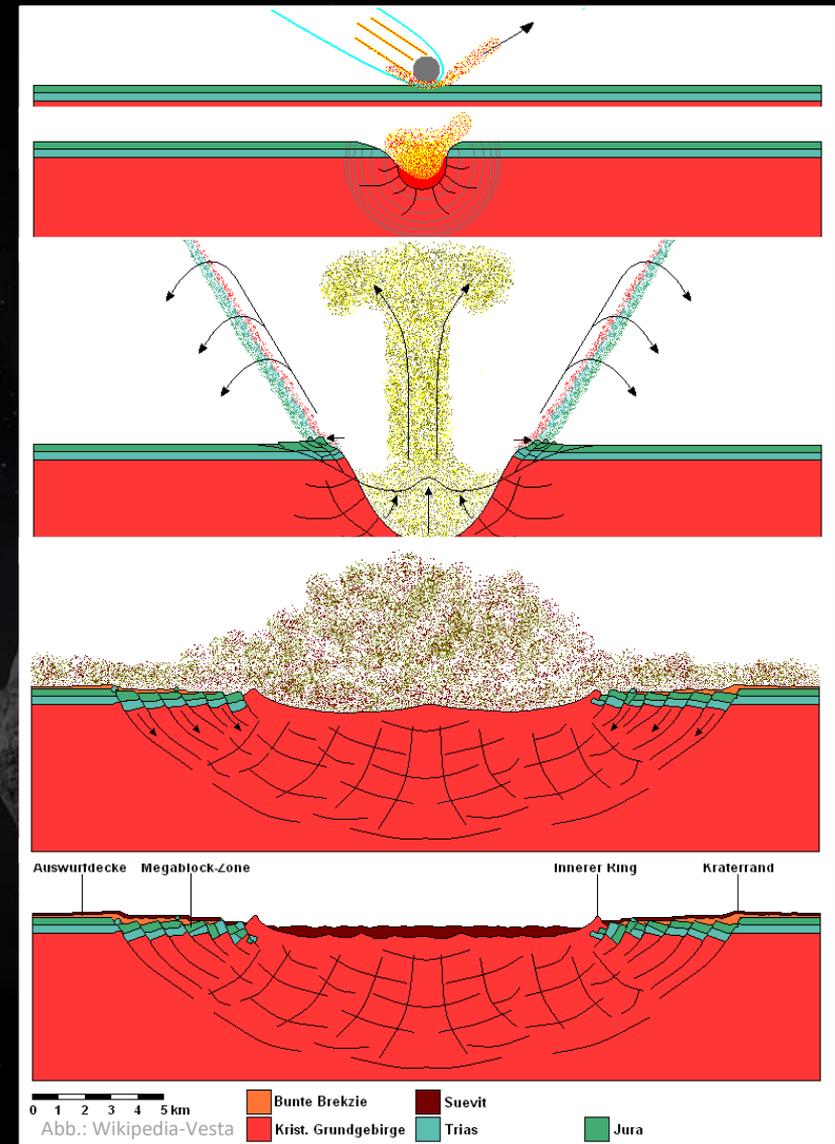
Abb.: ESA/P.Carril

Der Ablauf eines Einschlages am Beispiel des Nördlinger Ries Kraters:

Neben der Druckwelle birgt auch das Auswurfmaterial (**Ejekta**) ein großes Gefahrenpotential, da weit vom Einschlagsort entfernte Regionen ebenfalls massiv in Mitleidenschaft gezogen werden könnten.



Abb.: NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona



Vom Asteroiden zum Krater...

Abb.: ESA/P.Carril

Ein einfacher Impakt-Rechner für Zuhause:

<http://simulator.down2earth.eu>

Ein einfacher Impaktrechner

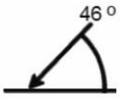
Eingabewerte

Durchmesser des Asteroiden



Wert:

Winkel des Einschlags



Wert:

Geschwindigkeit des Geschosses



Wert:

Dichte des Geschosses

Eisen



Dichte des Untergrunds

Vulkanisches Gestein



Zurücksetzen Versuch starten ? Entfernung vom Kraterort 500 km

Abb.: <http://simulator.down2earth.eu>

Auch die Konsequenzen können leicht simuliert werden:

<http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/>

Impaktrechner zu den Auswirkungen

Ein Impaktrechner zur Simulation der geologischen Konsequenzen

Ergebnis - Kratergröße

Parameter	Wert
Kratertiefe	1,200 m
Kraterbreite	104,817 m
Dicke der Auswurfsschicht	0,99 m
Höhe, in der das Geschoss auseinander bricht	18,318 m
Windgeschwindigkeit	822 m/s
Richterstärke	10
Stärke der Schallwelle	121 dB

Bitte auswählen...
Bitte auswählen...

Aufschlagsort bitte auf der Karte anklicken...



Zurück Kratergröße Kratertiefe Die Daten in der Übersicht

Abb.: <http://simulator.down2earth.eu>

Faustregel – Das Verhältnis des Durchmessers vom Impaktor zum entstehenden Krater beträgt: 1:20 bei Steinasteroiden und 1:40 bei Eisenasteroiden.

Welches Gefahrenpotential besitzen die einzelnen Asteroiden...

Abb.: ESA/P.Carril

Die Turiner Skala:

Ereignisse, die höchstwahrscheinlich keine Konsequenzen haben	0	Die Kollisionswahrscheinlichkeit ist Null oder deutlich geringer als die Wahrscheinlichkeit, dass ein beliebiges Objekt vergleichbarer Größe die Erde in den nächsten Jahrzehnten trifft. Diese Einstufung gilt gleichfalls für jedes kleine Objekt, das im Kollisionsfall die Erdoberfläche nicht als Ganzes erreicht.
	1	Die Kollisionswahrscheinlichkeit ist sehr gering und vergleichbar damit, dass ein beliebiges Objekt vergleichbarer Größe die Erde in den nächsten Jahrzehnten trifft.
Ereignisse, die sehr unwahrscheinlich sind	2	Eine nahe, aber keine ungewöhnliche Annäherung. Eine Kollision ist sehr unwahrscheinlich.
	3	Eine Annäherung, für die die Kollisionswahrscheinlichkeit über 1% liegt. Die Kollision würde lokale Zerstörung verursachen.
	4	Eine Annäherung, für die die Kollisionswahrscheinlichkeit über 1% liegt. Die Kollision würde regionale Zerstörung verursachen.
Ereignisse, die eine genaue Beobachtung von AstronomInnen erfordern	5	Eine große Annäherung mit einer großen Kollisionswahrscheinlichkeit, die regionale Zerstörungen verursachen kann.
	6	Eine große Annäherung mit einer großen Kollisionswahrscheinlichkeit, die globale Zerstörungen verursachen kann.
	7	Eine große Annäherung mit einer sehr großen Kollisionswahrscheinlichkeit, die globale Zerstörungen verursachen kann.
Bedrohliche Ereignisse	8	Eine Kollision, die lokale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 50 bis 1000 Jahre statt.
	9	Eine Kollision, die regionale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 1000 bis 100.000 Jahre statt.
	10	Eine Kollision, die globale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 100.000 Jahre oder seltener statt.
Sichere Kollisionen	8	Eine Kollision, die lokale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 50 bis 1000 Jahre statt.
	9	Eine Kollision, die regionale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 1000 bis 100.000 Jahre statt.
	10	Eine Kollision, die globale Zerstörung verursacht. Solche Ereignisse finden alle 100.000 Jahre oder seltener statt.

Welches Gefahrenpotential besitzen die einzelnen Asteroiden...

Abb.: ESA/P.Carril

Statistiken über Statistiken – Wie häufig kommt es zu großen Impakten:

Durchmesser des Impaktors	Häufigkeit	Auswirkungen (Komet aus Eis und Gestein, der auf Sedimentgestein trifft)
10 m	63,3 Jahre	zerbricht in der Atmosphäre, kein Krater, Fragmente könnten die Oberfläche treffen
100 m	13.000 Jahre	zerbricht in der Atmosphäre, Fragmente können einfache Krater schlagen (Durchmesser: 2,3 km, Tiefe: 0,5 km)
500 m	530.000 Jahre	komplexer Krater (Durchmesser: 13,4 km, Tiefe: 0,7 km)
1 km	2,6 Mio. Jahre	komplexer Krater (Durchmesser: 24,9 km, Tiefe: 0,8 km)
5 km	110 Mio. Jahre	komplexer Krater (Durchmesser: 103 km, Tiefe: 1,2 km)
10 km	540 Mio Jahre	komplexer Krater (Durchmesser: 190 km, Tiefe: 1,4 km)

Es gibt aber auch Hinweise darauf, dass es alle **32-35 Mio. Jahre zu einem Massensterben kommt** (möglicherweise als eine Konsequenz der Bahn unseres Sonnensystems um das Zentrum der Galaxis). Diese These ist jedoch umstritten!

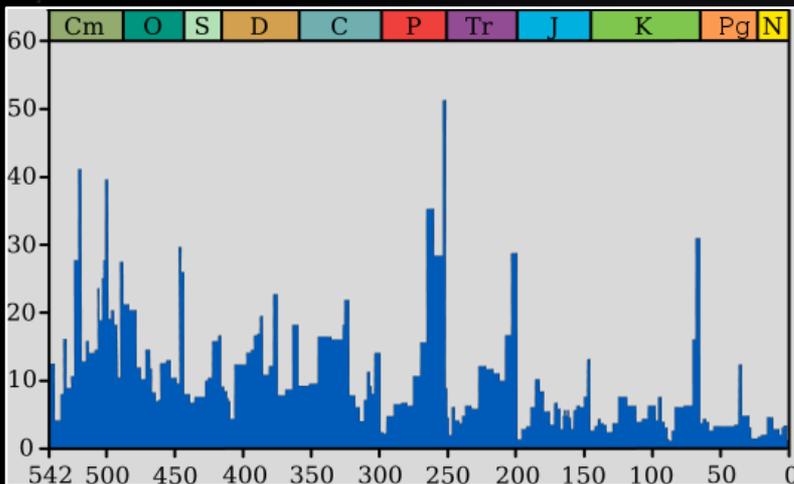


Abb.: Wikipedia-Smith609

Dennoch, die Wahrscheinlichkeit, dass uns wieder einmal ein (großer) Asteroid/Komet treffen wird, ist 100 %.

Die Frage ist nur WANN!

Die Folgen eines Impaktes...

Abb.: ESA/P.Carril

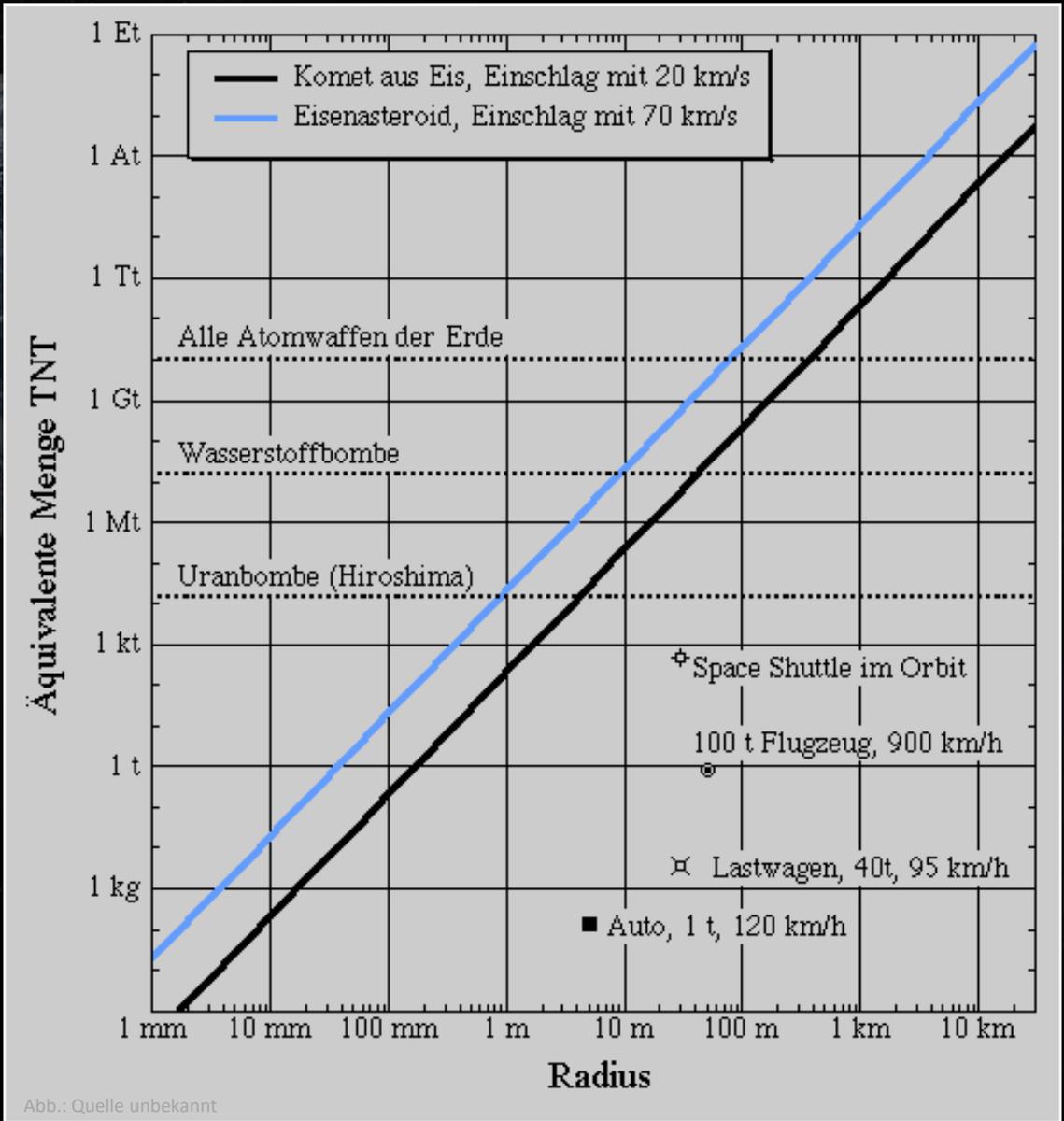
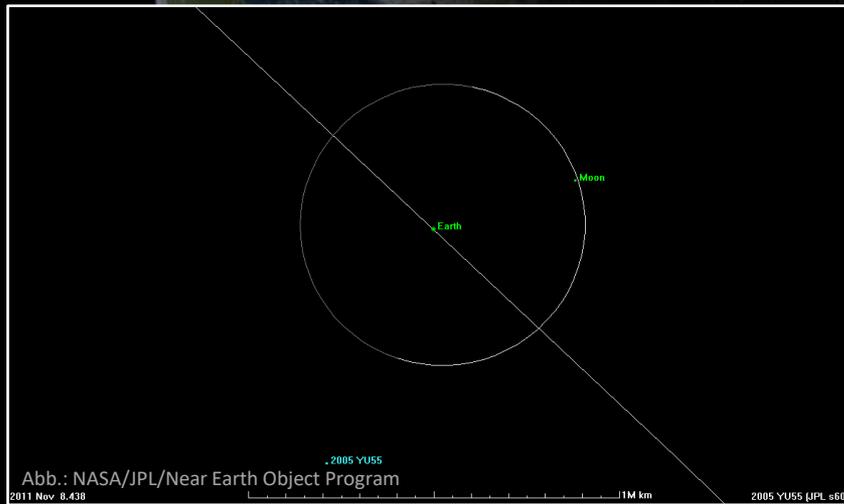


Abb.: Quelle unbekannt

00.28 Uhr, 9. November 2011: 2005YU55

Ein Asteroid mit einem Durchmesser von 400 m zieht innerhalb der Mondbahn an der Erde vorbei (mit 50.000 km/h). Der engste Vorbeiflug eines Objektes vergleichbarer Größe seit 1976. Und dieser überraschte alle, denn nur 2 Tage vorher (wieder)entdeckten wir diesen Asteroiden.

Bahn von 2005YU55 im Jahr 2011



Möglicherweise liegt aber die größte Gefahr bei den Objekten, welche wir noch nicht entdeckt haben und die wir erst dann entdecken oder wiederentdecken, wenn die Vorwarnzeit nicht mehr ausreicht.

Die aktuell „gefährlichsten“ Objekte befinden sich auf der **SENTRY** Liste.

Juli 2021: Kein Objekt mit Palermozahl über 0 auf der Liste.

Sentry Liste

Wobei die größte Gefahr im Unbekannten stecken könnte...

Abb.: ESA/P.Carril

Ein Auszug der SENTRY Liste:

Abb.: NASA/JPL/Near Earth Object Prog. Recently Observed Objects (within past 60 days)

Object Designation	Year Range	Potential Impacts	Impact Prob. (cum.)	V_{∞} (km/s)	H (mag)	Est. Diam. (km)	Palermo Scale (cum.)	Palermo Scale (max.)	Torino Scale (max.)
2014 UX34	2061-2114	14	9.7e-06	25.98	22.4	0.110	-3.54	-3.68	0
2013 XK22	2101-2114	2	3.7e-05	6.90	24.2	0.049	-4.43	-4.43	0
2014 UD57	2076-2108	6	8.4e-05	8.69	25.8	0.023	-4.82	-4.86	0
2014 QC391	2078-2114	32	5.8e-05	7.61	27.5	0.011	-5.78	-6.19	0
2014 UN114	2076-2103	3	2.2e-06	4.60	24.7	0.039	-5.83	-5.93	0
2014 QF33	2076-2086	3	1.8e-07	23.29	23.7	0.060	-5.94	-6.08	0
2014 SR261	2058-2111	8	4.6e-06	15.27	26.8	0.015	-6.09	-6.18	0
2014 SR223	2063-2063	1	2.9e-06	15.23	26.8	0.015	-6.27	-6.27	0
2014 QN266	2056-2094	6	2.4e-06	2.84	26.2	0.020	-6.53	-7.09	0
2014 TL	2072-2111	4	8.9e-06	10.72	27.8	0.009	-6.64	-6.80	0
2014 UU56	2078-2078	1	1.6e-07	8.15	28.1	0.008	-8.53	-8.53	0
2014 UY57	2078-2078	1	6.1e-09	8.63	27.2	0.012	-9.47	-9.47	0

Die **Palermozahl** ist ein Maß für die Einschlagswahrscheinlichkeit und berücksichtigt auch die Masse und Geschwindigkeit der Objekte.

Besonderes Augenmerk liegt auf Objekten mit einer **positiven Palermozahl**.

Abb.: NASA/JPL/Near Earth Object Prog. Objects Not Recently Observed

Object Designation	Year Range	Potential Impacts	Impact Prob. (cum.)	V_{∞} (km/s)	H (mag)	Est. Diam. (km)	Palermo Scale (cum.)	Palermo Scale (max.)	Torino Scale (max.)
410777 (2009 FD)	2185-2196	5	2.9e-03	15.87	22.1	0.470	-0.40	-0.44	(*)
101955 Bennu (1999 RQ36)	2175-2199	78	3.7e-04	5.99	20.2	0.490	-1.71	-2.32	(*)

Asteroid 2004MN4, 99942 Apophis:

- Am 19. Juni 2004 entdeckt, ein Erdbahnkreuzer;
- 0,746-1,098 AE, Durchmesser: 270 m (bei Entdeckung), aktueller Wert: 325 m;
- Sein Einschlag würde eine Energie von 500 Mt TNT freisetzen, die größte bisher vom Menschen verursachte Nuklearexplosion betrug 50 Mt TNT .

Am 13. April 2029 wird er die Erde im Abstand von 31.000 km passieren.

Vor ein paar Jahren hatte er noch eine höhere Gefahreneinstufung als 1, mehrere Tage sogar 4. Neue Bahnberechnungen haben aber einen Turiner Skalenwert von 0 ergeben.

Er war jedoch das erste Objekt überhaupt, das einen Wert höher als 1 erreichte (höchstes Impaktrisiko war 1:37).

April 2036: Die Beobachtung seiner Bahn wird 2029 helfen, das Impaktrisiko für die Zukunft besser abzuschätzen, insbesondere da das Objekt 2029 auch eine geringfügige Bahnänderung erfahren wird.

**Aktuelle
Risikoeinschätzung**

Asteroid 2004MN4, 99942 Apophis:

Er war jedoch das erste Objekt überhaupt, das einen Wert höher als 1 erreicht hatte (höchstes Impaktrisiko war 1:37).

**Damit ergibt sich aber eine sehr wichtige Frage:
Ab welchem Impaktrisiko setzen wir Maßnahmen?**

**Aktueller Konsens:
Eine Abwehrmaßnahme soll gestartet werden,
wenn das Impaktrisiko über 1 % liegt.**

Asteroiden als apokalyptische Boten sind ein Lieblingsmotiv von Hollywood...

Abb.: ESA/P.Carril

Mit der Realität haben all diese Hollywoodproduktionen aber nur sehr wenig zu tun!

Abb.: Paramount



Abb.: Touchstone



Wann müssen wir etwas unternehmen? Was können wir unternehmen?

Abb.: ESA/P.Carril

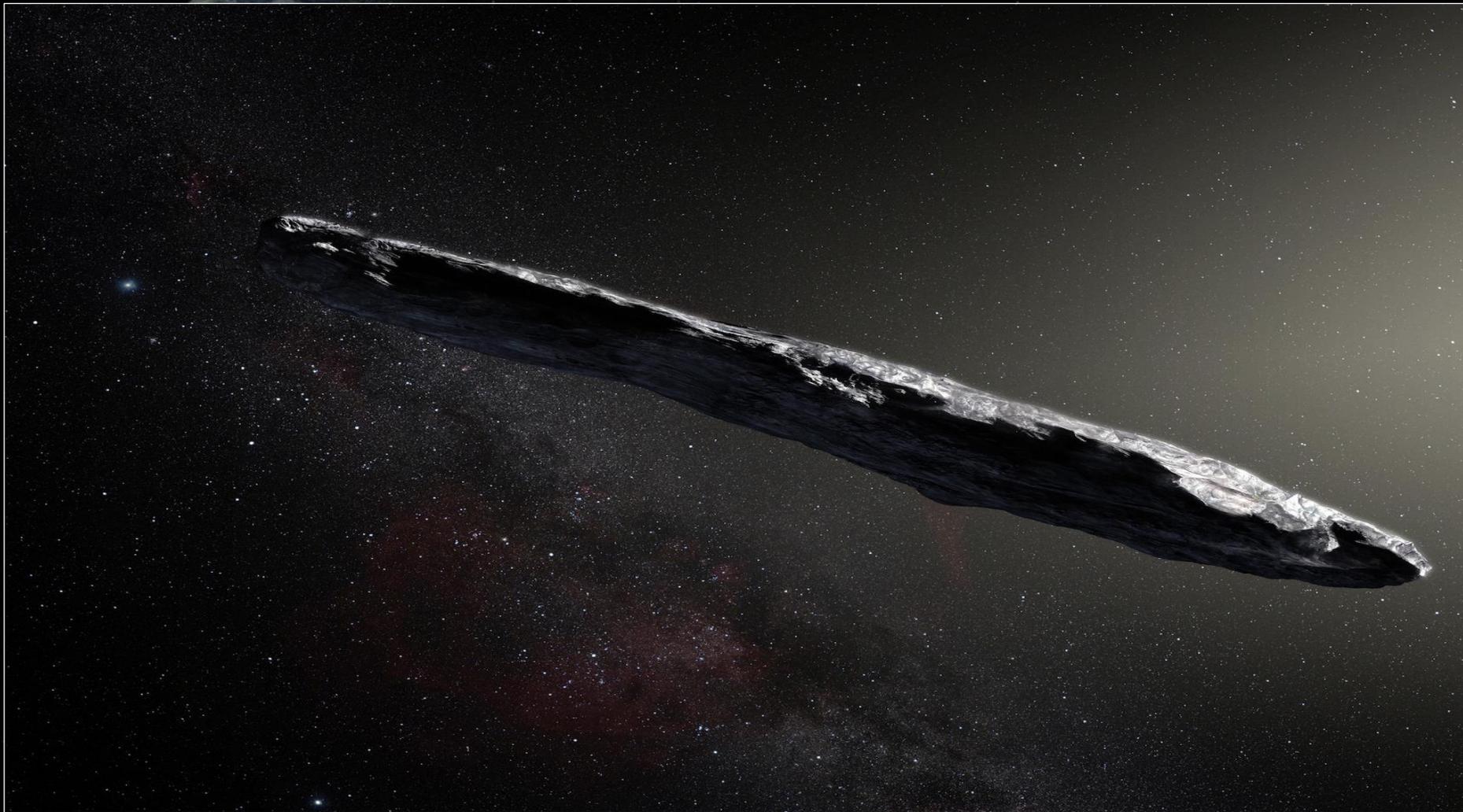
Explosionen von Nuklearsprengkörpern auf einem Asteroiden wurden verworfen, wir bräuchten eine gewaltige Detonationsenergie und zusätzlich würden viele Fragmente, deren Bahnen nicht berechenbar sind, entstehen.

Eine seitliche Detonation, um ihn aus der Bahn zu lenken, könnte jedoch praktikabel sein.

Von den US-amerikanischen und den europäischen Weltraumbehörden werden aktuell verschiedene Konzepte studiert. Beispielsweise:

NASA	ESA
<p>Eine Sonde mit einem großen Sonnensegel soll die Energie auf einen Punkt des Asteroiden fokussieren und so Materie von ihm verdampfen und einen Rückstoß bewirken</p> <p>→ Könnte Objekte mit einem max. Durchmesser von 500 m aus der Bahn lenken.</p>	<p>Projekt „Don Quijote“: 2 Sonden (Sancho and Hidalgo) werden zum Asteroiden geschickt.</p> <p>Hidalgo würde ihn als ein 4 t schwerer Impaktor treffen, während Sancho Daten sammelt.</p> <p>→ Könnte Objekte mit einem Durchmesser von bis zu 1 km aus der Bahn lenken.</p>

Oumuamua: Ein fliegendes Rätsel im All



Oumuamua: Ein fliegendes Rätsel im All Hawaiianisch „der Kundschafter“

Am 19. Okt. 2017 entdeckt, ist er das erste interstellare Objekt, das wir in unserem Sonnensystem entdeckt haben. Neue Berechnungen weisen auf das System Wega als Ursprung hin (25 ly entfernt).

- Er weist keine Ähnlichkeiten zu Asteroiden und Kometen im Sonnensystem auf.
- Länge etwa 400 m.
- Kein Staub in der Umgebung (sehr untypisch).
- Viel schneller als jede irdische Raumsonde (87 km/s).
- SETI-Wissenschaftler konnten keine Signale entdecken.
- Beschleunigt unerwartet schnell, obwohl es kein ausgasendes Eis gibt.

Was glaubst du, um was für ein Objekt handelt es sich dabei?

Wieviel Sonnenbrand verträgt die Erde?

Abb.: NASA/Goddard Space Flight Center

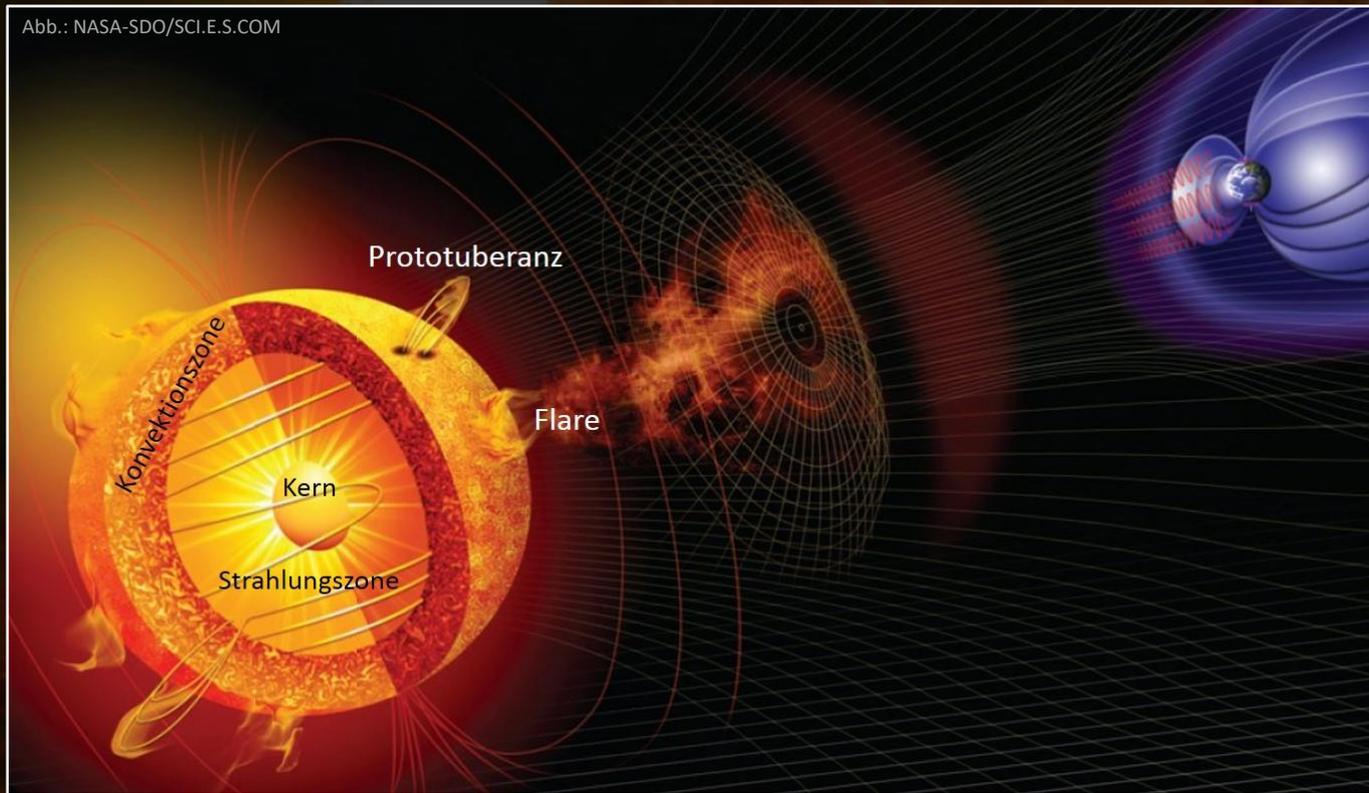
[Zurück zum Inhaltsverzeichnis...](#)

Wieviel Sonnenbrand verträgt die Erde?

Wenn die Sonne aufstößt...

Abb.: NASA/Goddard Space Flight Center

Begriffe wie Sonnenstürme, solare Eruptionen, Flares, eruptive Protuberanzen und koronale Massenaufwürfe bezeichnen potentielle Gefahrensituationen für die Erde.



Sie werden auf einer logarithmischen Skala nach ihrer Röntgenstrahlungsenergie in die Klassen A, B, C, M und X unterteilt. Die Intensität innerhalb einer Klasse wird mit einem Wert zwischen 1,0 und 9,9 festgelegt. Erreicht der Wert 10,0, wird er der nächsten Klasse zugeteilt. In der Klasse X sind auch Werte größer als 10 möglich.

Komet Hale-Bopp

Der Gasschweif eines Kometen zeigt immer von der Sonne weg, während sich der Staubschweif entlang der Bahn des Kometen erstreckt.

Der Grund dafür ist der Sonnenwind, der die Partikel „mitreißt“.



Abb.: ESO/E. Slawik

Protuberanzen...

Abb.: NASA/Goddard Space Flight Center

Ruhende Protuberanzen:

Im Gegensatz zu den eruptiven Protuberanzen, welche ein eher kurzlebiges Phänomen (10-90 Minuten) sind, bleiben die ruhenden Protuberanzen oft monatelang erhalten.

Am besten lassen sich Protuberanzen während einer **totalen Sonnenfinsternis** beobachten, bei denen sie als große Bögen erscheinen, die weit ins Weltall hinausragen. Oft haben sie eine Länge von einigen 100.000 km, Höhen bis 40.000 km und 5.000 km Dicke. Besonders starke Ströme können auch über eine Million Kilometer weit aufsteigen.

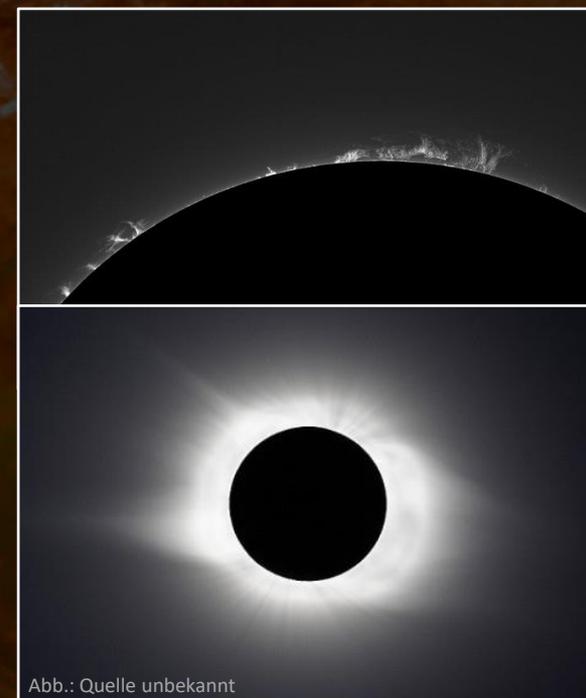
Am Wiener Institut für Astrophysik haben Sonnenfinsternis-Beobachtungen eine lange Tradition.



Abb.: SCI.E.S.COM

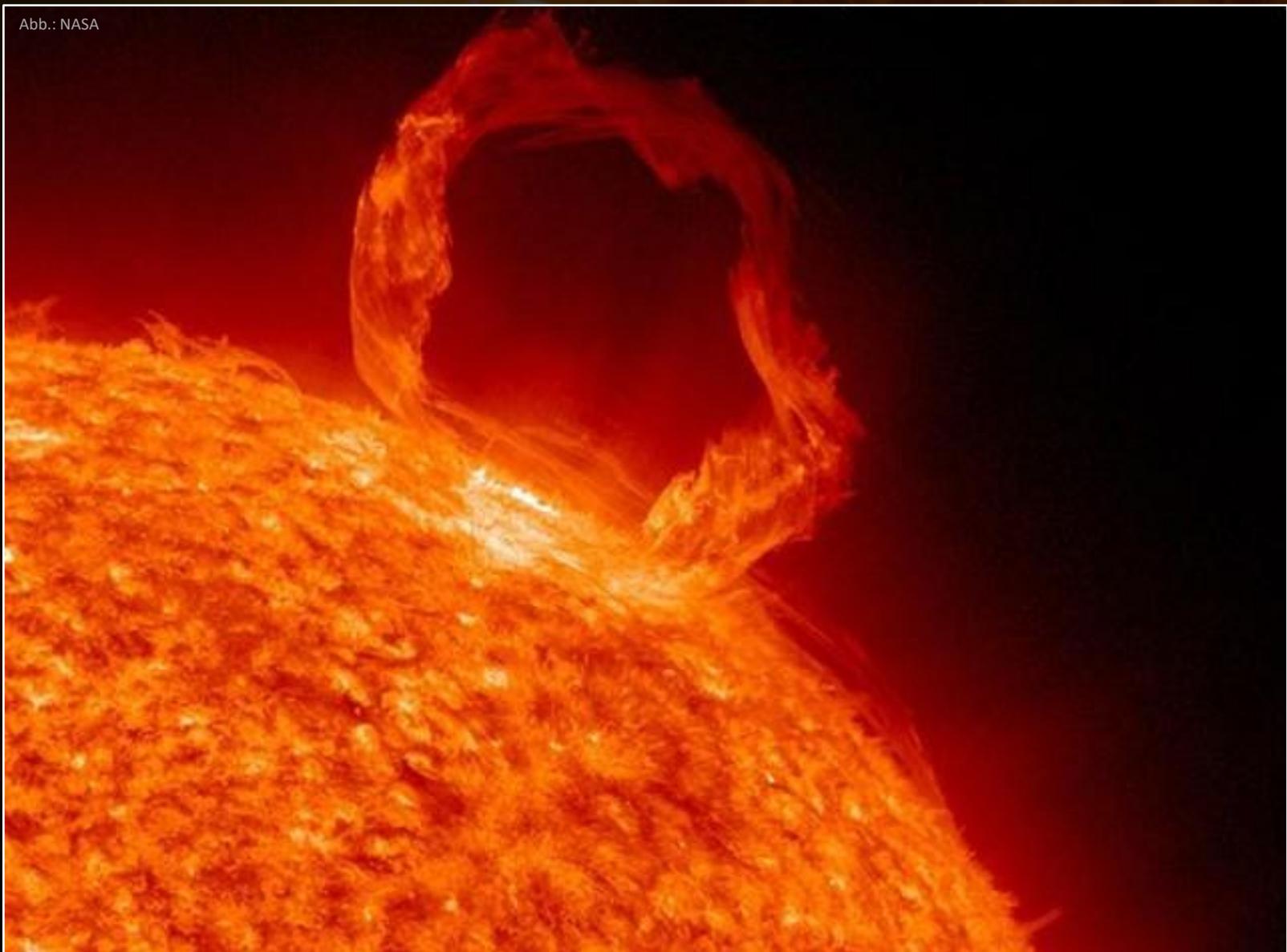


Abb.: SCI.E.S.COM



Protuberanzen...

Abb.: NASA/Goddard Space Flight Center



Eruptive Protuberanzen/koronale Massenauswürfe:

Grundsätzlich handelt es bei Protuberanzen um Gebiete erhöhter Strahlung in der Chromosphäre (zwischen Photosphäre und Korona) der Sonne. Diese werden durch lokale Störungen des Sonnenmagnetfeldes verursacht und sind häufig bei Sonnenflecken lokalisiert.

Die Häufigkeit von koronalen Massenauswürfen ist eng an die Sonnenaktivität gekoppelt. Im Sonnenfleckenminimum sind sie deutlich seltener als im Sonnenfleckenmaximum. Die durchschnittliche, tägliche Häufigkeit schwankt von 0,5 Ereignissen im Minimum bis zu 6 Ereignissen im Maximum der Sonnenflecken.

Zwischen 1-4 Tage braucht diese Materie durchschnittlich zur Erde.

Manchmal aber auch nur 15 Minuten.

→ **Das bedeutet eine geringe Vorwarnzeit, und manchmal geht es auch viel schneller...**



Abb.: NASA/SDO

Protuberanzen...

Abb.: NASA/Goddard Space Flight Center

Sonnenflecken und damit auch die relative Häufigkeit von Protuberanzen stehen auch mit dem Klima auf der Erde im Zusammenhang!

Noch nicht vollständig geklärt ist dabei aber in welchem Ausmaß!

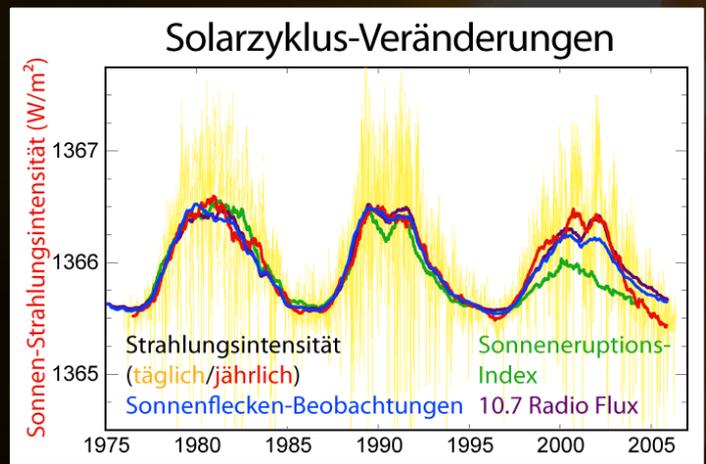


Abb.: Wikipedia-Xavax

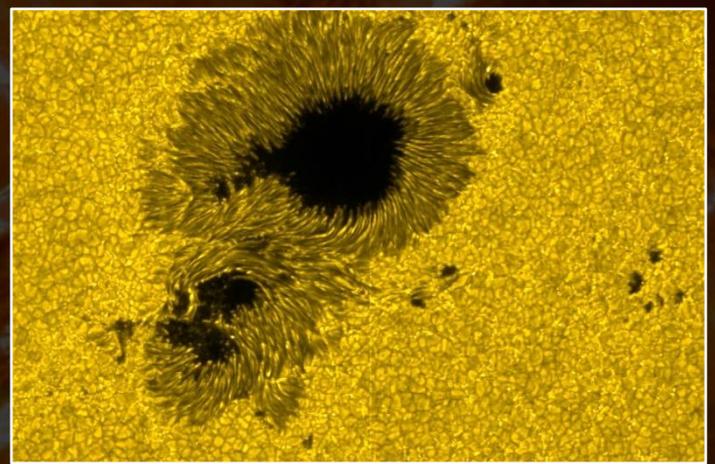


Abb.: JAXA/NASA-Hinode

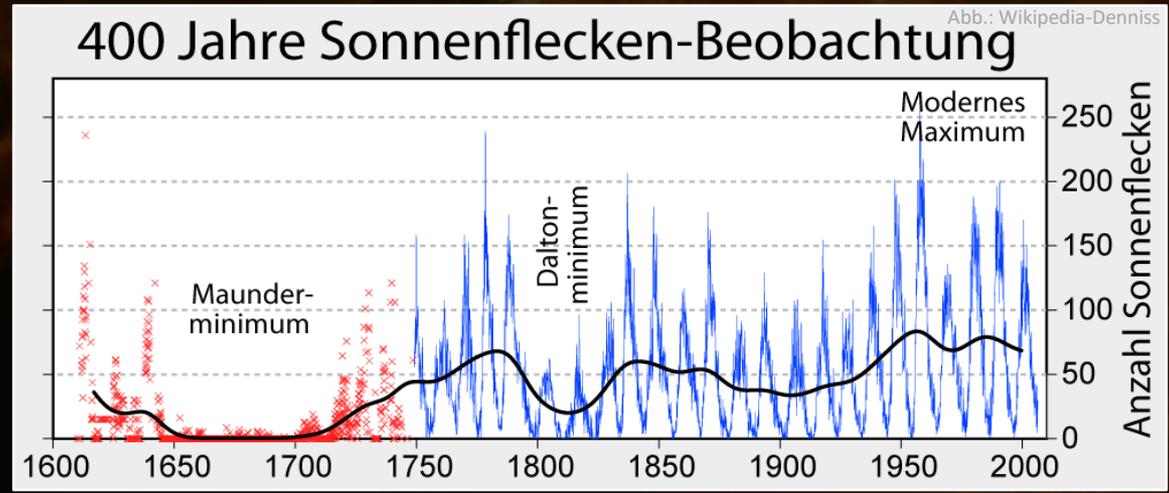


Abb.: Wikipedia-Dennis

Eruptive Protuberanzen/koronale Massenauswürfe:



Abb.: NASA SDO



Abb.: ESA/NASA

[NASA-SDO Video zum Ausbruch eines Flare](#)

Welches Gefahrenpotential verbirgt sich hinter Protuberanzen:

Besonders **mächtige Massenauswürfe komprimieren das Erdmagnetfeld:**

- Das Magnetfeld ändert sich, und wie wir wissen erzeugt ein sich veränderndes Magnetfeld Strom.
- Elektrische Leiter auf der Erde können riesigen Überspannungen ausgesetzt sein. Es besteht Gefahr für Stromleitungen, aber auch für Kraftwerke...

Große Mengen an Gamma- und insbesondere Röntgenstrahlung treten auf, vor der uns aber die irdische Atmosphäre schützt:

Ein Astronaut, der sich während eines Sonnensturms außerhalb der ISS aufhält, würde die tausendfache Dosis einer Röntgen-Untersuchung erfahren → Schädigungen der Zellen und der DNA.



Abb.: IAEA: ISO 21482

Die Elektronik von Satelliten kann zerstört werden (Metalle werden ionisiert), militärische Satelliten sind meistens dagegen geschützt, zivile meistens nicht (schon viele Verluste).

Die obere Atmosphäre erhitzt sich, und dehnt sich aus, in die Bereiche wo es bereits Satelliten gibt. → Der plötzliche Luftwiderstand lässt die Orbits absinken. → Verglühungsgefahr!

Die Strahlung führt auch zu Schädigungen der Ozonschicht. 1859 verringerte sich diese um mehrere Prozent.

Welches Gefahrenpotential verbirgt sich hinter Protuberanzen:

Am **1. Sept. 1859** wurde die erste Sonneneruption beobachtet, sie dauerte 5 Minuten und war eine der stärksten jemals detektierten Protuberanzen. Bereits wenige Stunden nach dem Ausbruch spielten Messinstrumente (Magnetometer) auf der Erde verrückt und verzeichneten riesige Fluktuationen. Einige Telegrafestationen gingen sogar in Flammen auf. Die Energie, die bei einer solchen eruptiven Protuberanz frei wird, entspricht etwa 15 Mrd. Mt TNT.

Am **6. März 1989** ereignete sich ebenfalls ein gigantischer Sonnensturm. Innerhalb von 2 Wochen fanden 236 Sonneneruptionen (davon ein Viertel der Kategorie X) statt. Neben Problemen bei der Schiffsnavigation und bei Chip-Herstellern kam es auch zu Bahnstörungen bei Satelliten. Ein Militärsatellit ging dadurch verloren.

Am 13. März kam es auf der Erde zum Höhepunkt. Gigantische Spannungsschwankungen traten auf, in New Jersey wurde der Transformator einer Kraftwerkes zerstört. Auch in Kanada kam es zu derartigen Problemen und mitten im Winter standen plötzlich 6 Millionen Menschen ohne Stromversorgung dar. Der Gesamtschaden belief sich auf mehrere Milliarden EUR.

Etwa 3-4 Mal pro Jahrhundert kommt es zu so einem Sonnensturm wie im Jahr 1989.

Welches Gefahrenpotential verbirgt sich hinter Protuberanzen:

Am **23. Juli 2012** fand der bisher mächtigste Sonnensturm – seit es Aufzeichnungen gibt – statt, glücklicherweise hat er die Erde um eine „Woche“ verpasst.

Wenn uns diese Eruption getroffen hätte, dann wären die Schäden auch heute noch allgegenwärtig. Wir hätten praktisch alle Satelliten verloren und JEDES elektrische Gerät auf der Erde wäre zerstört worden.

Nur in den USA wäre ein Schaden von 2 Billionen US-Dollar entstanden.

Als Spezies hätten wir dieses Ereignis überlebt, doch das 21. Jahrhundert wäre vorbei gewesen.

Eine aktuelle Studie der NASA geht von einer Wahrscheinlichkeit von 12 % aus, dass die Erde von 2012-2022 von einem vergleichbaren Sonnensturm getroffen wird.

Aber selbst ein Sonnensturm wie von 1859 könnte auf 10 Jahre hinaus Satelliten und Raumfahrt unmöglich machen, da es zu einer mittelfristigen Deformierung des Erdmagnetfeldes kommen kann.

Doch irgendwann ist es auch im günstigsten Fall vorbei: Die Zukunft der Sonne

Alter der Sonne: etwa 4,6 Mrd. Jahre

In etwa 5 Mrd. Jahren (wenn die Fusion im Inneren der Sonne endgültig zum Erliegen kommt) wird die Sonne zu einem **Roten Riesen** (Kontraktion der inneren Bereiche und Expansion der Gashölle auf mehrere 100 Sonnenradien). Die Dichte der Gashölle wird immer weiter abnehmen, bis sie in weiterer Folge völlig abgestoßen wird.

Mit einem Alter von 11-12 Mrd. Jahren wird die Sonne zu einem **Weißem Zwerg**: In etwa von der Größe der Erde besteht sie nur mehr aus dem ehemaligen heißen Kern der Sonne.

Dieser wird sich immer weiter abkühlen, bis er (vermutlich) einmal zu einem **schwarzen Zwerg** werden wird, umgeben von einem **planetaren Nebel** (1.500 solche Nebel sind in der Milchstraße aktuell bekannt). Doch noch ist das Universum nicht alt genug, dass es schwarze Zwerge geben könnte.

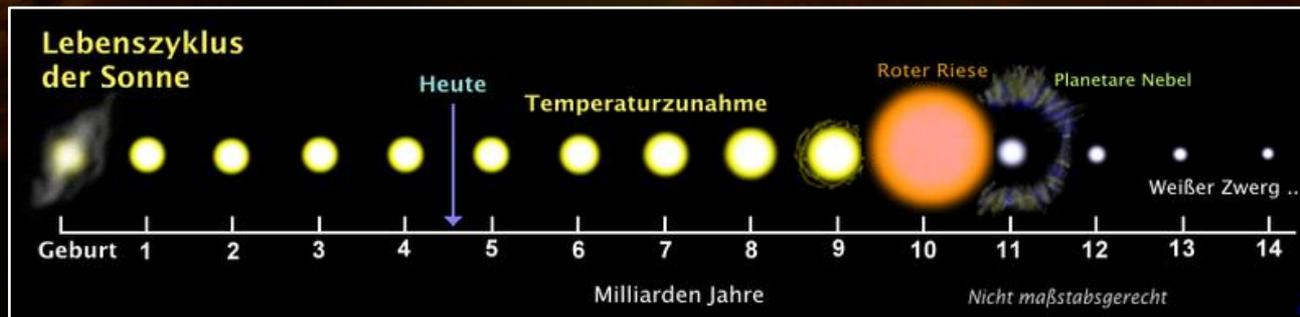


Abb.: Wikipedia- Tablizer (Dt. Übersetzung: Ribald)

Der Katzenaugennebel, NGC 6543 (ein planetarer Nebel):



Supernovae...

4. Juli, 1054 n. Chr., Sternbild Stier – ein Überraschungsgast erhellt den Himmel:

Chinesische Astronomen beobachteten das Auftauchen eines neuen „Sterns“, der heller war, als die Venus und sogar tagsüber beobachtet werden konnte.

Die Venus selbst ist nach der Sonne und dem Mond schon das dritthellste Objekt am Himmel.

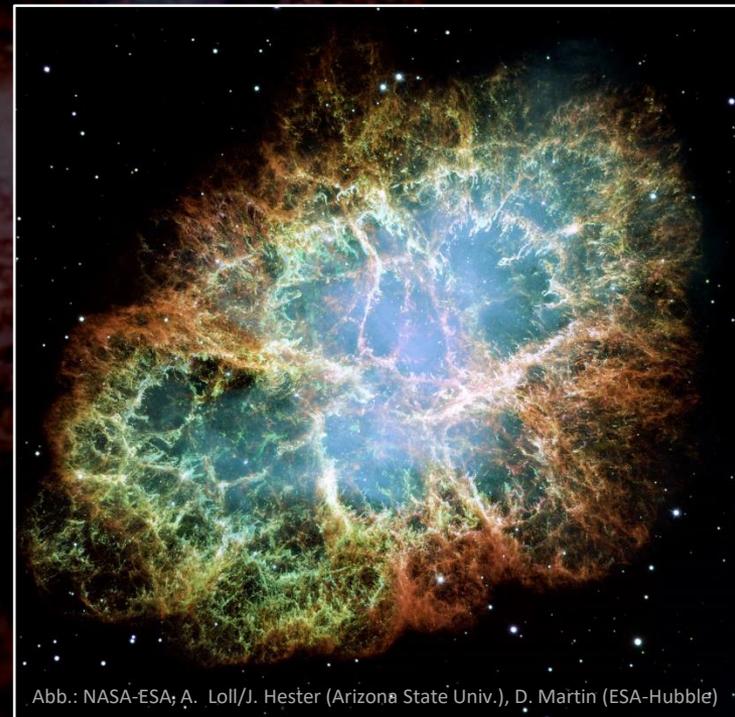
Aber auch Astronomen aus anderen Kulturkreisen rund um die Welt wurden Zeugen dieses Ereignisses.

Die Überreste sind bis heute sichtbar – der **Krebsnebel** (6.500 Lj entfernt).

Die **Energiemenge, die bei dieser Supernova frei wurde**, entsprach der abgegebenen Energie unserer Sonne **während einer Zeit von 10 Milliarden Jahren.**

Unglaubliche Mengen an Infrarot-, UV-, Röntgen- und Gammastrahlung wurden freigesetzt.

Glücklicherweise fand dieses Ereignis 90 Millionen Mal weiter weg statt, als die Sonne von der Erde entfernt ist.

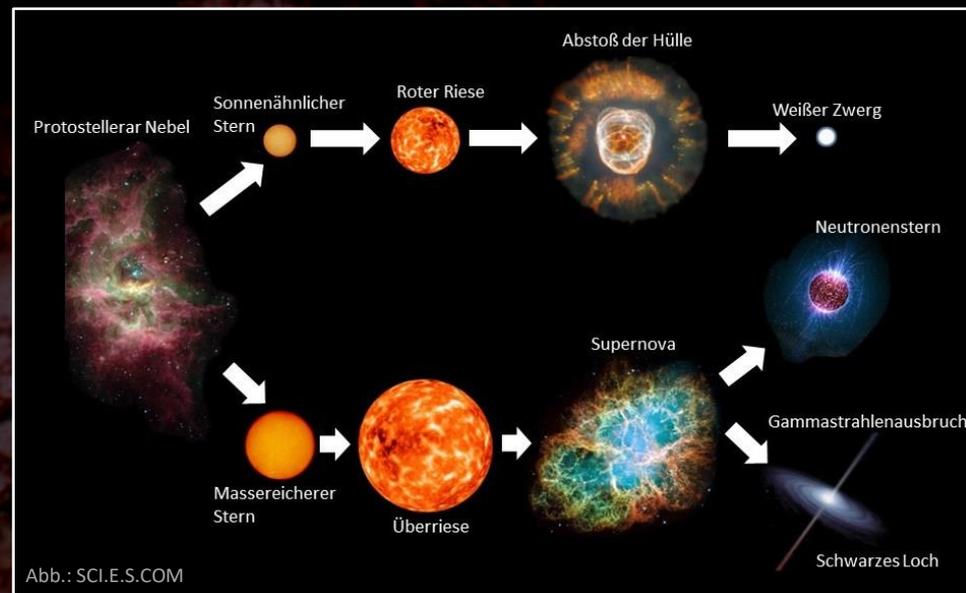


Wie entsteht eine Supernova?

Eine Supernova ist ein schnell eintretendes, helles Aufleuchten eines Sterns am Ende seiner Lebenszeit.

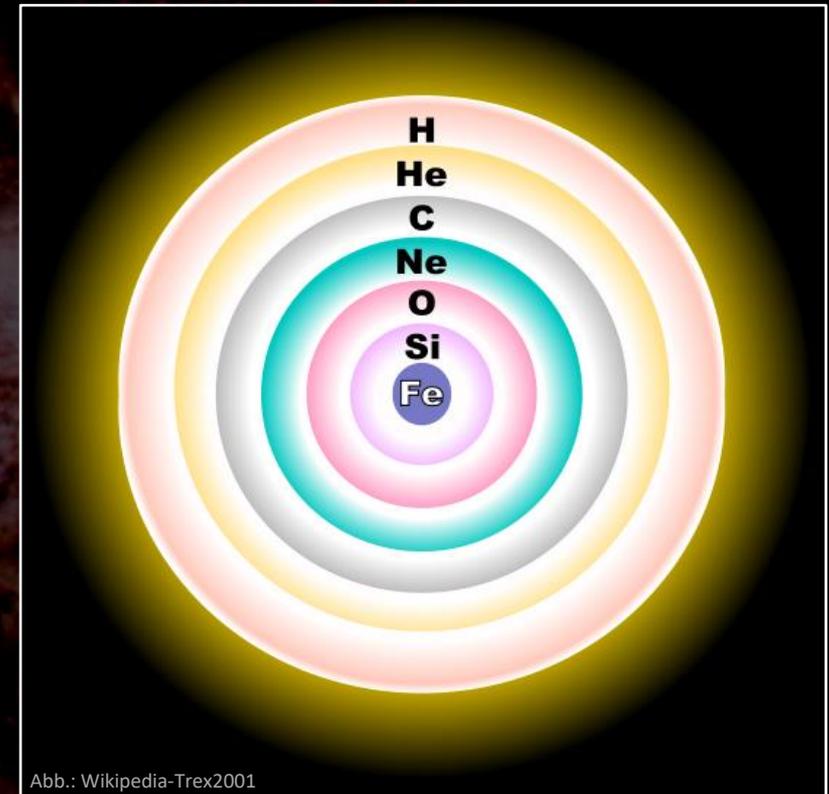
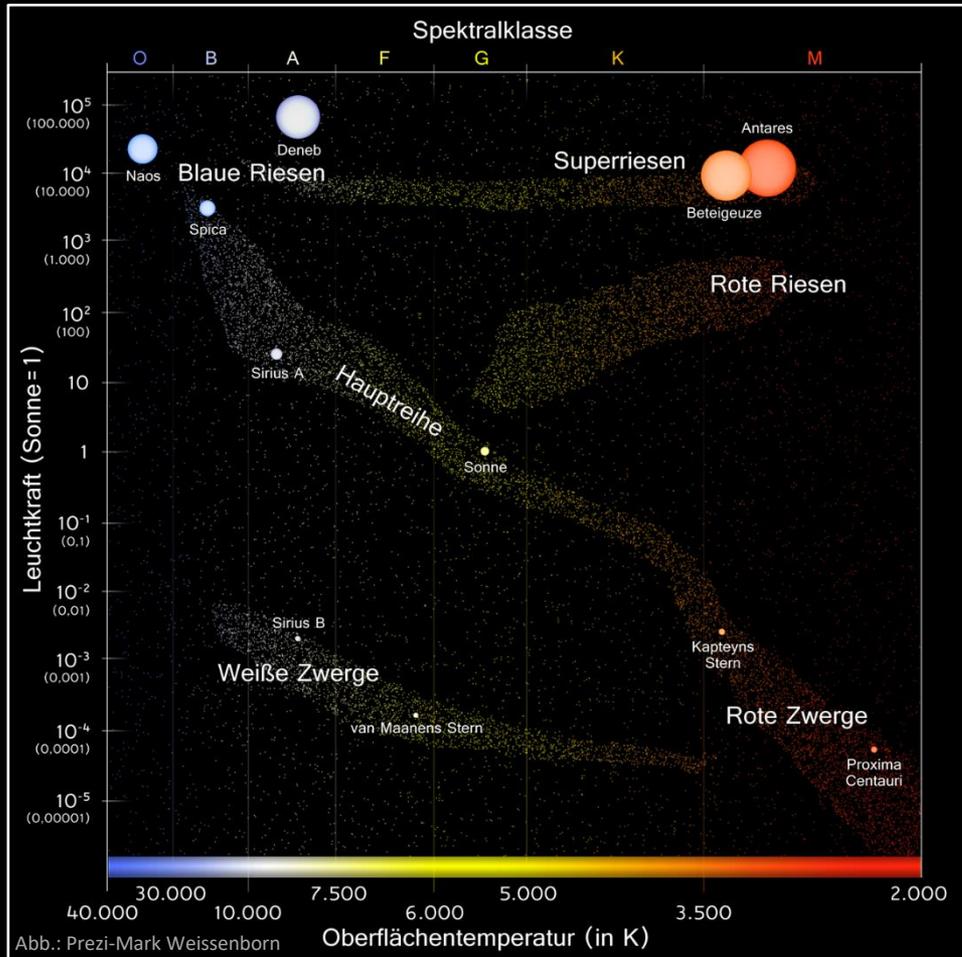
2 Pfade zur Supernova (SN):

- 1) Besonders massereiche Sterne (8-10 Sonnenmassen)
- 2) Sterne (weiße Zwerge) mit geringer Masse, die Material von ihrem Begleiter akkretieren und in der Folge durch ihre Eigengravitation kollabieren (Supernova vom Typ Ia)



Supernovae sind kein seltenes Phänomen: es können mehrere hundert jedes Jahr beobachtet werden. In der Milchstraße finden etwa 20 ± 8 pro Jahrtausend statt. Im gesamten Universum finden etwa 30 Supernovae pro Sekunde statt.

Aus dem Leben eines Sterns:



Supernovae Typ Ia:

Wenn der Brennstoff im Kern verbraucht ist, sinkt der Druck im Inneren des Sterns und der Stern beginnt in sich zusammenzufallen. Dies führt zu einer erneuten Erhöhung der Temperatur und Dichte und erneuter Fusion.

In weiterer Folge und aufgrund von verschiedenen physikalischen Zerfallsprozessen sinkt immer mehr Masse in den Kern, bis es zum Kollaps kommt...

Allerdings gibt es noch viele Unklarheiten und es werden auch andere Vorläufertypen diskutiert, z.B.:

- ein weißer Zwerg,
- ein planetarischer Nebel, oder
- ein Doppelsternsystem mit 2 weißen Zwergen

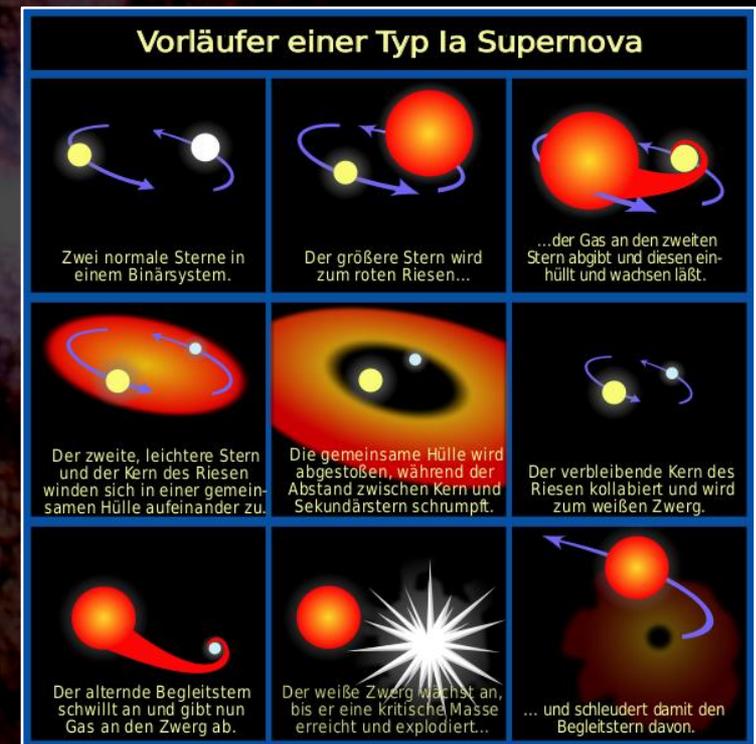


Abb.: NASA/ESA and A. Feild (STScI)

Die Supernova **SN 2006GY** besaß 150 Sonnenmassen und hat bei ihrer Explosion etwa **20 Sonnenmassen an Nickel** in das Universum abgegeben.

Wie weit weg ist weit genug...

Abb.: ESA/Hubble-NASA

Unglaubliche Mengen an Infrarot-, UV-, Röntgen- und Gammastrahlung werden freigesetzt...

**Wie weit weg von einer Supernova sind wir
auf der sicheren Seite?**

Wie weit weg ist weit genug um außer Gefahr zu sein?

1) Helligkeit:

Um die Helligkeit des Vollmonds zu erreichen, müsste die Supernova innerhalb einer Distanz von **500 Lj** stattfinden. Eine solche Helligkeit hätte direkten Einfluss auf Fauna und Flora.

Doch selbst dann wäre sie nur als ein heller Lichtpunkt, der die Augen tränen lassen würde, zu beobachten.

Um die Helligkeit der Sonne zu erreichen, müsste die Supernova 1 Lj weit entfernt stattfinden.

Als Wärmequelle ist sie zu vernachlässigen.

Ein potentieller Kandidat:

Beteigeuze (20 Sonnenmassen) und etwa 640 Lj von uns entfernt, wäre dennoch nur ein heller Punkt am Himmel. Doch irgendwann wird er vermutlich zu einer Supernova und zu einem schwarzen Loch.

Beteigeuze



Abb.: APOD/Xavier Haubois (Observatoire de Paris)

10 mas

Wie weit weg ist weit genug um außer Gefahr zu sein?

2) Neutrinos:

Obwohl Neutrinos nur minimal mit Materie wechselwirken, setzen sie bei Interaktionen mit einem Atomkern große Energien frei → DNA Schädigungen.

Um als Neutrinoquelle gefährlich zu werden müsste eine Supernova allerdings innerhalb einer Entfernung von **30 Lj** zu uns stattfinden. So nahe gibt es keine Kandidaten für eine Supernova.

Jeden Augenblick durchqueren die Erde, aber auch jeden von uns unzählige Neutrinos...
... mehrere Milliarden pro cm^2 .



Abb.: Brookhaven National Laboratory

Wie weit weg ist weit genug um außer Gefahr zu sein?

3) „Trümmerteile“:

Milliarden Milliarden Tonnen Gas und Staub werden bei einer Supernova freigesetzt, die sich anfangs mit fast Lichtgeschwindigkeit vom „explodierenden“ Stern wegbewegen. Ein Planet in der unmittelbaren Nähe wäre dem Tode geweiht.

Angenommen eine Supernova findet 10 Lj von uns entfernt statt:

Die ausgestoßene Masse entspricht durchschnittlich der 20-fachen Sonnenmasse:

- Auf die Erde würden immer noch etwa 40 Millionen Tonnen niedergehen,
- aber auf die Erdoberfläche verteilt, wären dies nur mehr 30 g/m^2 (Vgl. Regentropfen).

Wie viel würde von der Supernova von 1054 n. Chr. noch die Erde erreichen? 100 Tonnen

Diese würden theoretisch allerdings erst in mehr als 100 000 Jahren ankommen. In der Zwischenzeit bremst der interstellare Staub/Gas diese Materie so weit ab, dass sie nie auf der Erde ankommen wird.

Wie weit weg ist weit genug um außer Gefahr zu sein?

4) Gamma- und Röntgenstrahlung:

Röntgen- und Gammastrahlung wird schon in der oberen Atmosphäre abgeblockt, nicht einmal vom höchsten Gipfel der Erde aus kann sie gemessen werden.

Auf der Erde besteht also **KEINE DIREKTE GEFAHR**.

Im Orbit würde ein ungeschützter Astronaut allerdings eine tödliche Dosis erhalten, wenn die Supernova innerhalb von **3.000 Lj** stattgefunden hätte. Und dafür gäbe es einige Kandidaten.

Die auftreffende Strahlung verursacht jedoch einen Teilchenschauer, welcher schon bei einer Supernova innerhalb von **1.000 Lj** zu DNA-Schädigungen führen würde.

Innerhalb von **500 Lj** gäbe es ähnliche Auswirkungen wie bei starken koronalen Massenauswürfen.

Wenn die Supernova innerhalb von **10 Lj** stattfinden würde, dann würde die gesamte Atmosphäre ionisiert werden.

Wie weit weg ist weit genug um außer Gefahr zu sein?

4) Gamma- und Röntgenstrahlung:

Und wie wirkt sich die Absorption der Strahlung auf die Atmosphäre aus?

Die hochenergetische Strahlung würde die Ozonschicht zerstören. Manche Modelle sagen innerhalb von 100 Lj, manche innerhalb von 25 Lj.

Wir wurden schon (mindestens) einmal getroffen:

Rein statistisch hätte die Erde bereits 3-mal seit ihrem Bestehen Zeugin von Supernovae innerhalb einer Distanz von 25 Lj werden müssen.

2004: Eine Gesteinsprobe aus dem pazifischen Ozean zeigt hohen Gehalt an ^{60}Fe Isotopen: Auf der Erde ist dieses Isotop äußerst selten, so dass die hohe Konzentration dadurch nicht erklärt werden kann.

Das Isotop ist aber ein Bestandteil der Trümmerwolke einer Supernova, deswegen vermuten wir heute, dass dieses ^{60}Fe außerirdischen Ursprungs ist. Alter der Supernova: 2,8 Millionen Jahre, maximale Entfernung: 50 Lj

Dennoch: Es gibt keine Hinweise auf ein irdisches Massensterben zu dieser Zeit.

**Der wahrscheinlichste Kandidat bleibt:
Beteigeuze (640 ± 150 Lj), 20 Sonnenmassen
... in den nächsten tausend bis hunderttausend Jahren**

Gammastrahlen- Blitze...

Wir schreiben ... die 60er Jahre:

Inmitten des kalten Krieges testeten sowohl die USA als auch die damalige UdSSR sowohl unter- als auch oberirdisch verschiedene Nuklearwaffen.

1962 testete die USA im Weltraum, in einer Höhe von 400 km über einem abgelegenen Fleck im Pazifik einen Atomsprengkopf namens „**Starfish Prime**“.

Obwohl dieser „nur“ einen Detonationswert von 1,4 Mt TNT besaß, wurde dadurch ein gewaltiger Gammastrahlenimpuls ausgelöst, welcher weiters zu einem elektromagnetischen Impuls (EMP) führte.

Auf Hawaii (1.500 km entfernt) erlosch dadurch die Straßenbeleuchtung, Hochspannungskabel schmolzen und TV- und Radiogeräte hatten Kurzschlüsse.

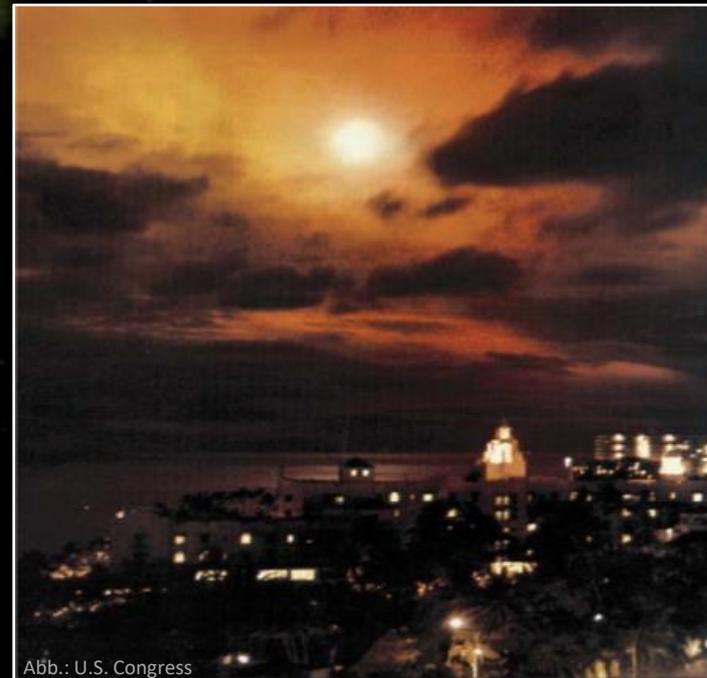


Abb.: U.S. Congress

Die Starfish Prime-Explosion in der oberen Atmosphäre, von Hawaii aus beobachtet.

Wir schreiben ... die 60er Jahre:

Im August **1963** unterzeichneten die beiden Supermächte das historische Atomteststopp-Abkommen für Nuklearwaffen, welches auch derartige Versuche im Weltraum verbietet.

Dennoch herrschte kein blindes Vertrauen und US-amerikanische Wissenschaftler spekulierten, ob die UdSSR deren Atomwaffen vielleicht auf der erdabgewandten Seite des Mondes testen würden.

Dadurch wären Sie nur schwer nachweisbar gewesen, zumindest im optischen Bereich, die entstehende Gammastrahlung wäre aber dennoch vorhanden.

Die Gammastrahlung kann die Erdatmosphäre nicht durchdringen, für den Nachweis der Gammastrahlung bedarf es also Detektoren an Bord von Satelliten.

Die Entdeckung der Gammastrahlenblitze...

Abb.: NASA/SWIFT/M. P. Hrybyk-Keith, J. Jones

Wir schreiben ... die 60er Jahre:

Die Gammastrahlung kann die Erdatmosphäre nicht durchdringen, für den Nachweis der Gammastrahlung bedarf es also Detektoren an Bord von Satelliten.

Man suchte eine Lösung für das Problem, wie man feststellen könne, ob die Gammastrahlung von der Sonne oder von einem sowjetischen Atomsprengekopf kommt.

→ Wenn Satelliten paarweise hochgeschossen werden würden, besitzt man eine „Versicherung“, dass es sich nicht um einen Atomwaffentest handelt. Denn ein einzelner Satellit könnte auch zufällig Gammastrahlung detektieren (verursacht durch eine Kollision mit Gammateilchen).

Nur wenn beide Satelliten einen Anstieg der Gammastrahlung detektieren, wäre dies ein Indiz für sowjetische Waffentests.

Nur kurze Zeit später wurde das erste Satellitenpaar „**Vela**“ (span.: velar: bewachen) in den Orbit geschossen (nur wenige Tage nach Unterzeichnung des Abkommens).

Diese Satelliten wurden schnell immer ausgereifter, 1967 gab es schon die 4. Generation.

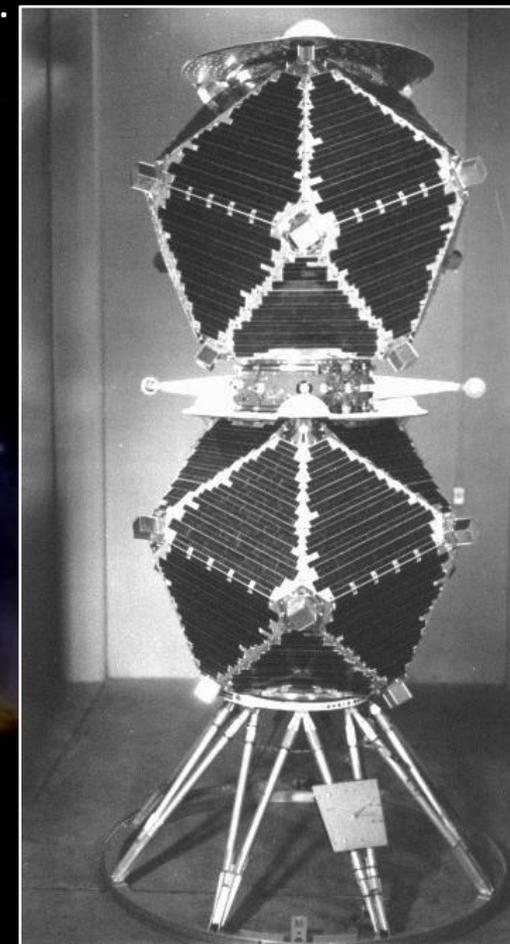


Abb.: U.S. Air Force

Wir schreiben ... die 60er Jahre:

2. Juli 1967: Beide Vela-4 Satelliten erfassten ein Gammastrahlenereignis und ein Vergleich mit den Überwachungen der Sonneneruptionen schlossen diese als Ursache aus. Auch die alte Vela-3 Generation hatte das Ereignis gemessen (aber erst 1969 lagen aber diese Daten vor).

Durch die eigenen Tests wussten die US-Amerikaner jedoch, dass die Quantität der Strahlung bei Atomwaffenversuchen eine gänzlich andere ist, als die detektierte
→ es war also völlig unklar, was für die gemessene Strahlung verantwortlich war.

Die Vela-4 Satelliten waren noch nicht in der Lage den Ursprungsort auszumachen, so dass ein Detonationsort auf der **erdabgewandten Seite des Mondes nicht auszuschließen** war. Die Strahlung könnte aber **auch von sonst wo im Universum** stammen.

Im Laufe der nächsten Jahre und mit verbesserten Vela-Satelliten gelang es noch mehrere solcher Ereignisse festzuhalten, die Ortung des Ursprungsortes war aber verwirrend, denn es waren immer x-beliebige Stellen im All.

1973 gab es erstmals genug Datenmaterial (16 Gammastrahlenausbrüche), so dass diese Daten veröffentlicht werden konnten und auch anderen Wissenschaftlern zugänglich gemacht wurden. **Bis 1979 wurden über 70 Ausbrüche detektiert.**

Die Daten blieben unerklärlich...

Viele Wissenschaftler stürzten sich auf die Messungen und eine Vielzahl von Theorien wurde überprüft. Das Hauptproblem war, dass es Wochen bis Monate dauerte, bis die Daten ausgewertet waren, die Ereignisse aber schon nach wenigen Sekunden wieder viel schwächer wurden.

Auch die Ursprungsrichtung konnte mit den Vela-Satelliten nur sehr grob bestimmt werden.

Erst **1991** gab es mit dem **NASA Compton Ray Observatory** eine wirkliche Verbesserung und bis zum Jahr 2000 wurden über 2.700 Ausbrüche detektiert.



Mit diesem Datenmaterial konnte gezeigt werden, dass **die Ereignisse nicht nur in der Milchstraße** auftauchen, sondern gleichförmig über den Himmel verteilt sind.

2 verschiedene Arten von Ausbrüchen:

-) kurze (< 2 Sek.)
-) lange (> 2 Sek.), manchmal sogar Minuten

Die Entdeckung der Gammastrahlenblitze...

Abb.: NASA/SWIFT/M. P. Hrybyk-Keith, J. Jones

Die Daten blieben unerklärlich...

1996: Satellit Beppo SAX

Im Februar 1997 wurde eine langanhaltende Gammastrahlenexplosion beobachtet (GRB 970228) und es gelang den Ursprungsort als 9 Milliarden Lichtjahre weit von uns entfernt zu bestimmen.

Die bisher längsten Gammastrahlenausbrüche:

GRB060218: 33 Minuten

GRB110328: mehrere Wochen

Der bisher hellste Gammastrahlenausbruch:

GRB 080319: 2,5 Mio. mal heller als die bisher leuchtstärkste Supernova. Er war mit bloßem Auge sichtbar, aber zum Glück 7,5 Milliarden Lj von uns entfernt.

Es bleibt die Frage: Was für ein Ereignis kann eine derart große Energie freisetzen?

Wie entsteht ein Gammastrahlenblitz:

Wenn der Eisenkern bei der ablaufenden Supernova kollabiert, werden die Elektronen in die Protonen gepresst und Neutrinos freigesetzt.

In weiterer Folge verwandelt sich der ganze Kern des Sterns in ein „**Neutronenmeer**“, mit einer extrem hohen Dichte. **Ein Löffel voll dieser Materie würde eine Milliarde Tonnen wiegen.**

→ Dadurch entsteht ein extrem hoher Druck, der die Gravitationskräfte kompensiert und dem weiteren Kollaps entgegenwirkt. Ein **Neutronenstern** ist geboren.



PSR B0833-45,
der Vela-Pulsar (ein Neutronenstern)

Abb.: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

Falls aber die **Masse des kollabierenden Kerns mehr als die 2,8fache(?) Sonnenmasse** beträgt, dann kann dieser Kollaps allerdings nicht mehr verhindert werden. Die Gravitationskräfte sind zu groß und keine Naturgewalt kann den endgültigen Kollaps mehr aufhalten...

→ Es entsteht ein **schwarzes Loch**.

Wie entsteht ein Gammastrahlenblitz:

Das schwarze Loch rotiert mit einer extrem hohen Geschwindigkeit und bildet einen Strudel, der die Materie spiralförmig nach unten (in das schwarze Loch hinein) zieht.

- Je mehr der Stern schrumpft, desto stärker wird aber nicht nur seine Anziehungskraft, sondern auch sein Magnetfeld.
- Die Schwerkraft zieht die Materie in das Loch hinein, der Drehimpuls wirkt dem entgegen und es entsteht eine **Akkretionsscheibe** um das schwarze Loch herum. Dabei werden die Magnetfelder wild verwirbelt.
- Durch das Zusammenspiel von Druck, Dichte, Schwerkraft und Magnetismus wird der Materiestrom in **zwei Strahlenbündel, Jets**, verdichtet.

Senkrecht auf die Akkretionsscheibe entstehen zwei gigantische Lichtblitze, die direkt „über“ und „unter“ dem schwarzen Loch nach außen schießen.

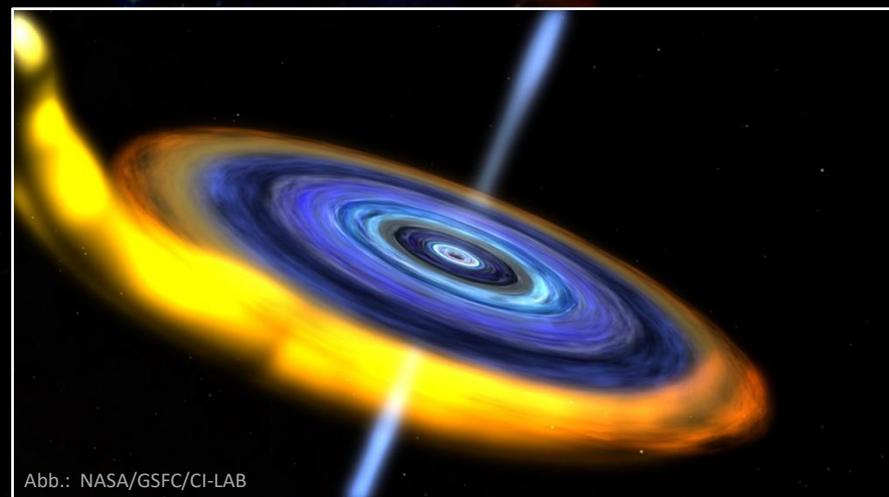


Abb.: NASA/GSFC/CI-LAB

Wie entsteht ein Gammastrahlenblitz:

Innerhalb dieser Jets wird die Materie extrem verdichtet. Die Strahlenbündel „fressen“ sich mit fast Lichtgeschwindigkeit durch den kollabierenden Stern und jegliche Materie, die ihren Weg kreuzt, wird auseinander gerissen und in ihre Bestandteile zerlegt.

Die Jets rasen auch in die den Stern umgebenden Gas- und Staubmassen und erzeugen dort (und innerhalb des Jets) gigantische Druckwellen.

Letztendlich wird die Materie also durch die Jets und durch die Magnetfelder „auseinander genommen“. Dabei entstehen gigantische Mengen an Gammastrahlung und es kommt zur **Geburtsstunde des Gammastrahlenausbruchs (einer Hypernova).**

Zusätzliche Szenarien zur Entstehung von GRBs:

- Verschmelzung von 2 Neutronensternen oder 1 Neutronenstern und 1 schwarzen Loch
- Kollaps eines weißen Zwerges, wo durch Akkretion die Chandrasekhar Grenze (die theoretische Obergrenze für die Masse eines weißen Zwerges) überschritten wurde.

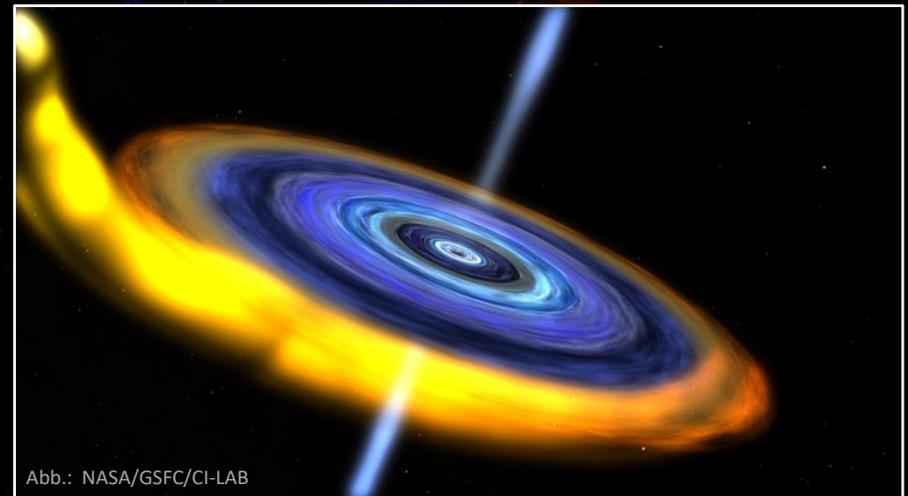


Abb.: NASA/GSFC/CI-LAB

**Jetzt stellt sich die Frage:
Wie weit weg von einem
Gammastrahlenausbruch ist es sicher genug?**

Welche Konsequenzen hätte es, wenn uns die Jets eines Gammastrahlenausbruchs treffen würden?

Gammastrahlenausbrüche sind kurzzeitig die hellsten Objekte im Universum und wir können sie nur beobachten, wenn wir uns im Kegel der Jets befinden. Einer Supernova ist vielleicht ab 25 Lj keine große Gefahr mehr, **aber die Energie eines Gammastrahlenausbruchs übertrifft die einer Supernova bei weitem.**

Szenario: Gammastrahlenausbruch 100 Lj von uns entfernt und ein Jet trifft die Erde:

Die Ausbrüche sind von relativ kurzer Dauer, aufgrund der Rotationsgeschwindigkeit der Erde würde also nur eine Hemisphäre getroffen werden, die Energiemenge entspräche jedoch dem Äquivalent von einer Atombombe mit 1 Mt TNT pro km²:

- Die Weltmeere würden zwar noch nicht verdampfen,
- auch die Atmosphäre würde nicht vollständig ionisiert werden,
- aber wer in den Himmel schaut, würde erblinden.
- Im Freien überrascht, würde alles Leben „geröstet“ werden,
- die UV-Strahlung wäre tödlich,
- die Ozonschicht blitzartig zerstört.
- Dadurch würde die Erdoberfläche sterilisiert werden (auch Ozeane bis mehrere Meter Tiefe) und
- die Gamma- und Röntgenstrahlung würde uns dann den Rest geben.

Welche Konsequenzen hätte es, wenn uns die Jets eines Gammastrahlenausbruchs treffen würden?

Glücklicherweise gibt keine Sterne innerhalb von 100 Lj mit dem Potential zu einem Gammastrahlenausbruch.

Der uns **nächste Kandidat ist Eta Carinae**, 7.500 Lj entfernt und der mit freiem Auge am weitesten von der Erde entfernte sichtbare Stern (bzw. ein Mehrfachsternsystem).

Steckbrief: Eta Carinae:

- Er besitzt mehr als das hundertfache der Sonnenmasse.
- In einer Sekunde emittiert der Stern genauso viel Energie wie die Sonne in 2 Monaten.
- 1843 schleuderte er gigantische Mengen Materie ins All (die zehnfache Sonnenmasse) und
- die Wolken dieser Explosion sind bis heute sichtbar.
- Irgendwann wird er zu einer Supernova werden, ob es allerdings auch zu einem Gammastrahlenausbruch kommt, ist noch nicht restlos geklärt.



Abb.: NASA-STScI

Welche Konsequenzen hätte ein Gammastrahlenausbruch von Eta Carinae?

- Er wäre 10 mal heller als der Vollmond, aufgrund der kurzen Dauer sind aber keine Langzeitfolgen für Fauna und Flora zu erwarten.
 - Die UV-Strahlung würde einen leichten Sonnenbrand bewirken und
 - die Gamma- und Röntgenstrahlung würde einen EMP vergleichbar zu dem von Starfish Prime auslösen. Dieser würde
 - alle nicht abgeschirmten technischen Geräte (und Satelliten) auf der ihm zugewandten Hemisphäre der Erde zerstören.
 - 35 % der Ozonschicht würde zerstört werden und die
 - Mikroorganismen, die auch die Grundlage der Nahrungskette bilden, würden in Massen sterben.
-
- In weiterer Folge würden sich Stickoxide in der Atmosphäre bilden, welche zu einer Abkühlung der Erde und vielleicht sogar zu einer neuen Eiszeit führen könnten.



Welche Konsequenzen hätte ein Gammastrahlenausbruch von Eta Carinae?

Zum Glück lässt die Geometrie der Wolken von 1843 vermuten, dass die Jets uns nie treffen würden...

Es gibt aber auch noch **WR 104**:

Dieser (Doppel-)Stern ist genauso weit entfernt und massereich wie Eta Carinae, und auch er könnte mit einem Gammastrahlenausbruch enden.

Noch gibt es hier keine Eruptionswolken, wo uns geometrische Indizien zumindest ein Gefühl von Sicherheit vermitteln könnten. Einige Untersuchungen zeigen die Möglichkeit auf, dass durch die Neigung der Rotationsachse des Sterns ein Treffer der Erde möglich sein könnte. Noch ist es aber zu früh um detaillierte Szenarien zu berechnen.

Wurden wir schon einmal getroffen?

Rein statisch: JA

Vor 440 Millionen Jahren endete das Zeitalter des Ordoviziums, als die Hälfte aller Spezies ausgelöscht wurde (streng genommen gab es damals sogar 2 Massensterben).

Für das erste Massensterben vermuten manche Wissenschaftler einen Gammastrahlenausbruch, für das zweite könnte eventuell der im Anschluss daran einsetzte Klimawandel verantwortlich sein.



Abb.: unbekannt

Obwohl all diese Gefahrenszenarien – Asteroideneinschläge, Sonneneruptionen, Supernovae und Gammastrahlenausbrüche – ein großes Gefahrenpotential in sich bergen, sind wir noch nicht unmittelbar vom Aussterben bedroht...

Aber irgendwann wird es so weit sein!

Spätestens wenn sich die Lebenszeit der Sonne dem Ende zuneigt, vermutlich aber als eine Konsequenz der Entwicklung der Sonne schon deutlich früher...



Danke für eure
Aufmerksamkeit!

