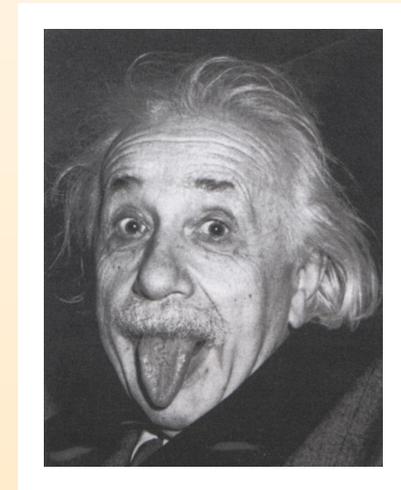
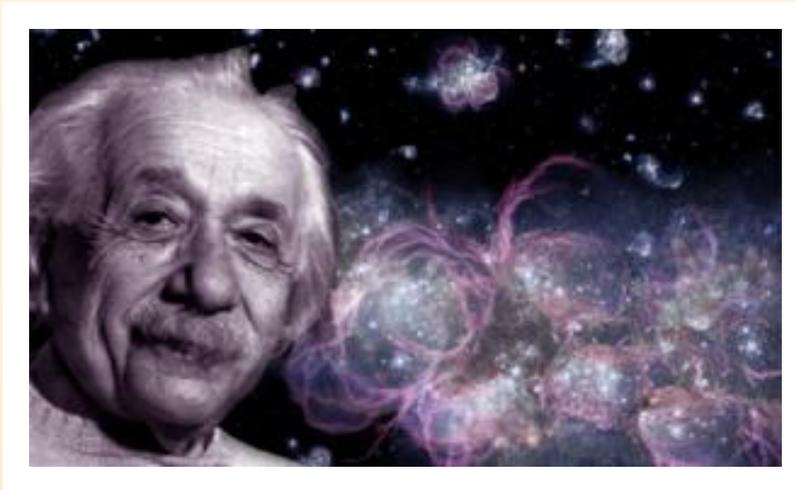


Auswirkungen der Einsteinschen Theorien

York Schröder

(Theoretische Physik / Uni Bielefeld)



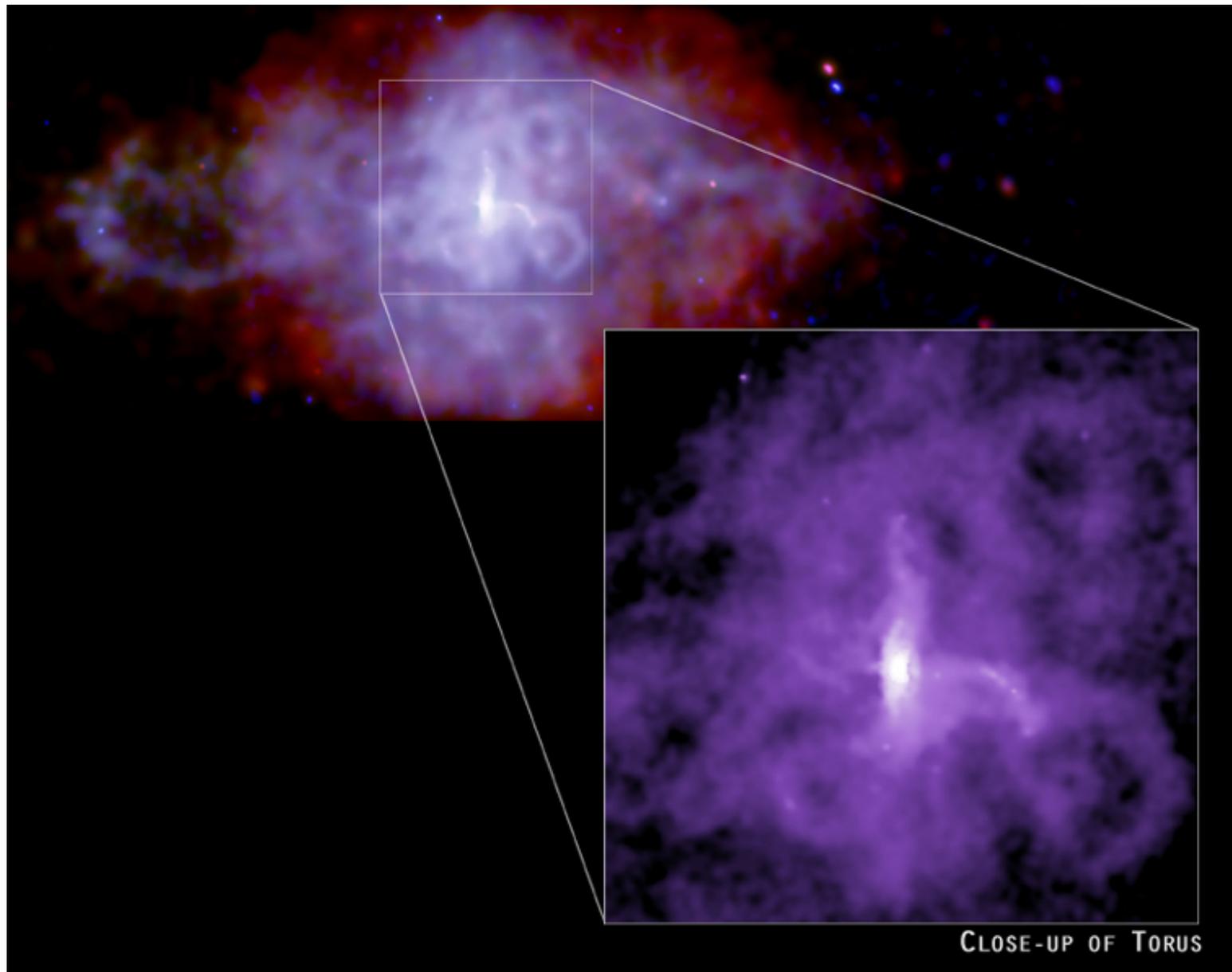
Weser-Gymnasium Vlotho, 01 Mar 2006



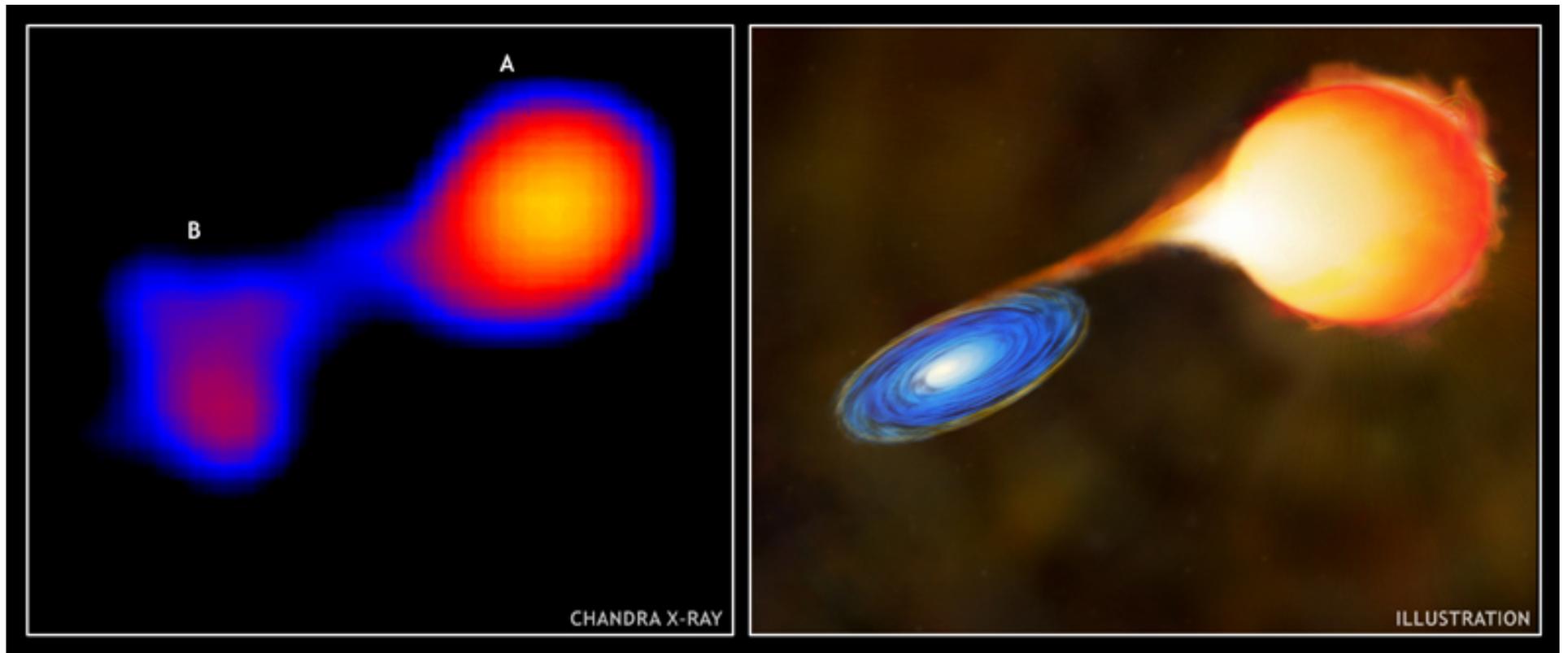
Weisser Zwerg, H1505+65. Temperatur: 200000 Grad



Neutronenstern im Krebs-Nebel. Distanz: 6000 Lichtjahre



Neutronenstern 3C58 (Rest der chin. Supernova 1181)
10000 Lichtjahre. 1000000 Grad. Gewicht: 1 TL = 1 Milliarde Tonnen



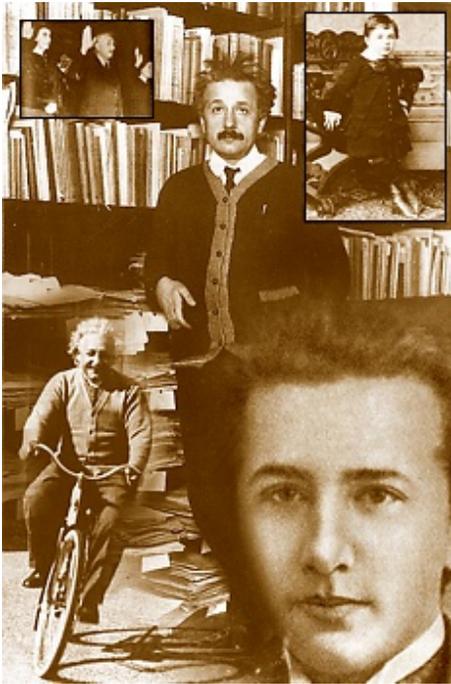
links: **Weisser Zwerg**, Mira B. rechts: **Roter Riese**, Mira A.

relativ nah: 420 Lichtjahre

Physik = Modelle der Natur formulieren

Sprache = Mathematik

Kurze Biographie AE



- 1879 Geburt in Ulm
- 1885-94 Schule in München
- 1895 Aufnahmeprüfung ETH Zürich mit 16, negativ
- 1896 Matura (Abitur) in Aargau
- 1896-1900 Studium (Lehramt Mathe/Physik) in Zürich
- 1900-02 kurze Lehraufträge, Nachhilfe etc.
- 1902 Anstellung beim Patentamt Bern

- 1905 *Annus Mirabilis*: vier wegweisende Veröffentlichungen
- 1907-13 Aufstieg in der europäischen Wissenschaft
 - ▷ *Habilitation (U Bern) 1907*
 - ▷ *Priv. Dozent Bern 1908*
 - ▷ *Außerord. Prof. Zürich 1909*
 - ▷ *Prof. Prag 1911*
 - ▷ *Prof. Zürich 1912*

Der Erziehungsrat

des
Kantons Aargau

urkundet hiemit:

Herr Albert Einstein von Illm,

geboren den 14. März 1879,

besuchte die aargauische Kantonschule & zwar die III. & IV. Klasse
der Gewerbeschule.

Nach abgelegter schriftl. & mündl. Notenprüfung am 18., 19. & 21.

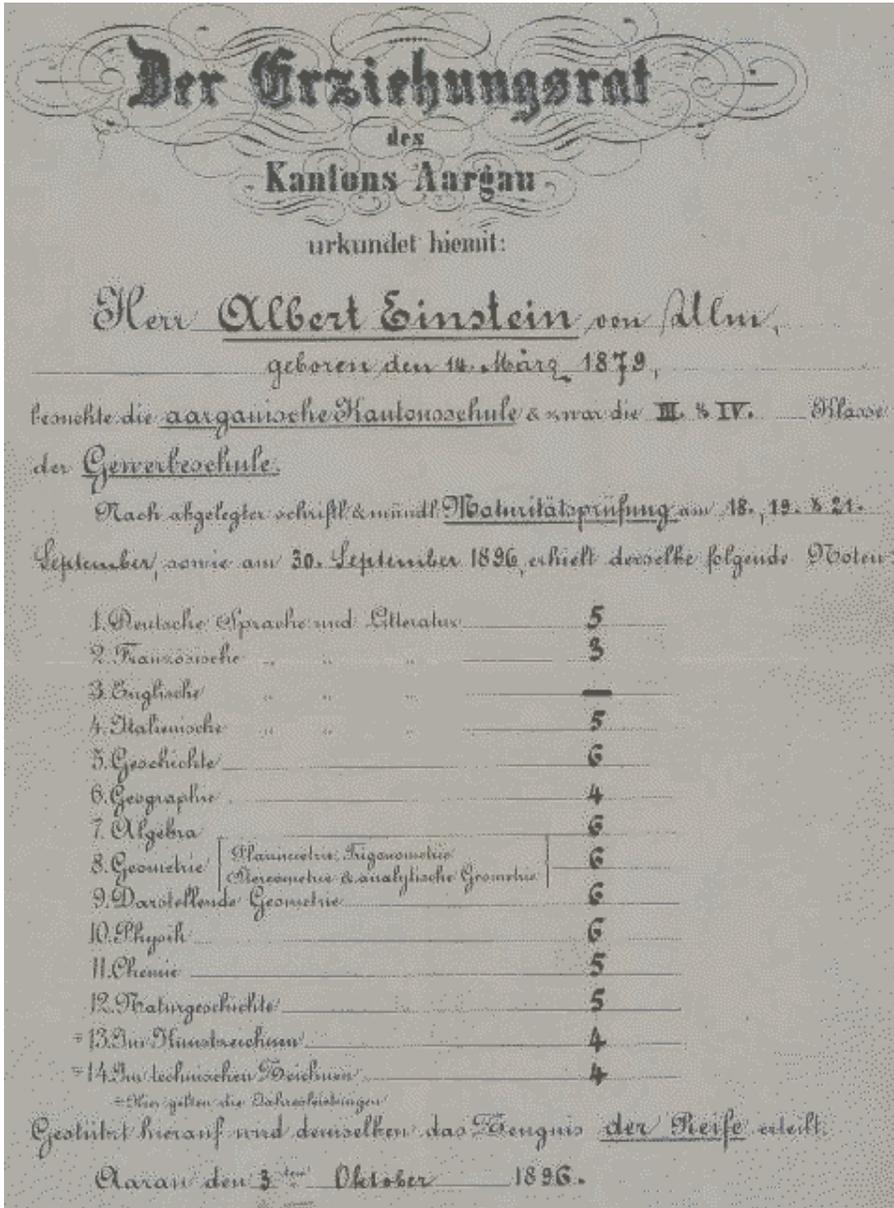
September, sowie am 30. September 1896, erhielt derselbe folgende Noten:

1. Deutsche Sprache und Literatur	5
2. Französisch	3
3. Englisch	—
4. Italienisch	5
5. Geschichte	6
6. Geographie	4
7. Algebra	6
8. Geometrie	6
9. Darstellende Geometrie	6
10. Physik	6
11. Chemie	5
12. Naturgeschichte	5
13. Der Kunstzeichnen	4
14. Der technischen Zeichnen	4

= Hier gelten die Nachleistungen

Gestützt hierauf wird demselben das Augnis der Reife erteilt.

Aarau den 3. Oktober 1896.



kein schlechter Schüler
(6=sehr gut, 5=gut, ...)

- **1913-33** Prof. U. Berlin, Direktor Akademie der Wissenschaften
 - ▷ **1914-18** *WW II*
 - ▷ **1916** *Allgemeine Relativitätstheorie*
 - ▷ **1921** *Nobelpreis Physik (für Arbeit an Quanten-Theorie)*
etliche andere Preise/ Ehrungen folgen
 - ▷ **1928** *beginnt Arbeit an vereinheitlichter Theorie*
- **1933** kommt von einer längeren Reise nicht nach Deutschland zurück (nach Nazi-Machtergreifung Jan 1933 existiert keine wiss. Freiheit mehr), bleibt in Princeton

- **1933-45** Professur am IAS Princeton
- **1939** unterzeichnet Aufforderung an Roosevelt, Bau der Atombombe voranzutreiben
- **1945** Hiroshima, Nagasaki
- **1955** Tod in Princeton



Annus Mirabilis 1905

März: Photoelektrischer Effekt

- Quanten-Struktur des Lichts

Mai: Brown'sche Molekularbewegung

- mikroskopische Teilchen in Lösung
- Werkzeug zur Untersuchung der Atombewegung

Juni/September: Spezielle Relativitätstheorie

- Lichtgeschwindigkeit konstant in allen Bezugssystemen
- neues Verständnis von 'Raum-Zeit'
- fundamentaler Fortschritt seit Newton's klassischer Physik (1687)

- Konsequenz:

A photograph of a handwritten equation in brown ink on a light-colored surface. The equation is $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. The 'E' is written with a subscript '0', and the 'v' is written with a subscript '0'. The equation is written in a cursive, handwritten style.

Senkrechtstart mit 26! (try that..)

Photoelektrischer Effekt

- prägend für moderne Quantentheorie des Lichts
- (UV) Licht auf Metall-Oberfläche
 - ▷ *Messung: Geschwindigkeit v der freigesetzten Elektronen*
 - ▷ *Ergebnis: $v \sim$ Frequenz des Lichts, aber nicht \sim Intensität*

Photoelektrischer Effekt

- prägend für moderne Quantentheorie des Lichts
- (UV) Licht auf Metall-Oberfläche
 - ▷ *Messung: Geschwindigkeit v der freigesetzten Elektronen*
 - ▷ *Ergebnis: $v \sim$ Frequenz des Lichts, aber nicht \sim Intensität*
- Einstein: Licht nicht kontinuierlich, sondern wie Gas (Molekül $\hat{=}$ Photon). $E = \hbar\nu$
- untermauert Planck's Lösung (1900) des Problems der Schwarzkörper-Strahlung

wahre Bedeutung:

- gewöhnt Physiker an dualen Charakter Teilchen/Welle
- de Broglie 1924: Materie genauso!
- danach: alle Spekulationen über Elementarbausteine beeinflusst

... und verschafft AE den **Nobelpreis** 1921

ein weiterer Quanten-Effekt: elektronisches Rauschen

- Konsequenz der Quantelung der elektrischen Ladung (und damit des Stromflusses)
- spätestens seit der Geburt der el. Verstärkertechnik 'beobachtbar'

ein weiterer Quanten-Effekt: elektronisches Rauschen

- Konsequenz der Quantelung der elektrischen Ladung (und damit des Stromflusses)
- spätestens seit der Geburt der el. Verstärkertechnik 'beobachtbar'

... und: Sie schauen gerade auf Quanten!

- in der Retina gibt es Moleküle, in denen die Atomverbindungen unter Spannung stehen
- ein (von der Leinwand in Ihr Auge reflektiertes) Lichtquant geeigneter Energie kann ein geeignetes Molekül zur Streckung bringen
- dies löst eine Reaktion aus, die ein Signal über einen Nerv in Ihr Gehirn schickt

Spezielle Rel

Kernidee: physikalische Gesetze sind für alle gleichförmig bewegten Beobachter identisch (kein 'Äther').

- einfache Beschreibung des Effekts von Relativbewegung auf die grundlegendsten physikalischen Messinstrumente, Skala und (perfekte) Uhr
- die Idee war reif (Voigt, Larmor, Lorentz, Michelson) ..
- Lichtgeschwindigkeit c als obere Grenze
- einfache mathematische Formulierung: Lorentz-Transformation

z.B. $x' = \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, $t' = \frac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

besondere Leistung AE's: zeigt exzeptionellen Einfallsreichtum, Einsicht (nicht so sehr - gemessen an höchsten Standards - mathematisches Genie)

Lichtgeschwindigkeit c

$$c \approx 300000 \text{ km/s} \approx 1 \text{ Milliarde km/h}$$

das ist

- 1 Million mal schneller als ein Flugzeug
- 40000 mal schneller als das Space Shuttle im Orbit

bei einer Reise mit Lichtgeschwindigkeit braucht man

- 1 Sekunde für 7 Erdumrundungen
- 8 Minuten von der Erde zur Sonne
- 26000 Jahre zum schwarzen Loch im Zentrum der Milchstrasse

Geometrische Konsequenzen (Aberration, Drehung, Verzerrung) für Messungen an bewegten Objekten

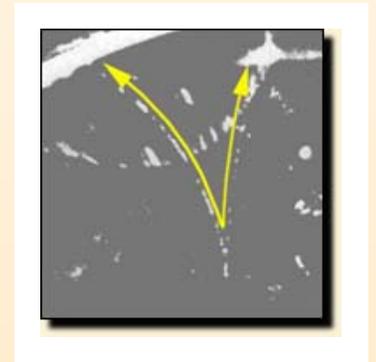
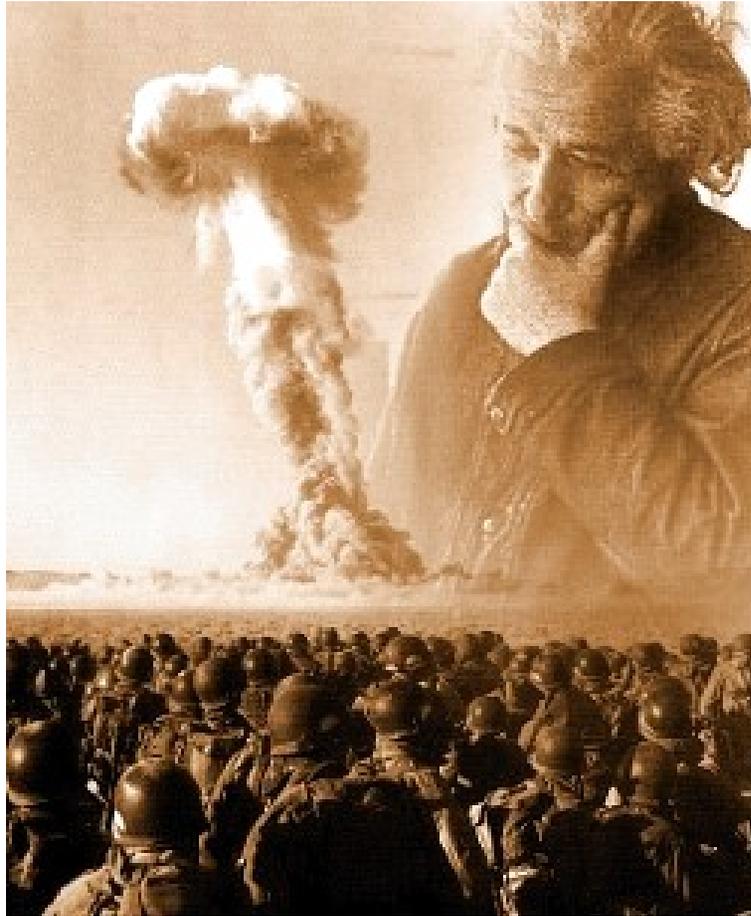
→ movies by [Kraus/Ruder/Weiskopf]

Spezielle Rel, $E = mc^2$

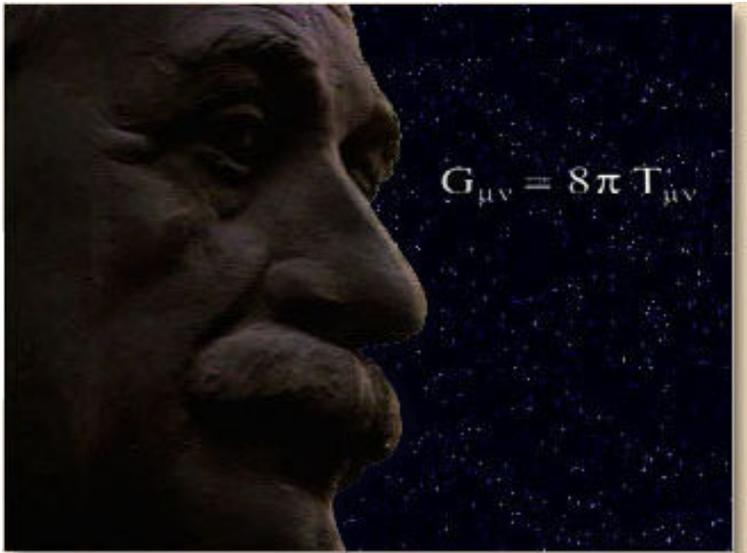
haben weitreichende Konsequenzen! Einige davon:

aber auch:

- warum scheint die Sonne? (schleudert $m = E/c^2$ hinaus - etwa 4 Millionen Tonnen pro Sekunde)
- Ruheenergie einer Fahrkarte genügt, um einen Zug mehrmals um den Äquator zu schicken
- Energie \rightarrow Masse!
Blasenkammer-Aufnahme 1933.
- etliche 'Paradoxa': Zwillinge, ..

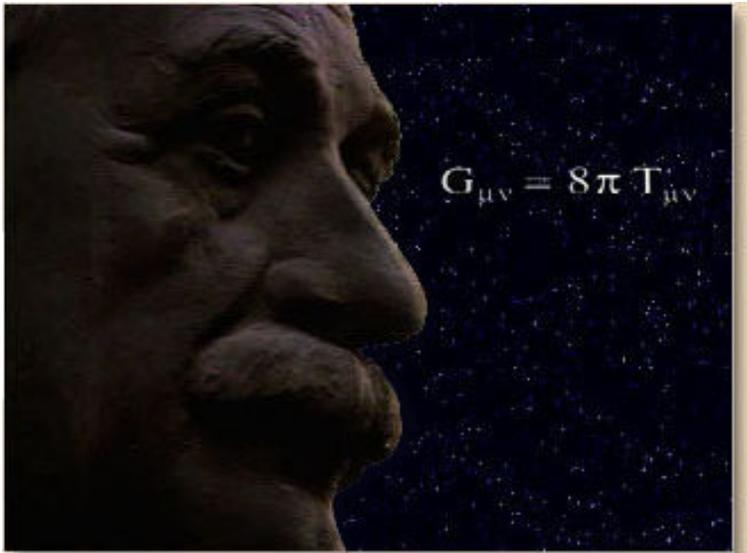


Allgemeine Rel (ART) 1916



- “Sind Gravitations- und Beschleunigungs-Effekte unterscheidbar?”
→ [movie by \[pbs.org,NOVA\]](#)
- “Wird Licht von Gravitation abgelenkt?”
- 10 Jahre (harter) Arbeit
- sehr komplexe Theorie ...

Allgemeine Rel (ART) 1916



- “Sind Gravitations- und Beschleunigungs-Effekte unterscheidbar?”
→ [movie by \[pbs.org,NOVA\]](#)
- “Wird Licht von Gravitation abgelenkt?”
- 10 Jahre (harter) Arbeit
- sehr komplexe Theorie ...

- ... aber sehr einfache Formel: $G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$
- mit interessanten Namen: Einstein-Tensor, Newton-Konstante, Feldstärke-Tensor, kosmologische Konstante, Cristoffel-Symbole, Riemann’scher Krümmungstensor, Ricci-Tensor, Krümmungs-Skalar

ART in Formeln (sorry..)

- (einfach nur weil wir viele Abkürzungen benutzen):

$$\begin{aligned}\Gamma_{\alpha\beta}^{\mu} &= \frac{1}{2}g^{\mu\nu} (\partial_{\beta}g_{\nu\alpha} + \partial_{\alpha}g_{\nu\beta} - \partial_{\nu}g_{\alpha\beta}) \\ R^{\mu}_{\nu\alpha\beta} &= \partial_{\alpha}\Gamma^{\mu}_{\nu\beta} - \partial_{\beta}\Gamma^{\mu}_{\nu\alpha} + \Gamma^{\mu}_{\sigma\alpha}\Gamma^{\sigma}_{\nu\beta} - \Gamma^{\mu}_{\sigma\beta}\Gamma^{\sigma}_{\nu\alpha} \\ R_{\mu\nu} &= R^{\sigma}_{\mu\sigma\nu} \quad , \quad R = R_{\mu\nu}g^{\mu\nu} \\ G_{\mu\nu} &= R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu}\end{aligned}$$

- System von 10 nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen zweiter Ordnung für den metrischen Tensor $g_{\mu\nu}$
- dieser bestimmt schliesslich unsere Messung von Entfernungen und Zeit:
 $ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^{\mu} dx^{\nu}$ [$\mu, \nu = 1..2$: Pythagoras]
- Lösungen geben die **Struktur der Raumzeit**
- viele interessante Lösungen: Expansion, **schwarze Löcher**, Gravitationswellen, ..
- ART brauchte neue mathematische Disziplin: Tensor-Kalkül [Ricci, Levi-Civita]

ART in Worten

Worum geht es?

- Raum und Zeit. Warum fallen Dinge, warum kreist der Mond um die Erde, ..
- Masse krümmt Raum und Zeit. Je mehr Masse, desto besser ..
- Uhren in Bereichen grosser Raumkrümmung gehen langsamer
- Bewegung findet auf kürzesten Verbindungslinien statt.
Diese sind manchmal nicht 'gerade' → [movie by \[pbs.org,NOVA\]](#)

ART in Worten

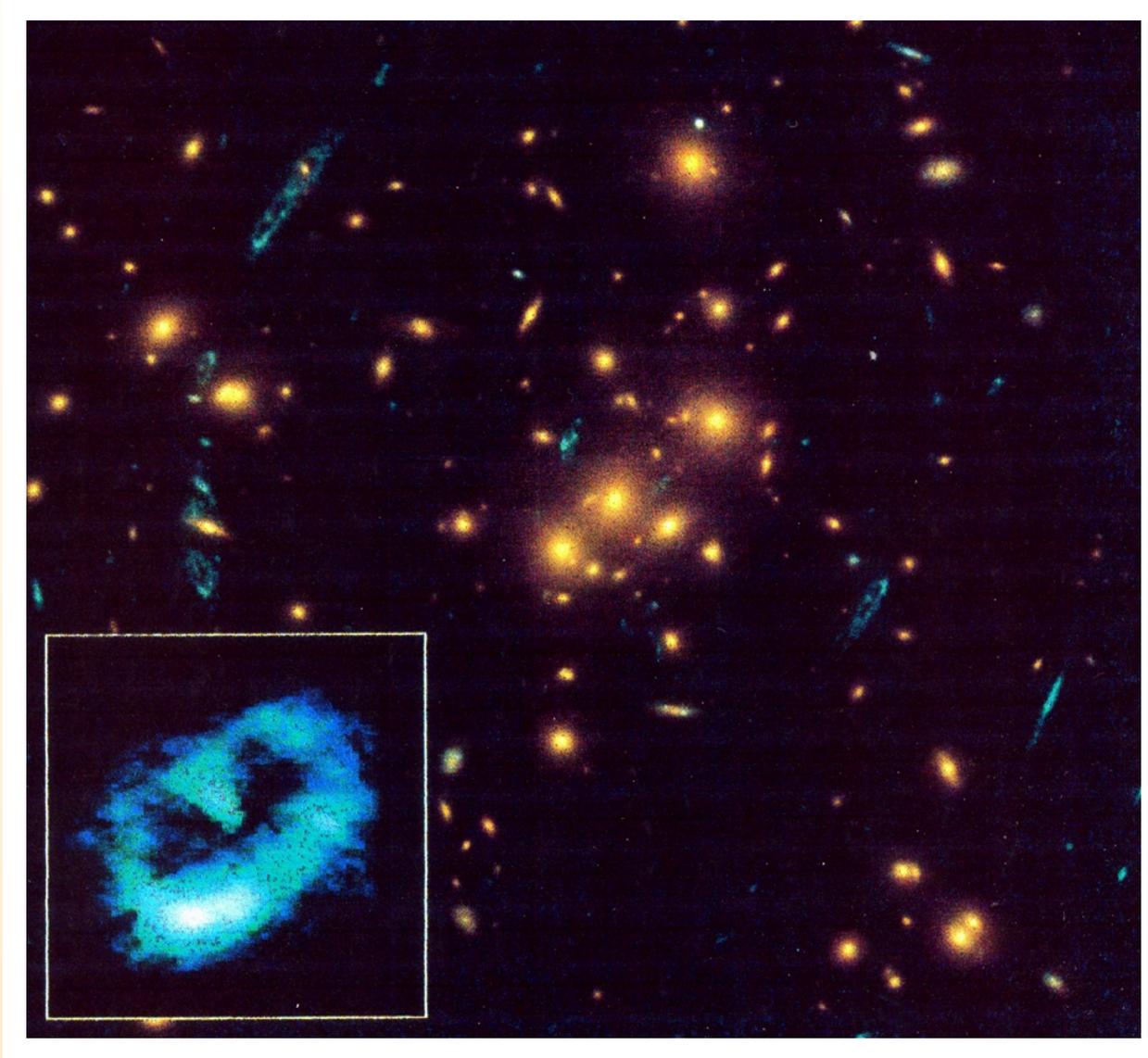
Worum geht es?

- Raum und Zeit. Warum fallen Dinge, warum kreist der Mond um die Erde, ..
- Masse krümmt Raum und Zeit. Je mehr Masse, desto besser ..
- Uhren in Bereichen grosser Raumkrümmung gehen langsamer
- Bewegung findet auf kürzesten Verbindungslinien statt.
Diese sind manchmal nicht 'gerade' → [movie by \[pbs.org,NOVA\]](#)

Die Planetenbahnen folgen also nicht der Anziehungskraft?

- Nein, die braucht man seit der ART nicht mehr.
- z.B.: die Erde will an der Sonne gerade vorbeifliegen, wegen der 'Delle' in der Raumzeit fliegt sie aber um die Sonne herum. Die 'Delle' ist so gross, dass sich die Umlaufbahn schliesst.

Konsequenz der ART: Gravitations-Linsen



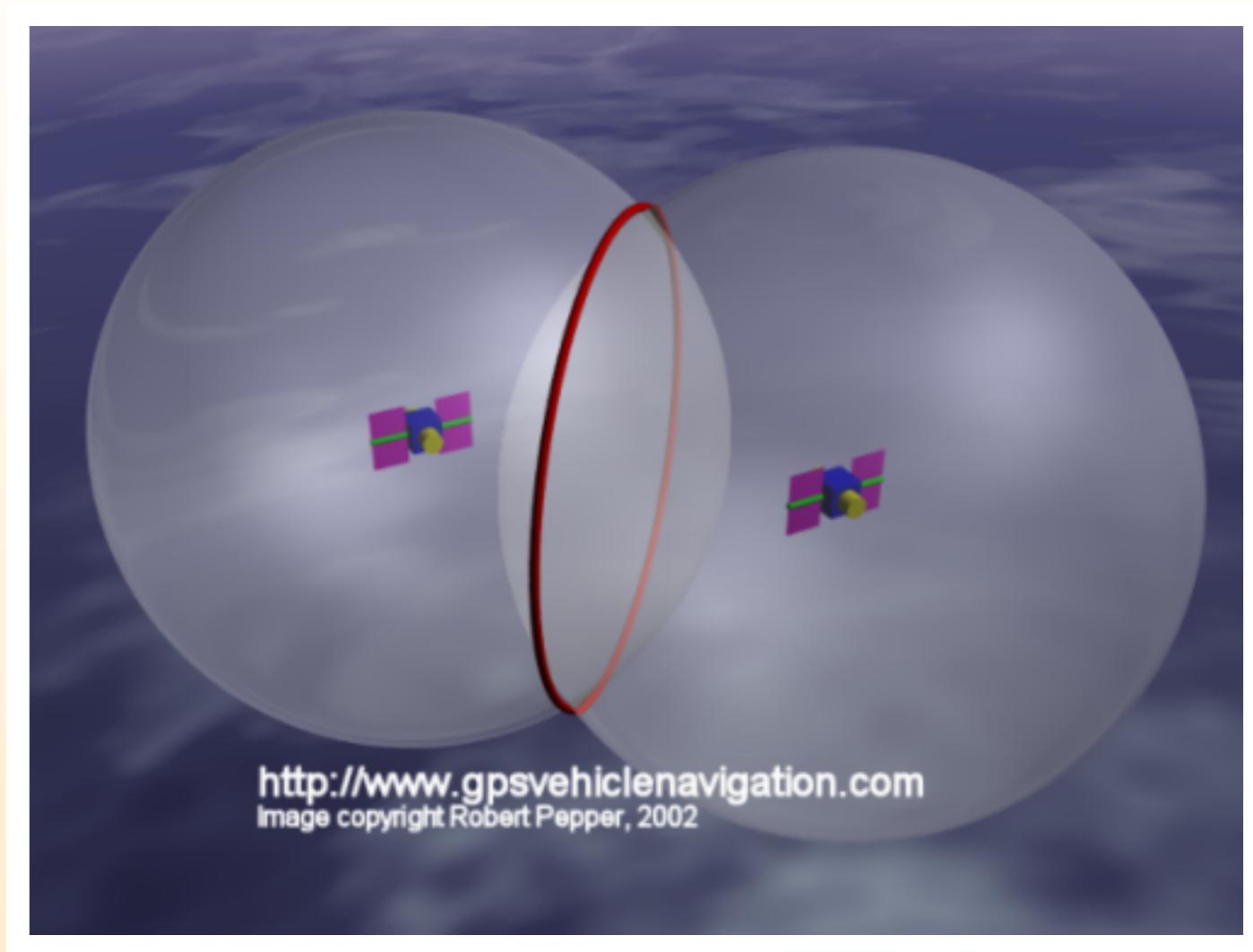
Galaxy Cluster 0024+1654, Hubble Space Telescope

Anwendung der S/ART: GPS



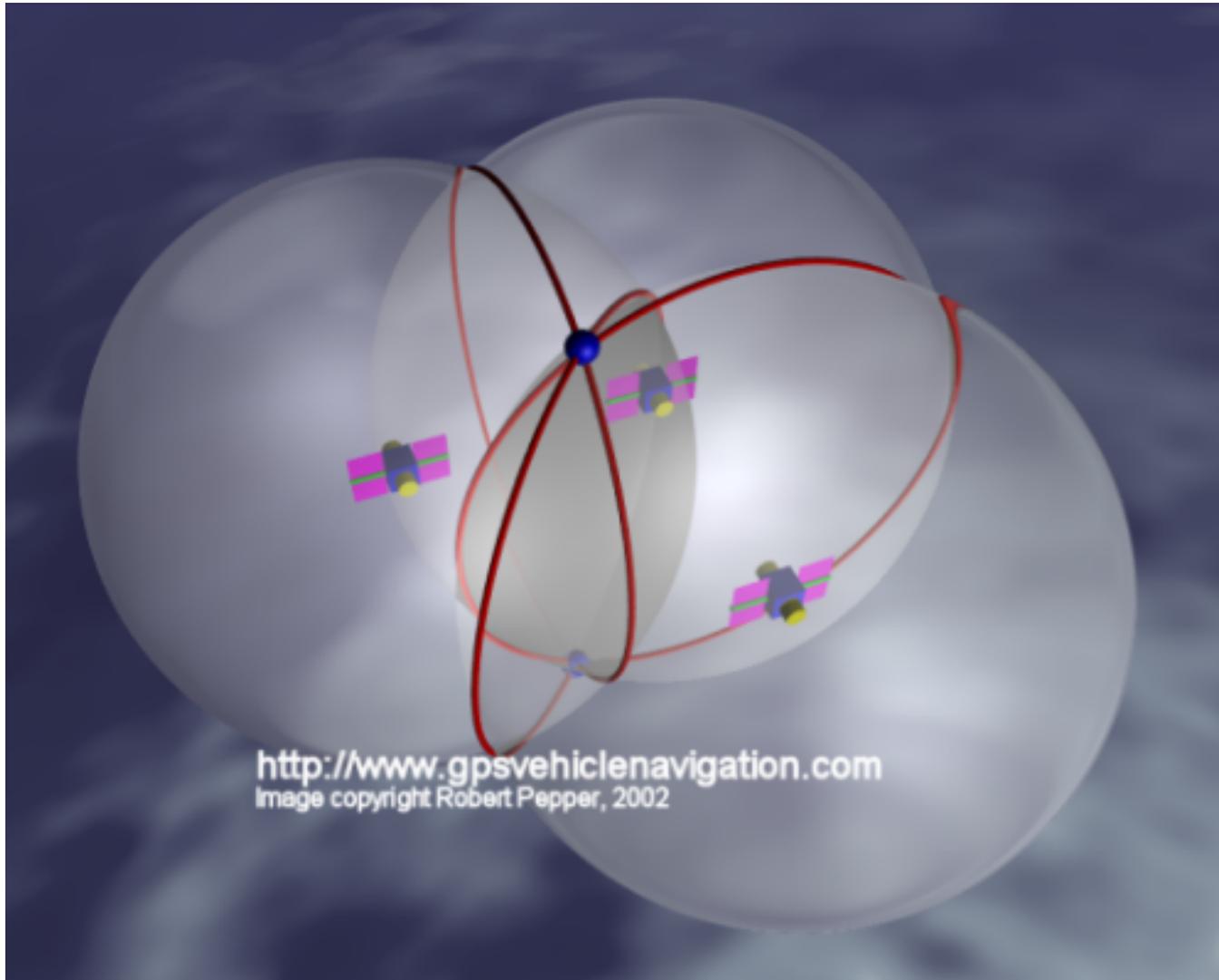
- Global Positioning System
- 24 Satelliten à 75000000 Dollar
- senden Signale: “Sat X, Pos Y, Zeit Z”
- → Positionsberechnung bei Navigation
- Atomuhren an Bord (± 1 s in 1000000 Jahren)

Anwendung der S/ART: GPS



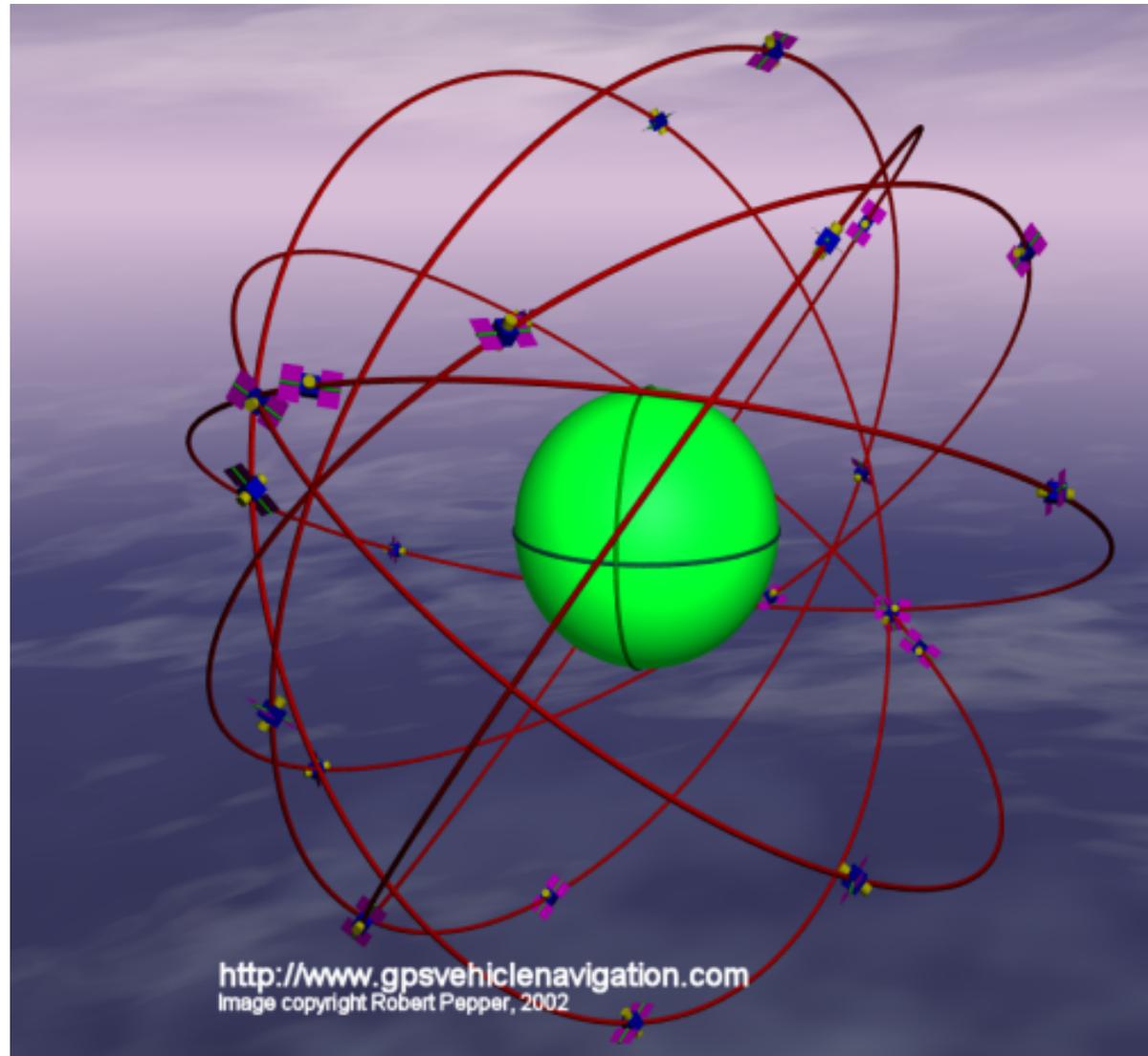
2 Satelliten im Sichtfeld reichen nicht aus

Anwendung der S/ART: GPS



3 Satelliten erlauben "2d position fix"

Anwendung der S/ART: GPS



≥ 21 Satelliten zur Abdeckung der Erde

Anwendung der S/ART: GPS

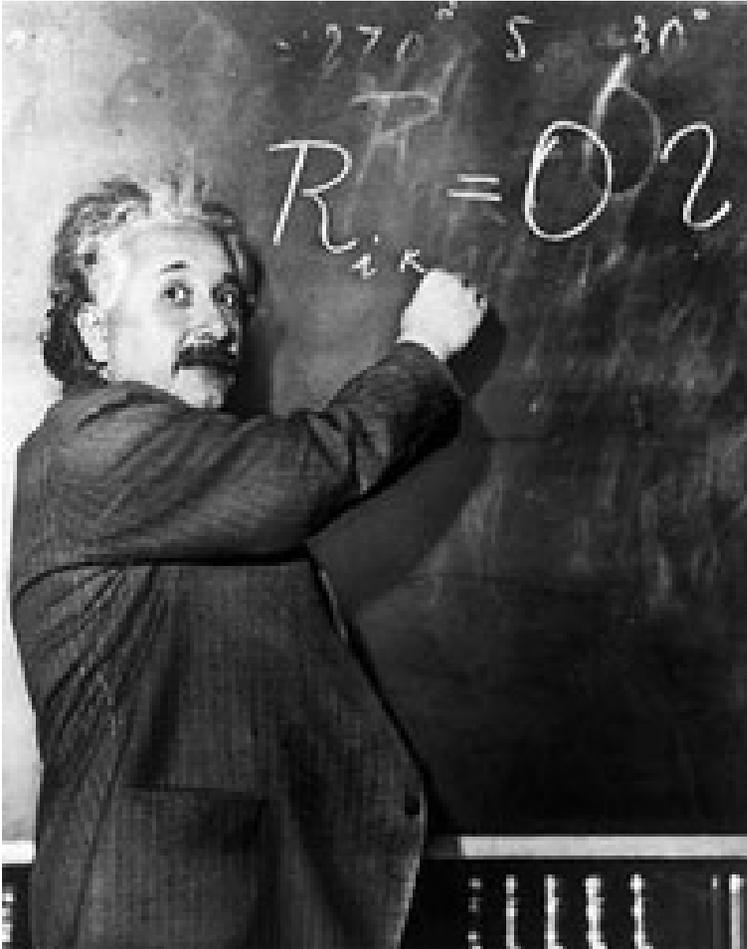


- Global Positioning System
- 24 Satelliten à 75000000 Dollar
- senden Signale: “Sat X, Pos Y, Zeit Z”
- → Positionsberechnung bei Navigation
- Atomuhren an Bord (± 1 s in 1000000 Jahren)

Relativität?

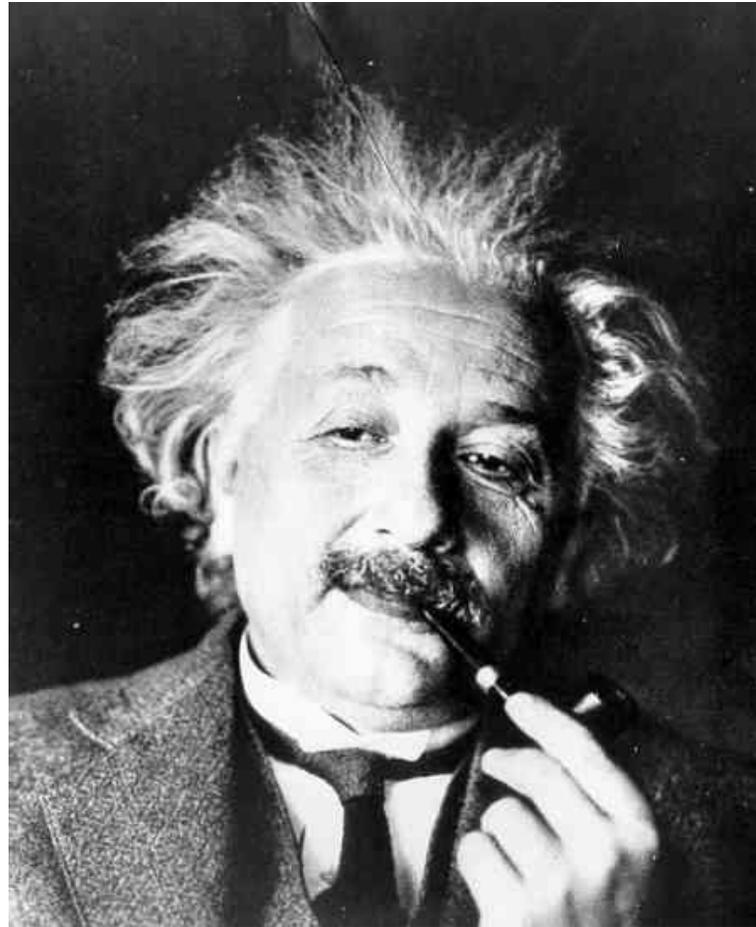
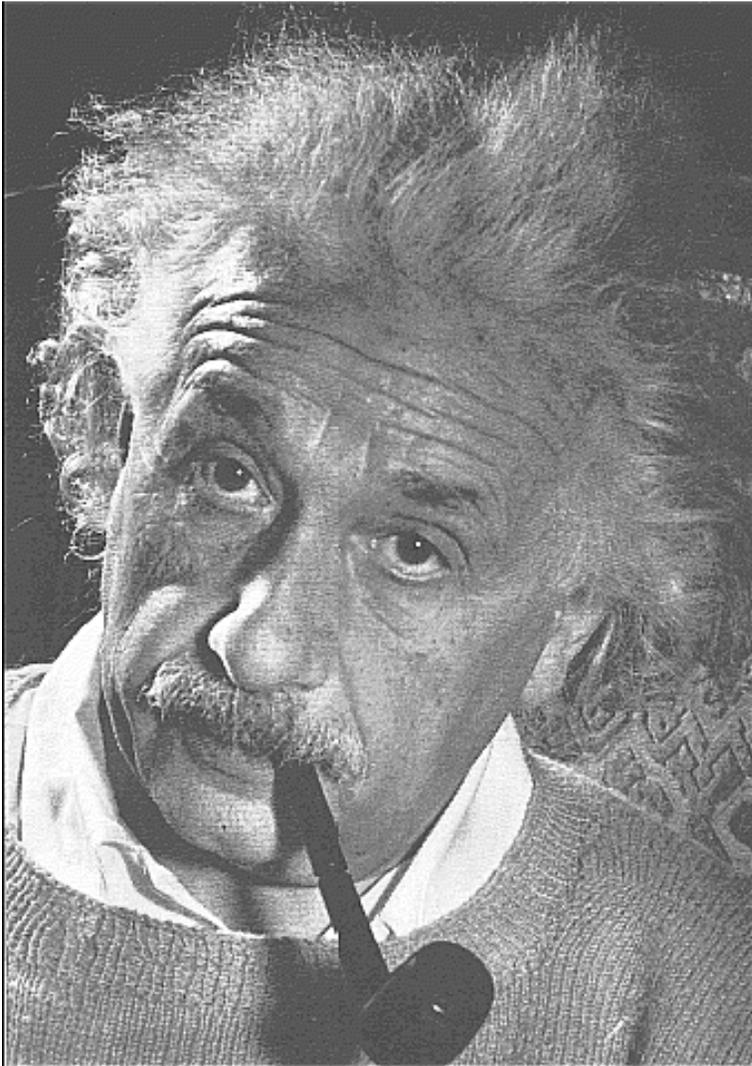
- brauchen extrem genaue Zeitmessung
- Satelliten-Bewegung: 4 km/s → Zeitdilatation: $-7.2 \mu\text{s}/\text{Tag}$
- Gravitationsfeld: 20200 km Höhe → ca. $+45 \mu\text{s}/\text{Tag}$
- also: Uhr auf Satellit ca $38 \mu\text{s}/\text{Tag}$ zu schnell
- ohne Korrektur: Ungenauigkeit ca. 10 km/Tag

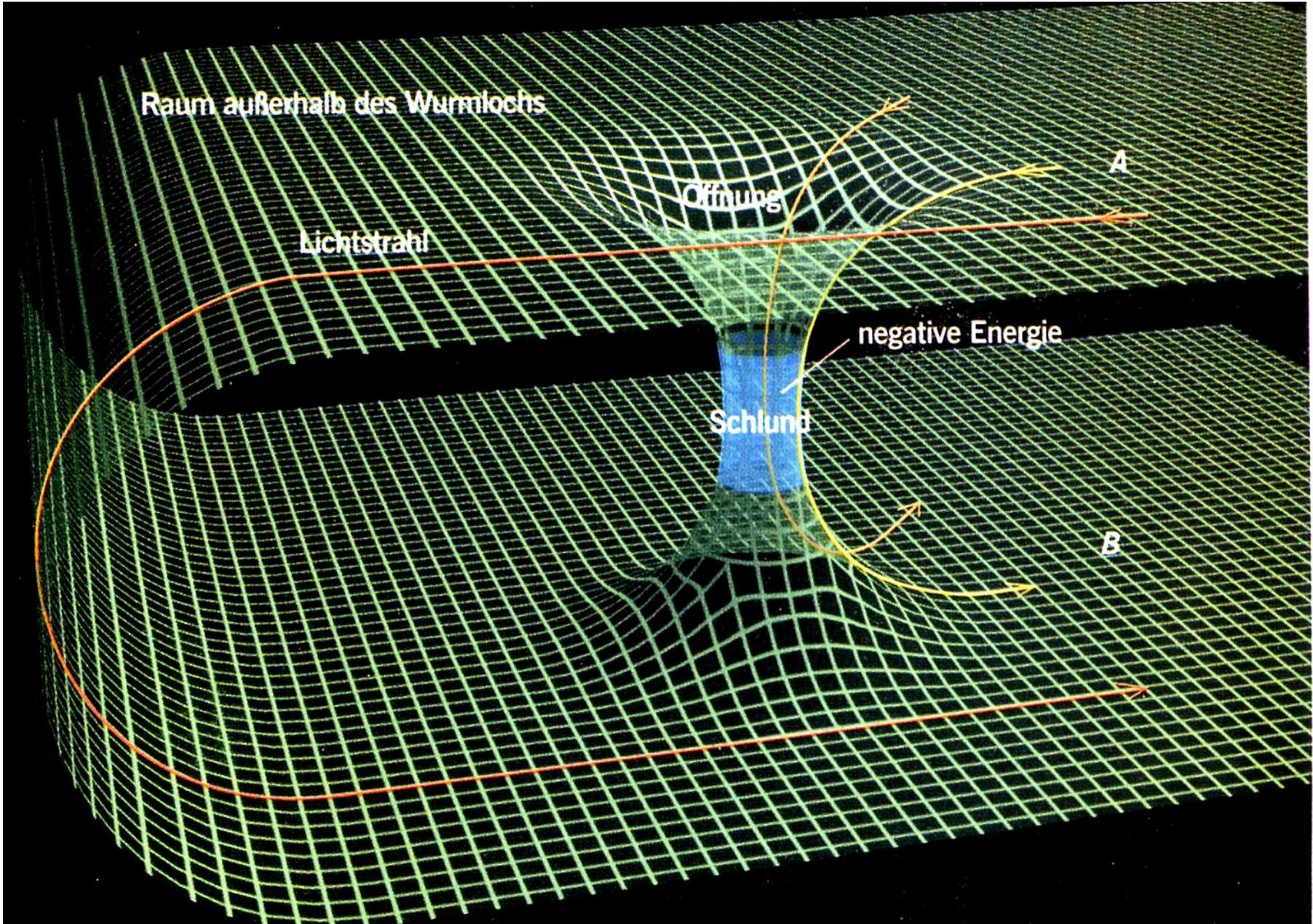
Zusammenfassung/Ausblick



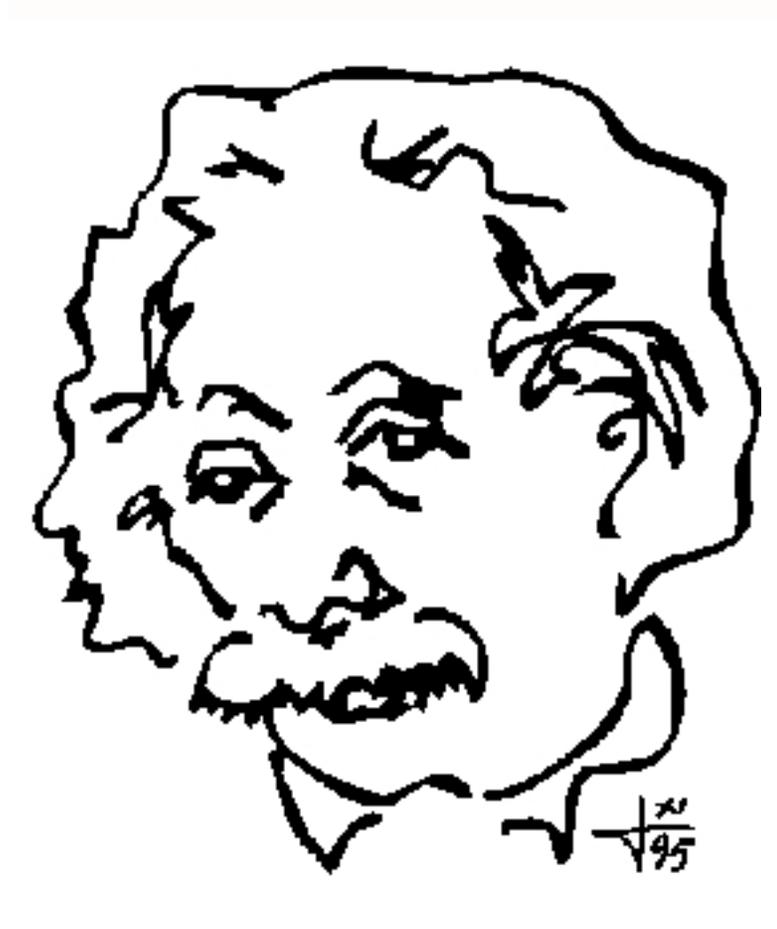
- Paradigmenwechsel:
Raumzeit ist dynamisch
- prägender Einfluß auf Physik, Kosmologie
- Newton etabliert Gravitation in voller Einfachheit und Universalität
- Einstein enthüllt Gravitation als Phänomen der Weltgeometrie
- 'graue' Theorie? Kein **GPS** ohne ART!
- große Vereinheitlichung?!
- heute nicht diskutiert: AE der Mensch, Jude, Vater, Philosoph, Pazifist, Politiker, ...

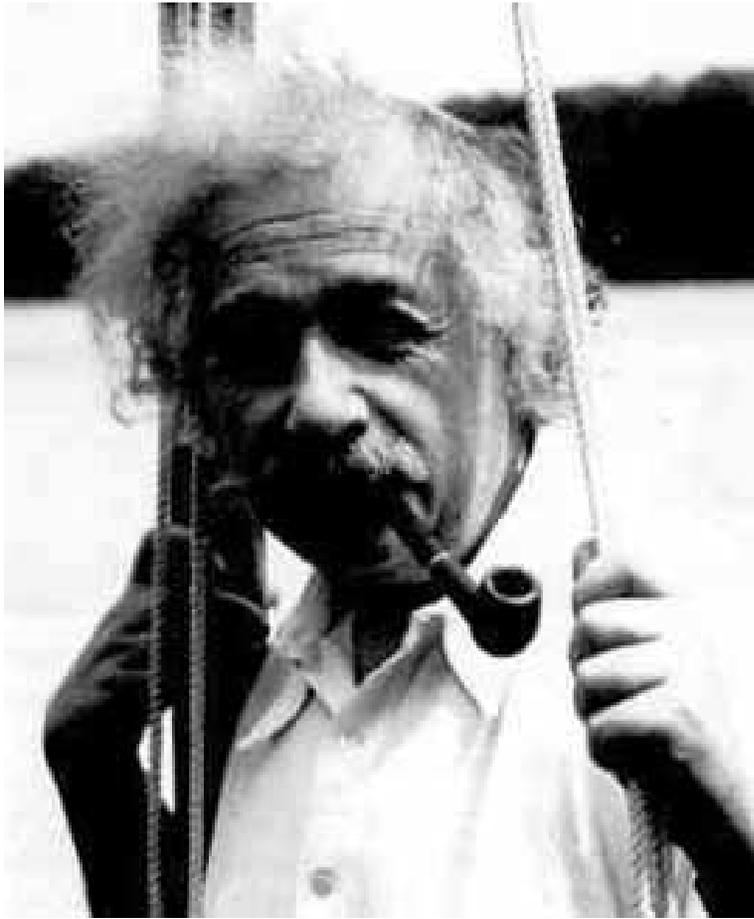
Galerie











For "Lectures on Relativity" 2. Nov. 1946

Das Gesetz von der Erhaltung von Masse und Energie ($E=mc^2$)
 In der vor-relativistischen Physik gab es zwei verschiedene unabhängige
 Erhaltungsgesetze, die strenge Gultigkeit beanspruchten, nämlich
 1) den Satz von der Erhaltung der Energie
 2) den Satz von der Erhaltung der Masse.

Der Satz von der Erhaltung der Energie, welcher schon vom 17. Jahrhundert
 in seiner vollen Allgemeinheit als geltend vermutet wurde, entwickelte
 sich im 19. Jahrhundert wesentlich als eine Folge eines Satzes der Mechanik.
 Man betrachtete ein Pendel, dessen Masse m zwischen
 den Punkten A und B hin und her schwingt.
 In A (und B) verschwindet die Geschwindigkeit
 v , und die Masse m hängt nun hocher als
 als im tiefsten Punkte C der Bahn. In C
 ist diese kinetische Energie verloren gegangen, da für die Masse hier eine
 Geschwindigkeit v ist, es ist, wie man sich leicht in Geschwindigkeit
 und umgekehrt mittels der Formel mv^2 berechnen kann. Die exakte Beziehung
 ist $mv^2 = \frac{1}{2}mv^2$.



wobei g die Beschleunigung der Erdbeschwerk bedeutet. Das Interessante
 dabei ist, dass diese Beziehung $mv^2 = mgh$ ist von der Steigung des
 Pendels und überhaupt von der Form der Bahn in welcher die Masse
 gefährt wird. Interpretation: Es gibt ein etwas (nämlich kinetische Energie)
 die während des Vorgangs erhalten bleibt. In A hat die Energie eine
 Energie der Lage oder potentielle Energie" in C eine Energie der Bewegung
 oder kinetische Energie". Wenn diese Auffassung das Mass der Sache
 richtig erweist, so muss die Summe
 $mv^2 + mgh = \text{const.}$

auch für alle Zwischenlagen denselben Wert haben, wenn man mit
 h die Höhe ober C und mit v die Geschwindigkeit fest in diesem beliebigen
 Punkte der Bahn. Dies verhält sich in der That so. Die Kraftgleichung
 dieses Satzes gibt den Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie.
 We aber, wenn das Pendel schliesslich durch Reibung zur Ruhe gekommen
 ist? Davon später.

Beim Durchgang der Wärme - Lehre was man zu verstehen
 "Eigenschaften gekanntes und Grundlegung der Thermodynamik,
 dass die Wärme ein unzerstorblicher Stoff sei, der von wärmere
 zum kaltteren Stoff fließt", so sehen einen Satz von der Erhaltung
 der Wärme" vor geben. Andererseits aber wissen seit mehreren Jahren
 Zahlen Erfahrungen bekannt, nach denen durch Reibung Wärme erzeugt
 wird (Erzeugung der Induktion). Nachdem sich die Physiker lange abgemangelt
 und (Erzeugung der Induktion).

A. Einstein Archive
 1-148

Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die im Nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste
 Verallgemeinerung der heute allgemein als "Relativitätstheorie" bezeichneten
 Theorie, die sich aus der Entwicklung von der "speziellen Relativitätstheorie" und setzte sie
 als bekannt voraus. Diese Verallgemeinerung musste sehr absehbare
 durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch
 Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale
 Gleichwertigkeit der räumlichen und der zeitlichen Koordinaten klar erkannt
 und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine
 Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel liegen für die
 bereit in dem "absoluten Differentialkalkul", welcher auf den Forschungen
 von Gauss, Riemann und Christoffel sowie nichteuklidische
 von Gauss, Riemann und Christoffel und von Ricci und Levi-Civita in ein
 System gebracht und bereits für auf Probleme der theoretischen
 Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden
 Abhandlung alle für mich nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt
 voranzusetzenden mathematischen Hilfsmittel angedeutet in $\S 2, 3, 4$.
 mathematische Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhand-
 lung einschließlich erforderlich ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar
 meines Freundes, des Mathematikers Grossmann gedankt, der mir
 durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlielichen
 mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Durch-
 lesen der Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die spezielle Relativitätstheorie liegt dem folgenden Postulat
 zugrunde, welches auch durch die Galilei-Newton'sche Mechanik bereits
 geleistet wird: Wahl ein Koordinatensystem K so gewählt, dass in Bezug
 auf dasselbe die physikalischen Gesetze in ihrer einfachsten Form gelten,
 so gelten dieselben Gesetze auch in Bezug auf jedes andere Koordinaten-
 system K' , das relativ zu K in gleichförmiger Translationsbewegung
 begriffen ist. Das Postulat nennen wir R_1 , "spezielles Relativitatspostulat".
 Durch das Wort "speziell" soll angedeutet werden, dass das Prinzip auf dem