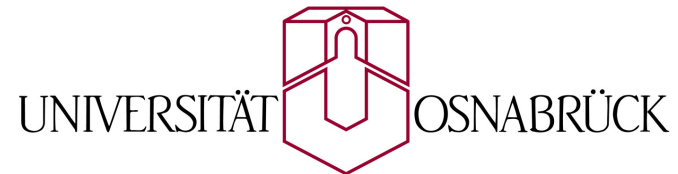


Einstein für Fußgänger

Peter Hertel
Fachbereich Physik



Einstein 1905

- *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*
- *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*
- *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*

Übersicht

- Bewegung ist relativ
- Licht ist immer gleich schnell
- Kein Widerspruch!
- Zwillingsparadoxon
- Masse zu Energie
- GPS

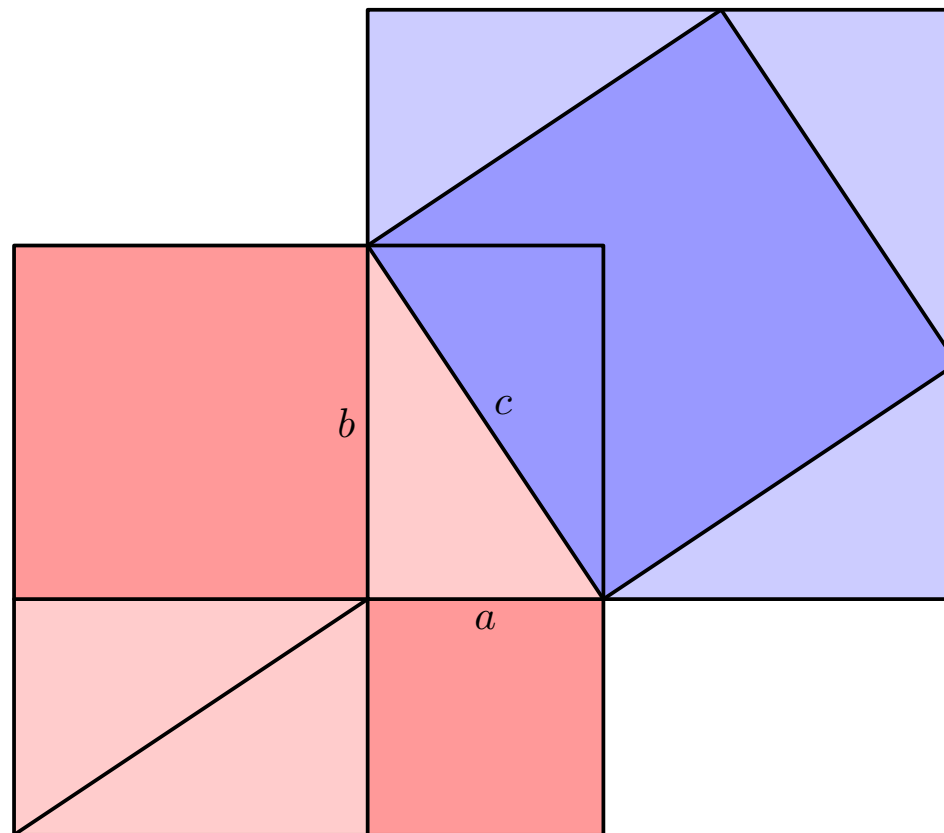
Pythagoras von Samos (580-495 v.Chr.)



Satz des Pythagoras

- Das Quadrat über der Hypotenuse c eines rechtwinkligen Dreieckes ist gleich der Summe der Quadrate über den Katheten(a und b).
- $c^2 = a^2 + b^2$
- $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

Ein Beweis: Thabit ibn Qurrah (836-901)



Galileo Galilei (1564-1642)



Raum und Zeit

- Der Raum ist unendlich
- Körper sind träge (faul)
- Kräfte ändern die Geschwindigkeit
- Geschwindigkeit ist relativ
- Alle Inertialsysteme sind gleich gut
- Addition von Geschwindigkeiten

James Clerk Maxwell (1831-1879)



Das elektromagnetische Feld I

- Alle elektrischen und magnetischen Phänomene werden durch wenige Gleichungen beschrieben
- elektrische Ladungen und elektrische Ströme erzeugen das elektromagnetische Feld
- das elektromagnetische Feld gibt es auch im Vakuum
- die entsprechenden Wellen breiten sich mit der immer gleichen Geschwindigkeit c aus.

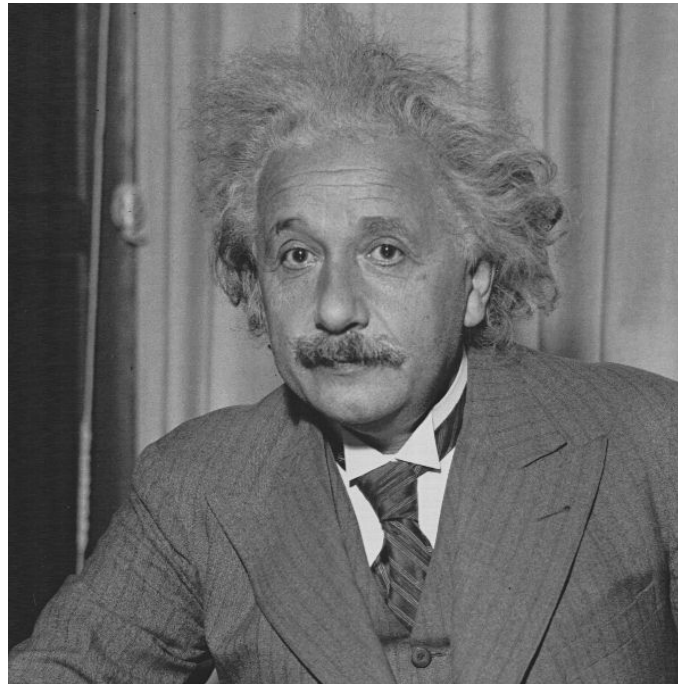
Das elektromagnetische Feld II

- $\epsilon_0 \nabla E = \rho$
- $\frac{1}{\mu_0} \nabla \times B - \epsilon_0 \dot{E} = j$
- $\nabla B = 0$
- $\nabla \times E + \dot{B} = 0$
- $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

Das elektromagnetische Feld III

Elektromotor, Dynamo, Handy, Röntgenstrahlen, Transistor, Radio, Fernsehen, Computer, Kompass, Glühlampe, Hochspannungsleitung, Batterie, Prozessor, Festplatte, Belichtungsmesser, Mikrophon, GPS, Digitalkamera, Licht, Sterne, Nordlichter, Bildschirm, U-Bahn, Quartzuhr, EKG, EEG, Computer-Tomographie, ...

Albert Einstein (1879-1955)



Widerspruch!

- Galilei und Maxwell widersprechen sich ...
- ... denn $u + c = c$ ist Unfug
- *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*
- Was ist Zeit?

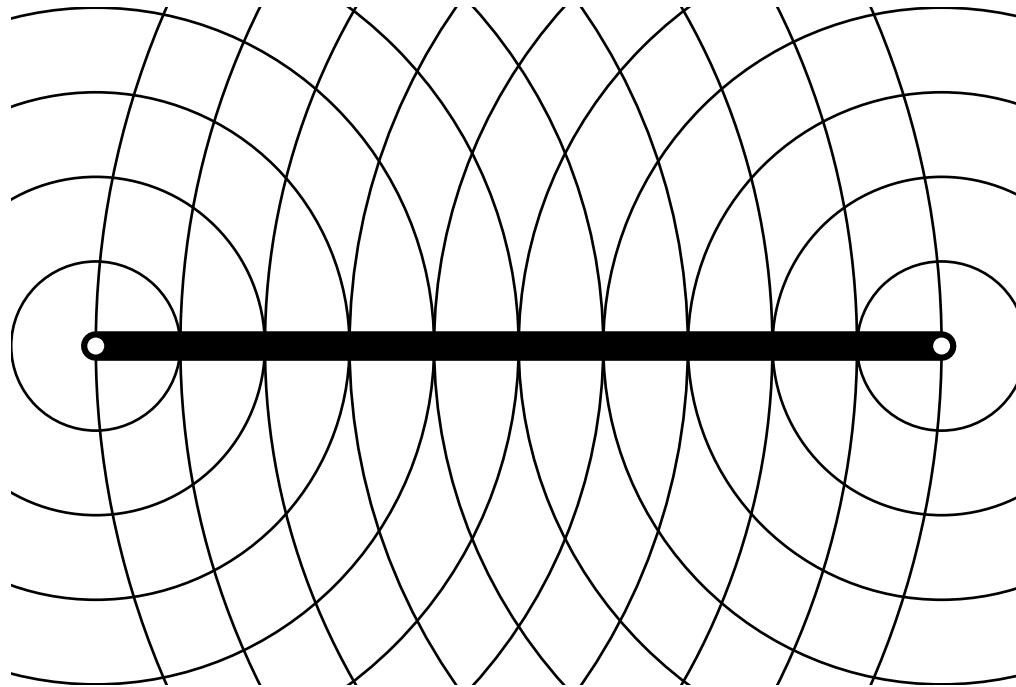
Zur Elektrodynamik bewegter Körper (1905)

891

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;* *von A. Einstein.*

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Modelluhr



Takt der Uhr ist $\tau = 2\ell/c$

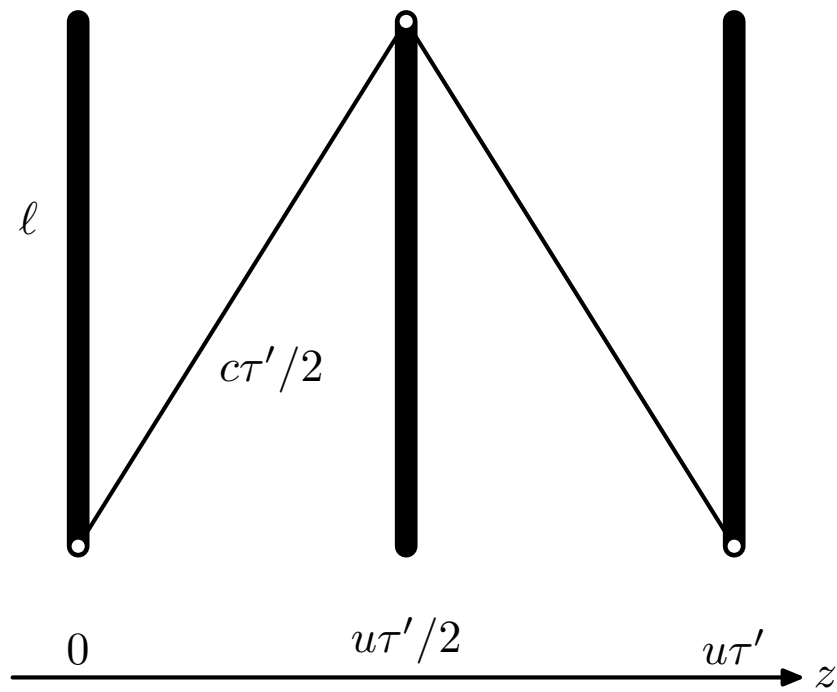
Querabmessungen ändern sich nicht!

- zwei gleich breite sehr lange Streifen
- einer bewegt sich, der andere ruht
- einer wird breiter
- welcher?
- keiner!

$$l'_{\perp} = l_{\perp}$$

Die Uhr bewegt sich

Der Takt ist τ'



Der Takt wird länger!

$$(c\tau'/2)^2 = \ell^2 + (u\tau'/2)^2$$

$$\tau'^2(c^2 - u^2) = 4\ell^2$$

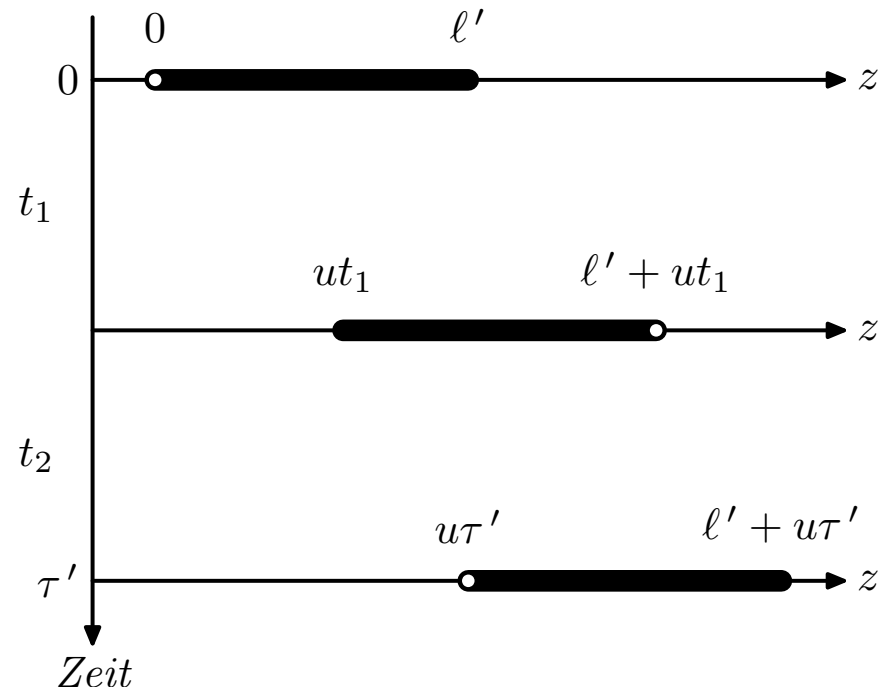
$$\tau'^2(1 - u^2/c^2) = 4\ell^2/c^2 = \tau^2$$

also

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - (u/c)^2}}$$

Diese Uhr hat denselben verlängerten Takt! _____

Längsabmessung ist l'



Längsabmessungen verkürzen sich!

$$t_1 + t_2 = \tau'$$

$$ct_1 = \ell' + ut_1$$

$$ct_2 = \ell' + ut_1 - u\tau'$$

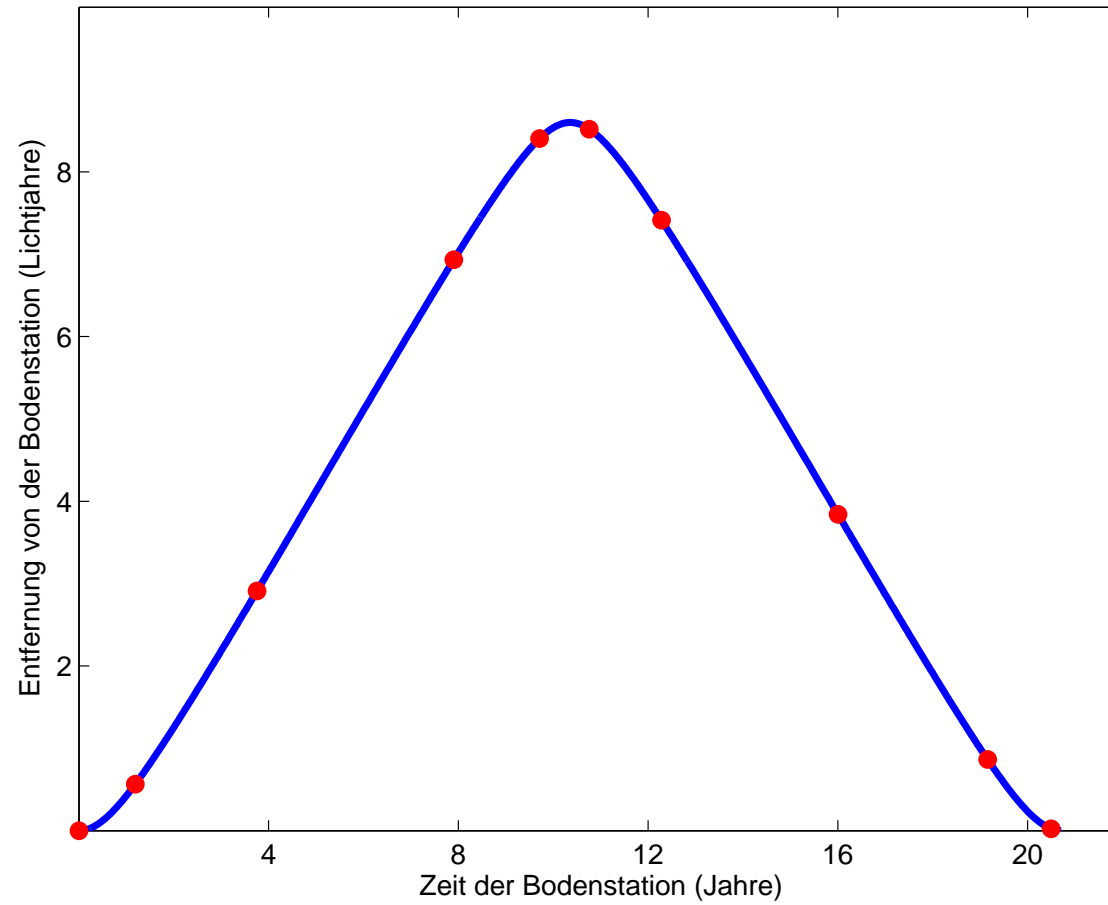
Daraus folgt

$$\ell'_{\parallel} = \ell_{\parallel} \sqrt{1 - (u/c)^2}$$

Zwillingsparadoxon

- Castor (Bodenpersonal) und Pollux (Astronaut)
- Exkursion zum Sirius (8.6 Lichtjahre)
- Rakete mit der Beschleunigung $1.0 g$
- Umdrehen nach $1/4$ und $3/4$ der Reise
- Castor ist nach der Reise 21 Jahre älter
- ... und Pollux nur 9 Jahre!

Zeit an Bord und am Boden



Winziger Effekt...

- Ein Pilot fliegt 10 Jahre lang mit 1080 km/h = 0.3 km/s

$$v/c = \frac{0.3}{300,000} = 10^{-6}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = 1 + 0.5 \times 10^{-12}$$

- das ergibt 0.16 ms an 'Lebenszeitverlängerung'
- m.a.W. die anderen sind 0.16 ms älter

Jedoch...

- Eine Masse m hat die Energie

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = mc^2 + \frac{m}{2}v^2 + \dots$$

- Kernspaltung und Kernfusion
- Astrophysik
- Elementarteilchenphysik (CERN, DESY)
- GPS

Global Positioning System

- Wie funktioniert GPS
- Technische Probleme
- Grundlegende Probleme
- Ohne Einstein kein GPS!
- *Einstein für Autofahrer*

Danke fürs Zuhören!

`peter.hertel@uni-osnabrueck.de`

`www.physik.uni-osnabrueck.de`