

INSTITUT FÜR THEORETISCHE FESTKÖRPERPHYSIK - DIDAKTIK DER PHYSIK

# Was wollen wir, was sollen die Schüler unter Masse verstehen?

25. Karlsruher Didaktik Workshop 2012

[www.pohlig.de](http://www.pohlig.de)

# Physikalische Größe Masse

Physikalische Größen und ihre Eigenschaften

Geschwindigkeit

Temperatur

Druck

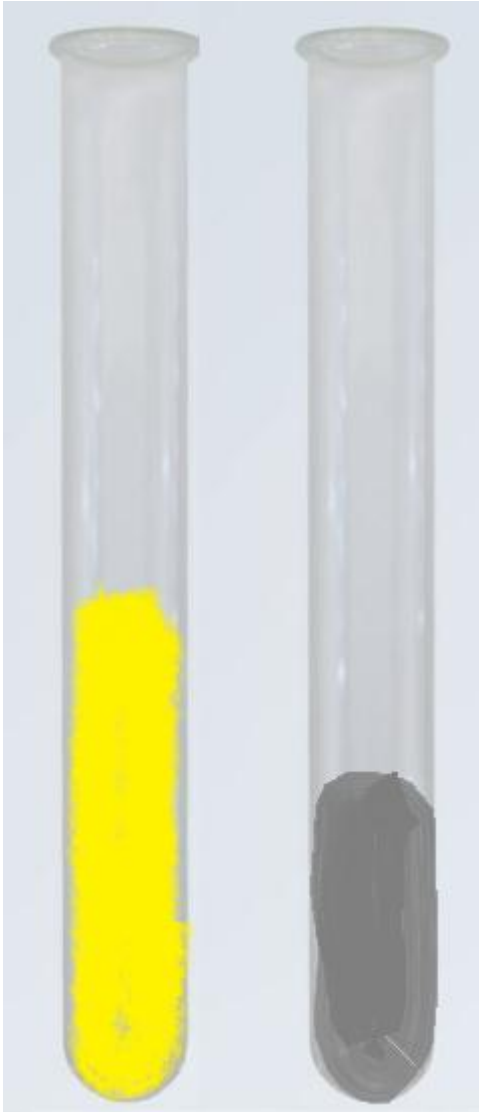
Impuls

Entropie

Masse?

# Physikalische Größe Masse

Schwefel



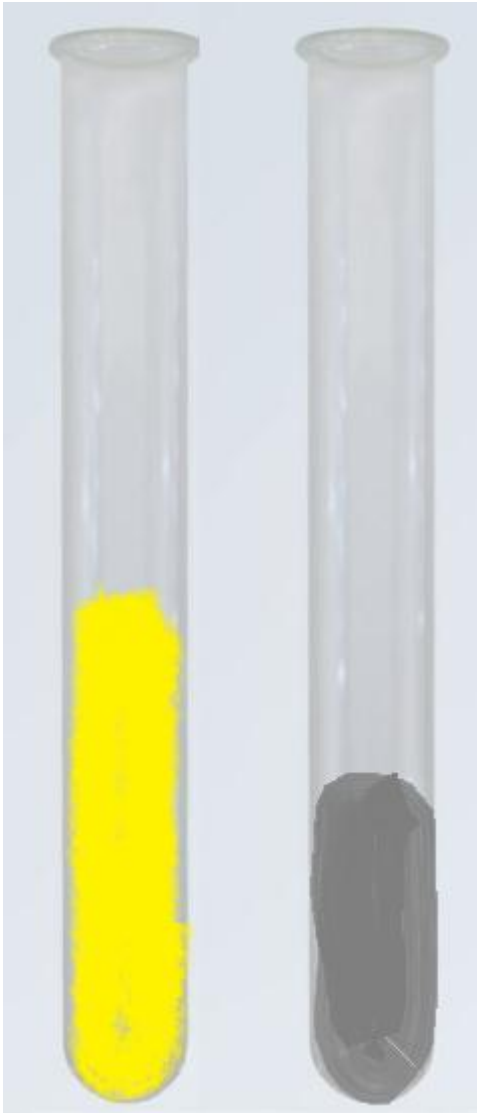
Eisen

Musiker:  
ungefähr doppelt so viel  
Schwefel als Eisen

# Physikalische Größe Masse

Schwefel

8g



Eisen

14g

Musiker:  
ungefähr doppelt so viel  
Schwefel als Eisen

Physiker:  
mehr Eisen als Schwefel

# Physikalische Größe Masse

Schwefel

8g



Eisen

14g

Musiker:

ungefähr doppelt so viel  
Schwefel als Eisen

$V$

Physiker:

mehr Eisen als Schwefel

$m$

Chemiker:

Eisen und Schwefel  
reagieren ohne Rest zu  
Eisensulfid also war es  
gleich viel

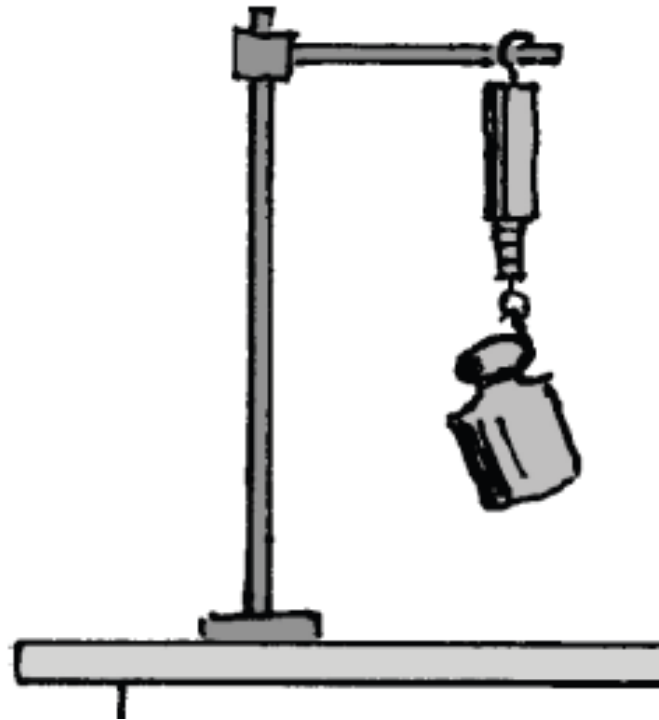
$n$

# Eigenschaft der Masse

bis Newton

die Schwere eines Körpers wird durch seine Masse beschrieben

$m$



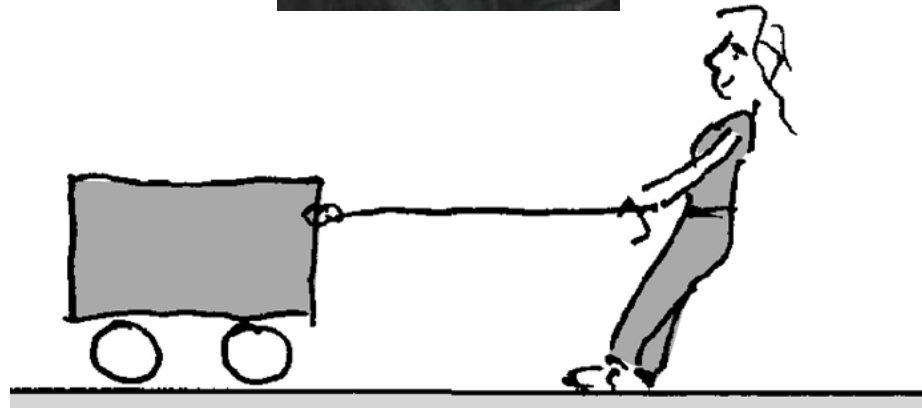
# Eigenschaft der Masse



seit Newton

Die Impulskapazität eines Körpers wird durch seine Masse beschrieben

$m$



Zwei unterschiedlich konzipierte Größen, die beide Massen heißen:

$m_{\text{schwer}}$

$m_{\text{träg}}$

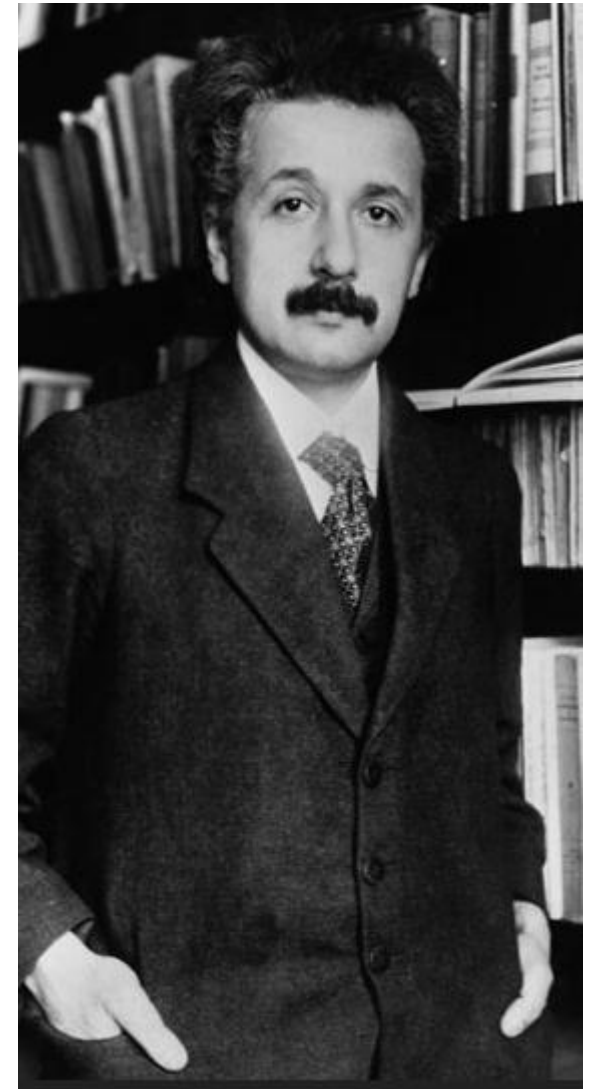
# Eigenschaft der Masse

seit Einstein (1915)

$$m_{\text{träg}} = m_{\text{schwer}} = m$$

**Die zwei unterschiedlich konzipierten Größen träge Masse und schwere Masse sind in Wirklichkeit identisch.**

Da beide in der gleichen Einheit angegeben werden, ist der Umrechnungsfaktor 1





# Eigenschaft der Masse

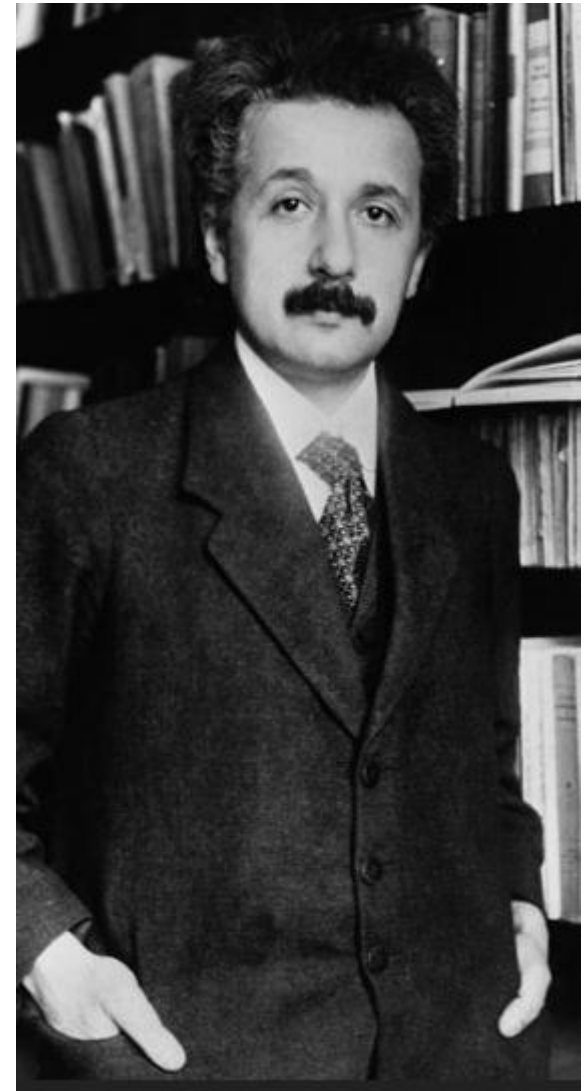
seit Einstein (1905)

$$E = k \cdot m$$

$$E = m \cdot c^2$$

**Die zwei unterschiedlich konzipierten Größen Masse und Energie sind in Wirklichkeit identisch.**

Da beide in verschiedenen Einheiten angegeben werden, benötigt man einen Umrechnungsfaktor:  $k = c^2$



# Eigenschaft der Masse

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich die Energie um  $L$ , so ändert sich die Masse in demselben Sinne um  $L/9 \cdot 10^{20}$ , wenn die Energie in Erg und die Masse in Grammen gemessen wird.

gesetze: eines für die Materie und eines für die Energie. Schon einmal haben wir die Frage gestellt, ob die moderne Physik noch an diesen beiden Substanzbegriffen und an den zweierlei Erhaltungsgesetzen festhält. Die Antwort lautet: «Nein.» Nach der Relativitätstheorie gibt es keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen Masse und Energie. Energie hat Masse und Masse verkörpert Energie. Statt zwei Erhaltungsgesetzen haben wir nur noch eines, das der Masse-Energie. Diese neue Auffassung hat sich in der weiteren Entwicklung der Physik sehr gut bewährt und als äußerst fruchtbar erwiesen.

Man muß sich fragen, wieso die Tatsache, daß Energie Masse und Masse Energie besitzt, so lange verborgen bleiben konnte. Ist ein heißes Stück Eisen denn wirklich schwerer als ein kaltes? Jetzt müssen wir diese Frage mit «ja» beantworten, während es im ersten Teil des Buches noch «nein» hieß. Sicherlich berechtigt uns die dazwischenliegende große

# Eigenschaft der Masse

Das Licht, das pro Sekunde auf einen  $m^2$  hat die Masse  $1,1 \cdot 10^{-14} \text{kg}$ .

Beim Entladen gibt eine Monozelle eine Energiemenge von etwa 10 kJ ab. Sie wird dabei um  $1,1 \cdot 10^{-13} \text{kg}$  leichter.

Ein Magnetar hat ein magnetisches Feld mit der Flussdichte  $B = 10^{11} \text{T}$

$$H \approx 8 \cdot 10^{16} \text{A/m}$$

$$\rho_E = \frac{\mu_0}{2} \cdot H^2 = 4 \cdot 10^{27} \text{J/m}^3 \quad \text{1 Liter Magnetfeld}$$

$$m = \frac{E}{k} = \frac{4 \cdot 10^{24} \text{J}}{9 \cdot 10^{16} \text{J/kg}} = 4,4 \cdot 10^7 \text{kg} \quad E = 4 \cdot 10^{24} \text{J}$$

# Masse eine ganz normale physikalische Größe?

*Dan Brown:  
Angels & demons*

Antimatter releases pure energy, a one hundred per cent conversion of mass to photons.

# Masse eine ganz normale physikalische Größe?

*Physik Journal 9 (2010), veröffentlicht  
durch die deutsche Physikalische  
Gesellschaft*

Vom Ursprung der Masse (Eberhard Klemp)

... nach Einsteins Beziehung  $E = m \cdot c^2$  muss man dieser Energie eine Masse zuordnen, die sozusagen aus dem Nichts entsteht.

# Masse eine ganz normale physikalische Größe?

*Physik Journal 9 (2010), veröffentlicht  
durch die deutsche Physikalische  
Gesellschaft*

Vom Ursprung der Masse (Eberhard Klemp)

Die masselosen Photonen tragen zwar aufgrund ihrer Energie und der Äquivalenz zwischen Energie und Masse ebenfalls zur Massendichte bei, ...

# Masse eine ganz normale physikalische Größe?

*Bader*

Teilchenphysik

Bei der *Paarerzeugung* sahen wir, dass sich Energie von  $\gamma$  - Quanten in ein Elektron  $e^-$  und sein Antiteilchen Positron  $e^+$  verwandeln kann.

Aus Energie, etwa von  $\gamma$  - Quanten, können *Quarkpaare* entstehen, z.B.  $u$  und  $\bar{u}$  oder  $d$  und  $\bar{d}$ .

# Masse eine ganz normale physikalische Größe?

*Geoff Brumfiel*

Fusion's Missing Pieces; Scientific American June 2012

In theory, fusion is a perfect energy source. It depends on the one thing in physics that everyone had heard of:  $E = m \cdot c^2$ . Because the speed of light is so great,  $E = m \cdot c^2$  means that a very small amount of mass can generate an enormous quantity of energy



# Masse und relativistische Masse

Dann: Masse ist Ruhemasse

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m(v)$  ist nicht die Masse, es ist die relativistische Masse

Fragen: An wen ist die Trägheit des Körpers gebunden?

Hat ein Feld keine Masse und hat es nur relativistische Masse?

masselose Photonen, denen eine relativistische Masse zukommt

Einstein in Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie (1916):  
*..., dass die Energie des Gravitationsfeldes in gleicherweise gravitierend wirkt wie jegliche Energie anderer Art..*

# Entsteht da ein neuer Begriff von Masse?

Anregung Wasserstoffhülle – neuer Name?

Regt man ein Teilchen an, und ist sein Energiegewinn in der Größenordnung der Energie im Grundzustand, so interpretiert man den angeregten Zustand als ein neues Teilchen. So ist z.B. die Nukleonenresonanz  $D_{13}(1520)$  ein angeregter Zustand des Protons.

Ein Proton hat im Grundzustand die Energie 938,3 MeV. Dazu gibt es einen angeregten Zustand (1232 MeV, gleiche Quarkzusammensetzung): Diese Resonanz heißt  $\Delta^+$ - Teilchen. (Bader)

# Entsteht da ein neuer Begriff von Masse?

Die Masse ist jetzt keine normale Größe mehr; die verschiedenen Werte haben kann.

Diskrete Wertänderung → neues Teilchen

Jetzt: Masse als Charakteristikum von Teilchen

E. Klempt: Vom Ursprung der Masse

Auf jeden Fall hat sich gezeigt, dass die Masse ein recht schwierig zu fassender Begriff ist, der sich von unserer Anschauung weit entfernt hat.

ich glaube nein...

# Masse quo vadis?



*Wir stehen selbst enttäuscht und sehn  
betroffen den Vorhang zu und alle  
Fragen offen.*

Bertold Brecht, Der gute Mensch von Sezuan

# Literatur

- [1] Brown, Dan; Angels and demons, Corgi Books
- [2] Einstein, Infeld; Die Evolution der Physik; rororo, rde 12, 101.-108. Tausend Auflage, 1966
- [3] Falk, Ruppel: Mechanik, Relativität, Gravitation, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1973, 1<sup>st</sup> edition
- [4] Herrmann, Friedrich; KPK, Aulis
- [5] Pohlig, Michael; Ein alternativer Zugang zur speziellen Relativitätstheorie; PdN-Ph 1/52; Aulis
- [6] Strauch, Hans Michael; Software: Wassermodell für Relativitätstheorie
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetar>
- [8] Lorentz – Einstein – Minkowski, Das Relativitätsprinzip, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt 1982 S. 112