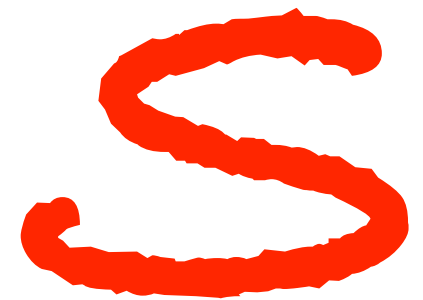


Relativistische Dynamik im Unterricht

F. Herrmann und M. Pohlig, Karlsruher Institut für Technologie



www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

www.kpk-akademie.de

7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

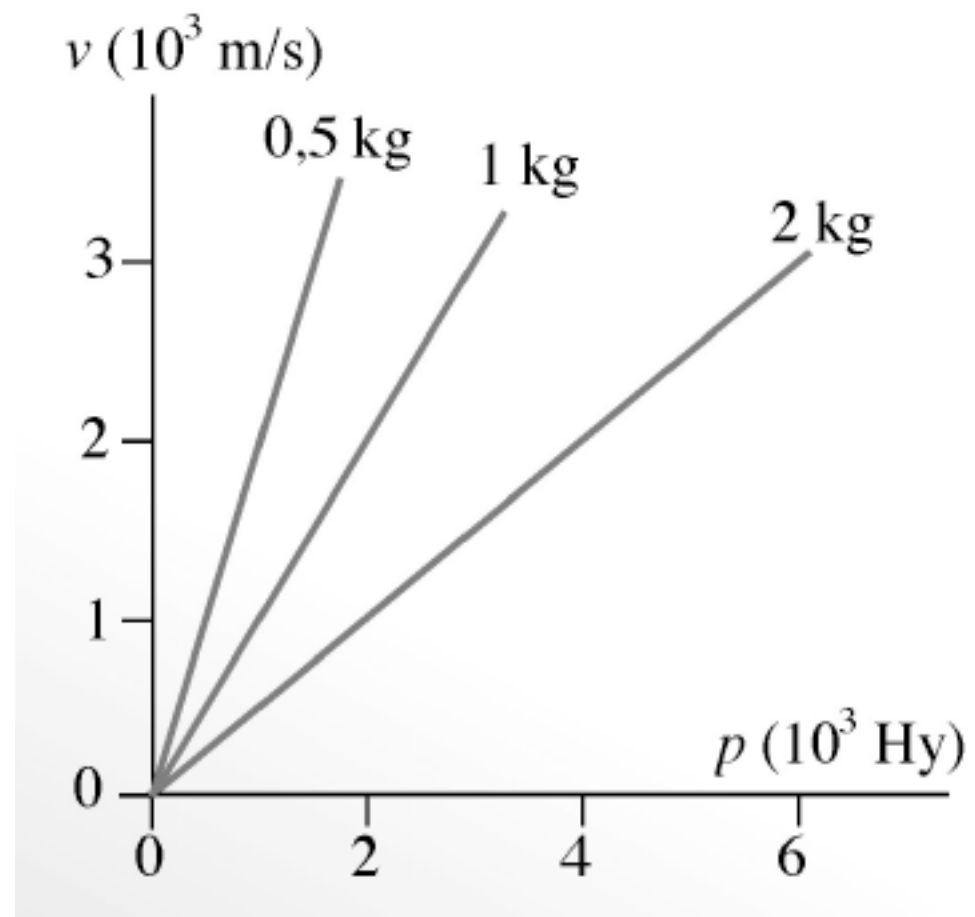
7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld

$$p = m \cdot v \qquad v = \frac{p}{m}$$



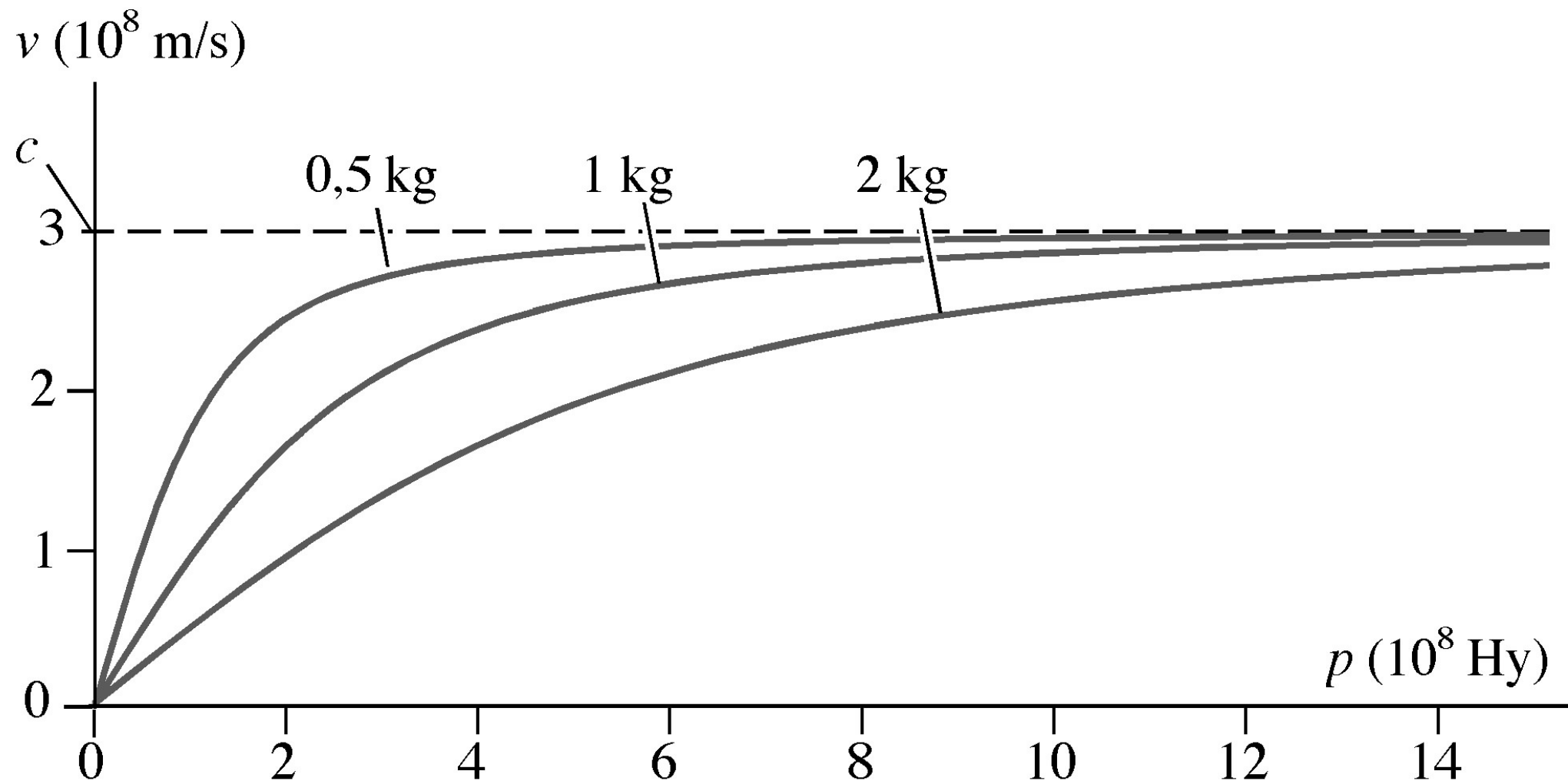
$$p = m \cdot v$$

$$v = \frac{p}{m}$$

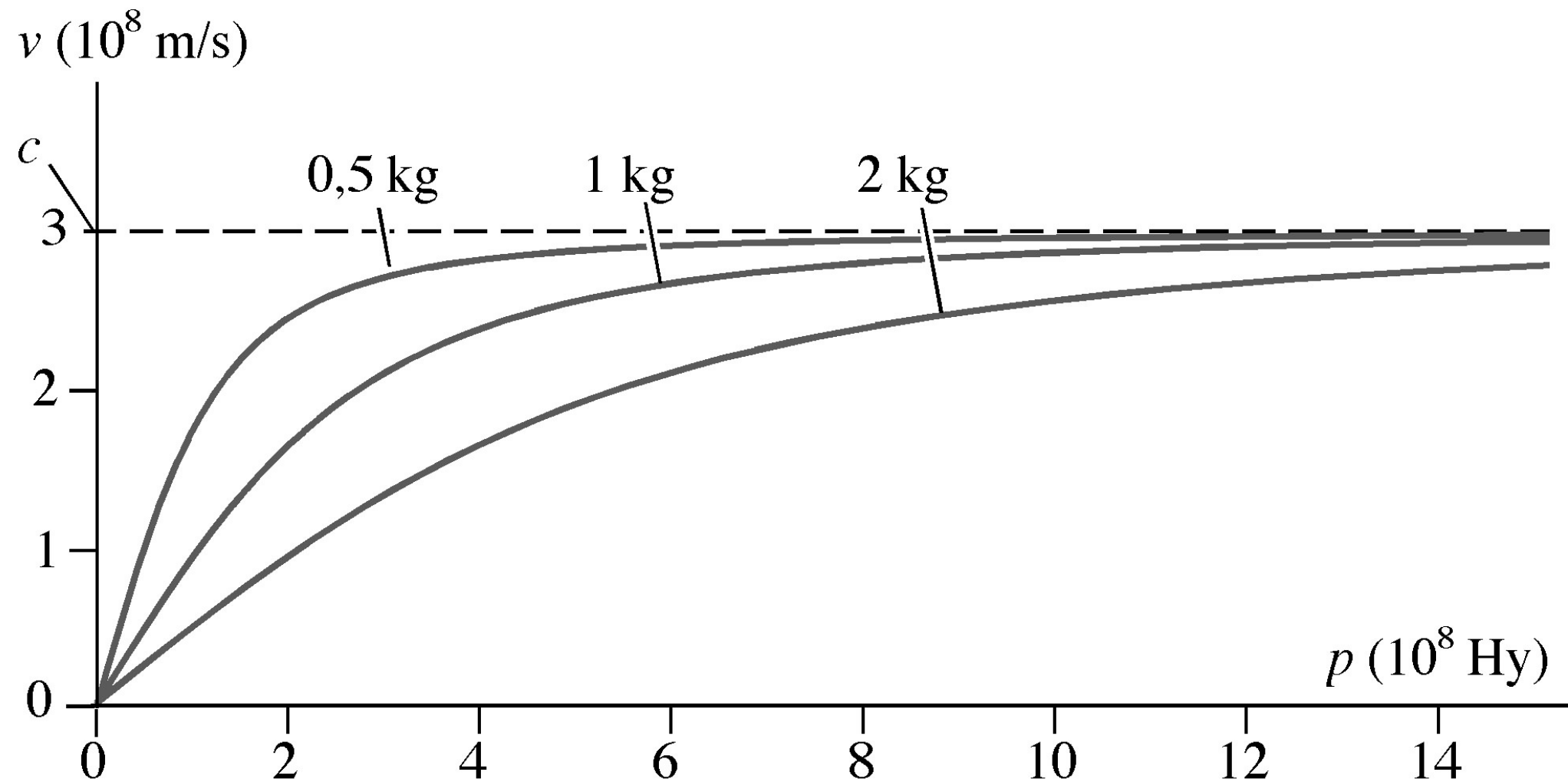
$$v(p) = \frac{p}{\sqrt{m_0^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}}$$

$$E = k \cdot m$$

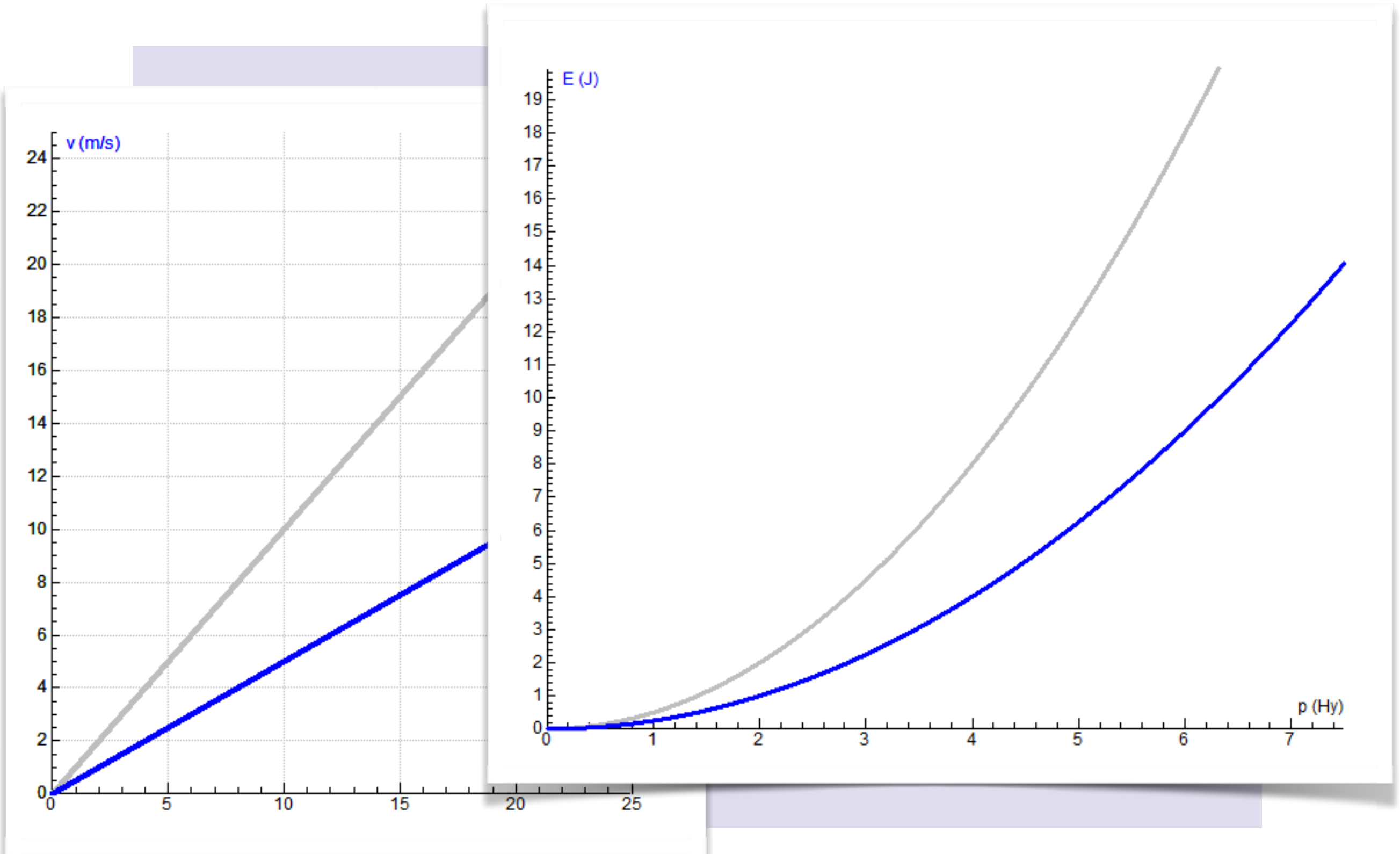
k ist universelle Konstante



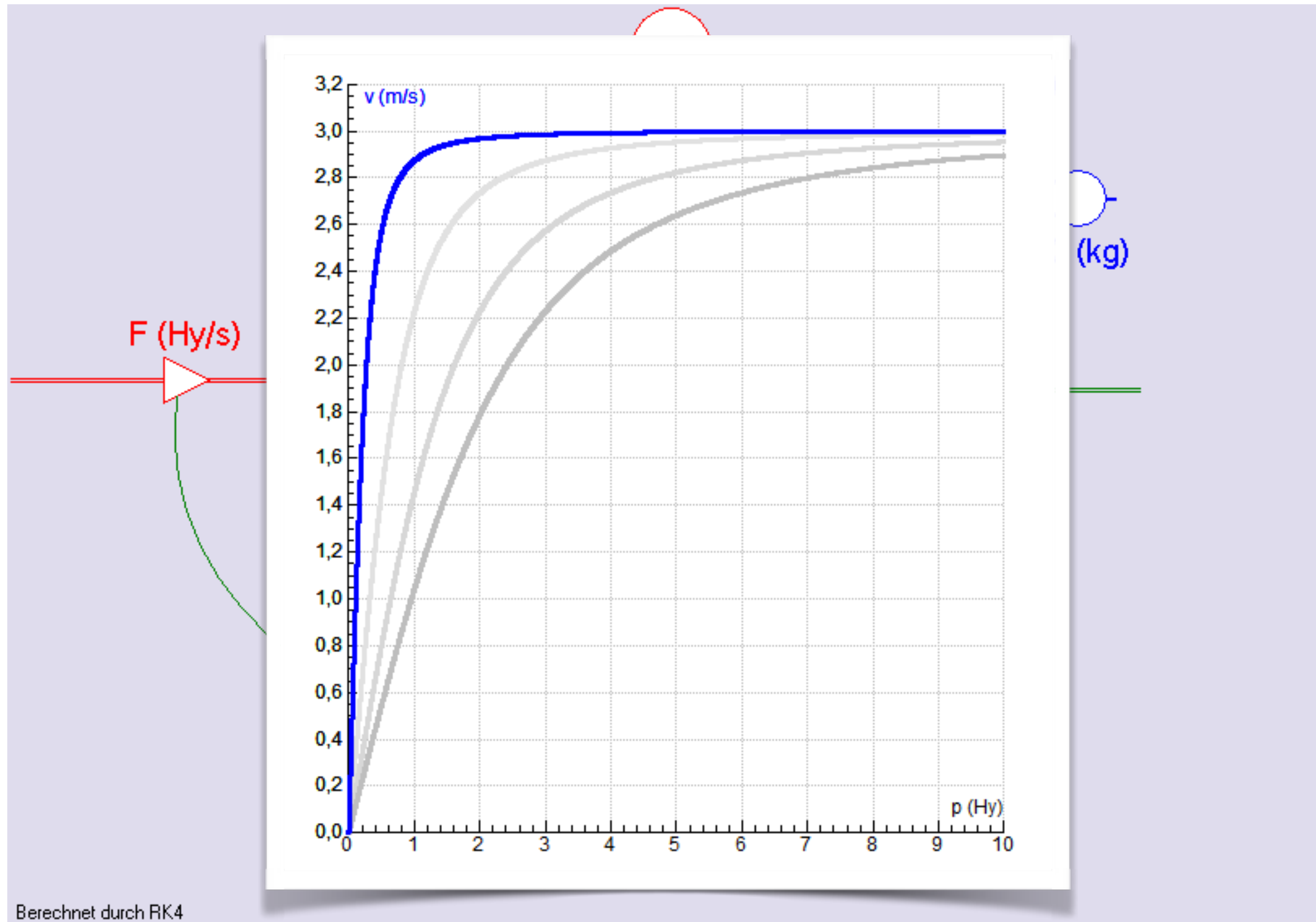
$$v(p) = \frac{p}{\sqrt{m_0^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}}$$

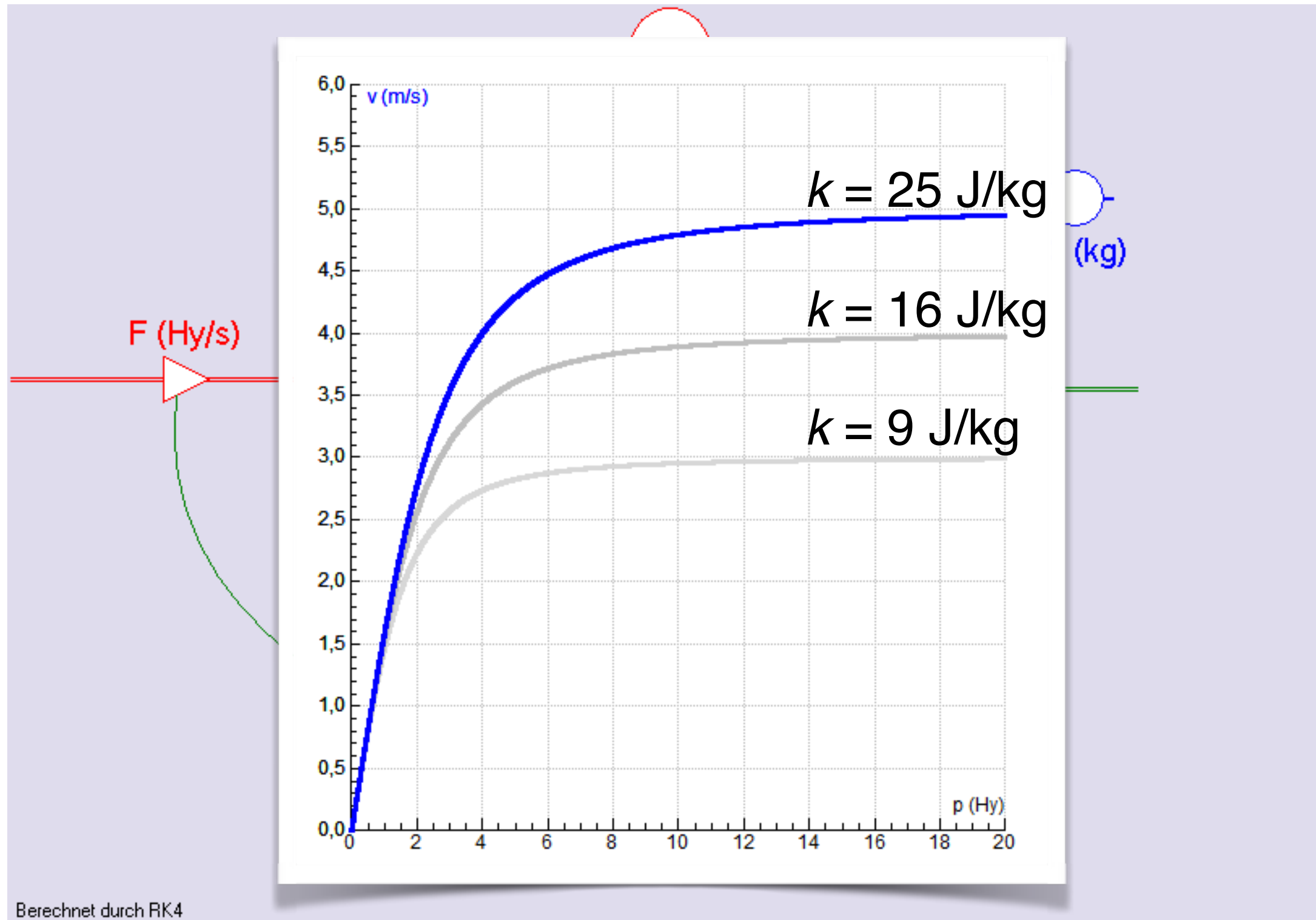


7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

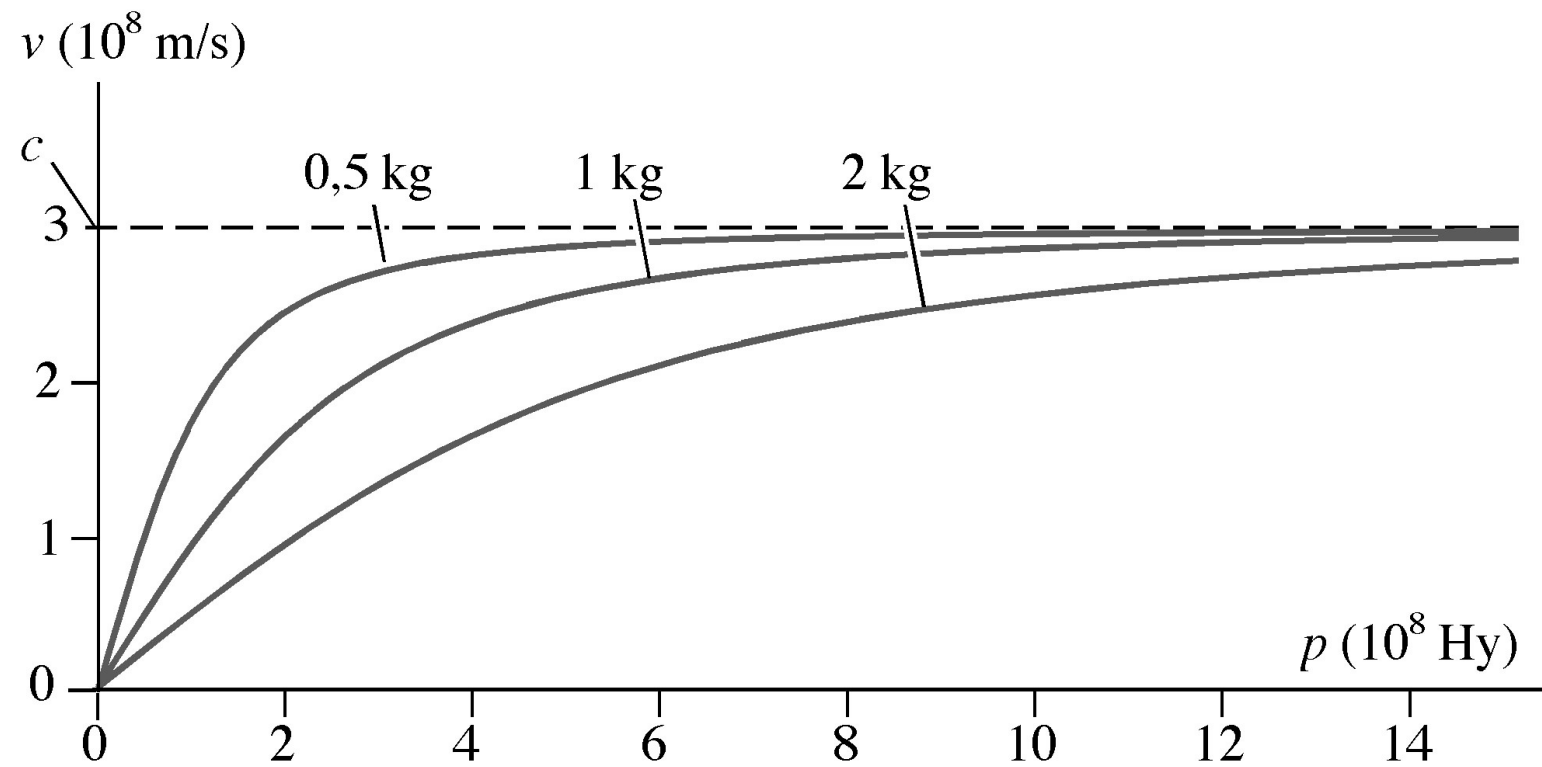


7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt





$$v_{\text{grenz}} = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$



$$v(p) = \frac{p}{\sqrt{m_0^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}}$$

kleine Werte des Impulses: $v \sim p$

große Werte des Impulses: $v = c$

$$m_0 = 0$$

$$v = c$$

7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

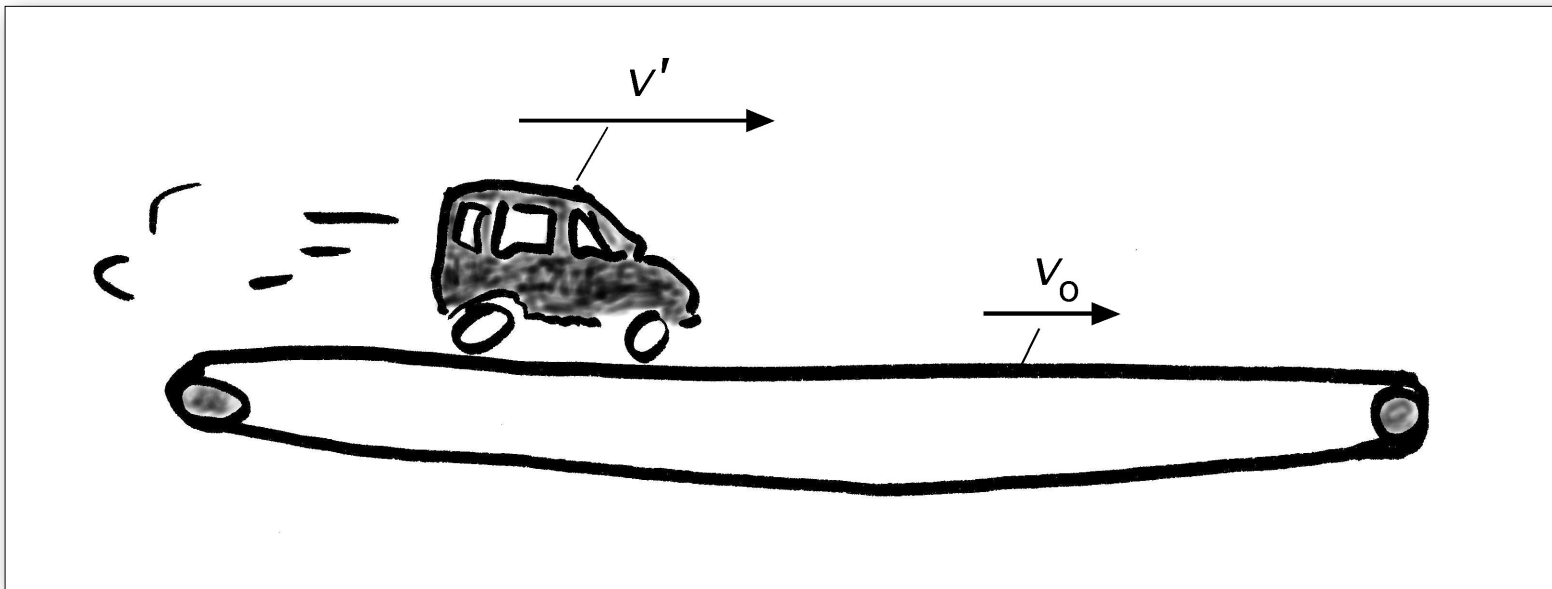
7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld



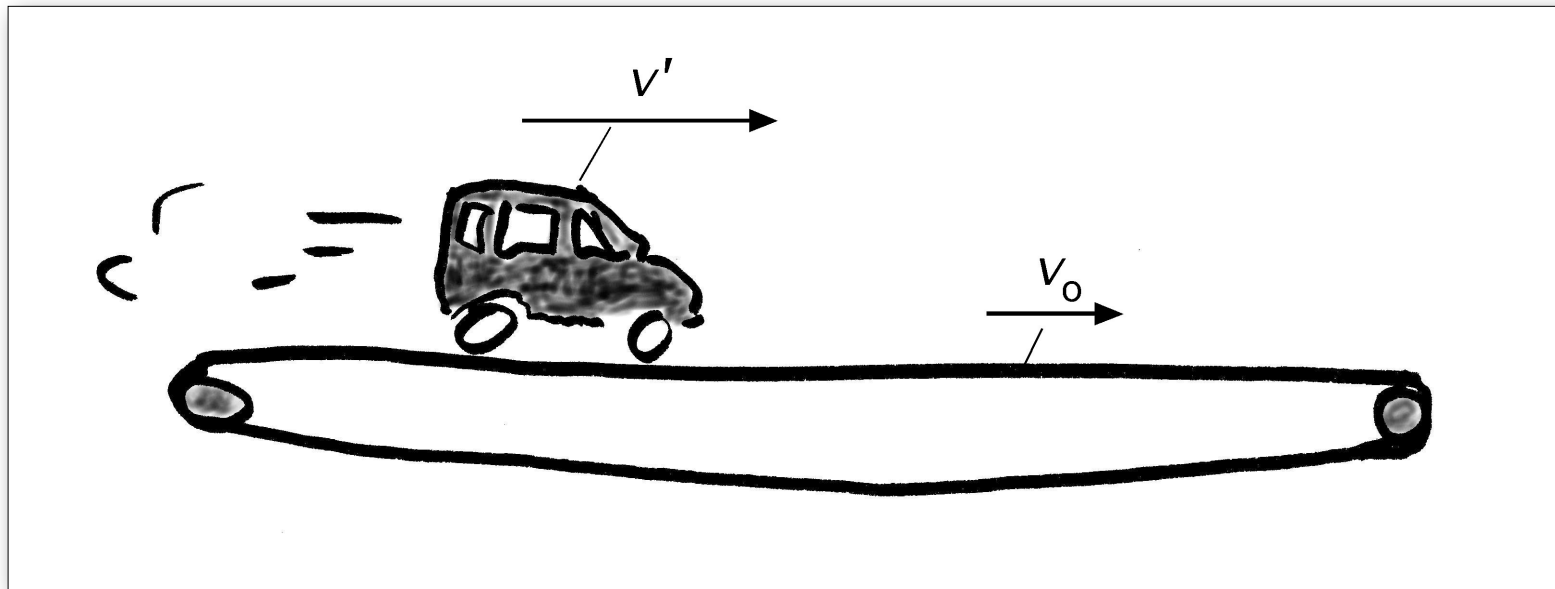
$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v'v_0}{c^2}}$$

Diskussion der Gleichung

$$v' \ll c \quad v_0 \ll c \Rightarrow v = v' + v_0$$

$$v' \approx c \quad v_0 < c \Rightarrow v = c$$

$$v' \approx c \quad v_0 \approx c \Rightarrow v = c$$



$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v'v_0}{c^2}}$$

Bei der Zusammensetzung von Bewegungen werden die Geschwindigkeiten v' und v_0 nicht addiert, sondern es gilt:

7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld

$$E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} v^2$$

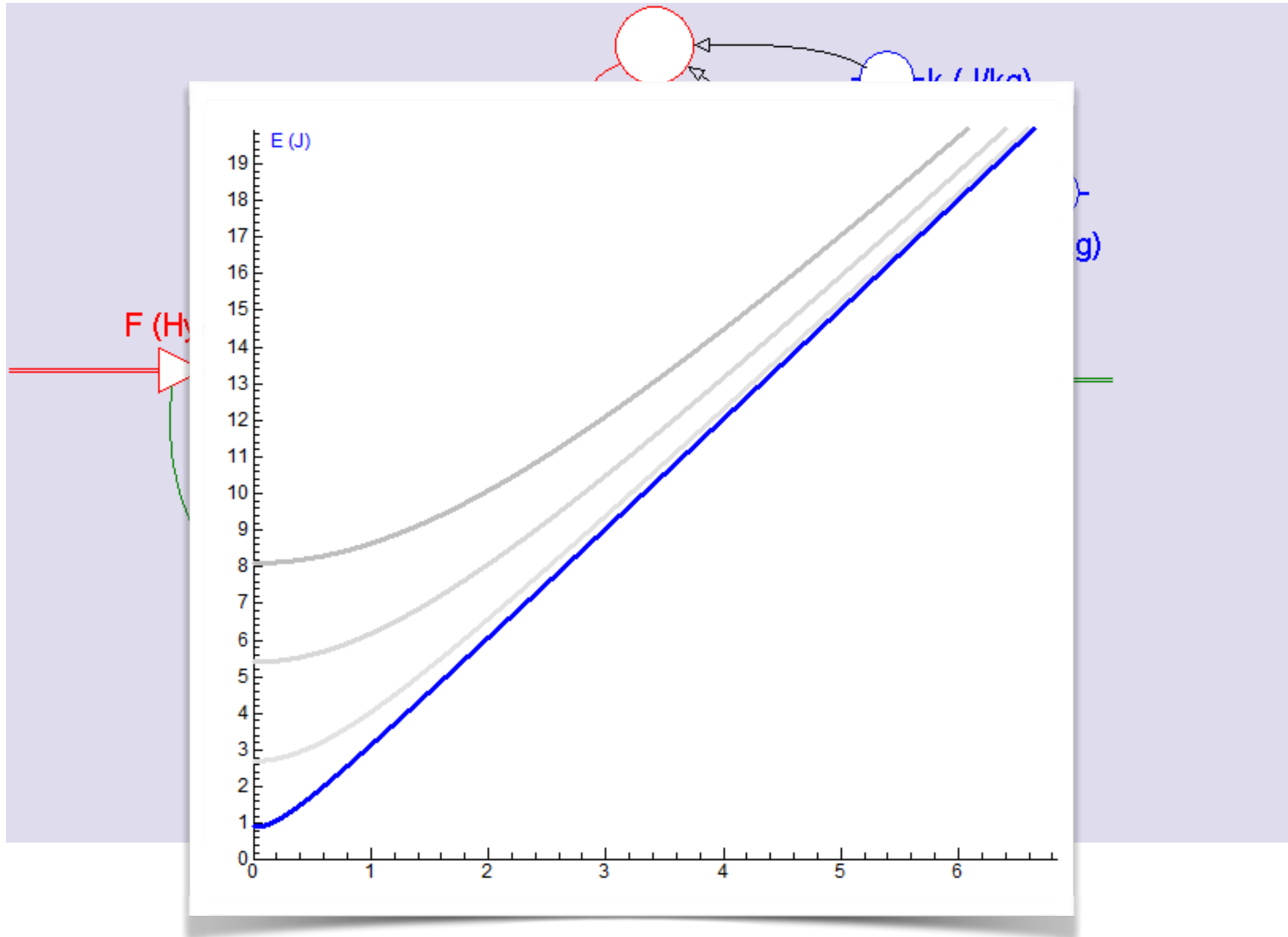
$$E(v) = \frac{m}{2} v^2 + E_0$$

$$E(p) = \frac{p^2}{2m} + E_0$$

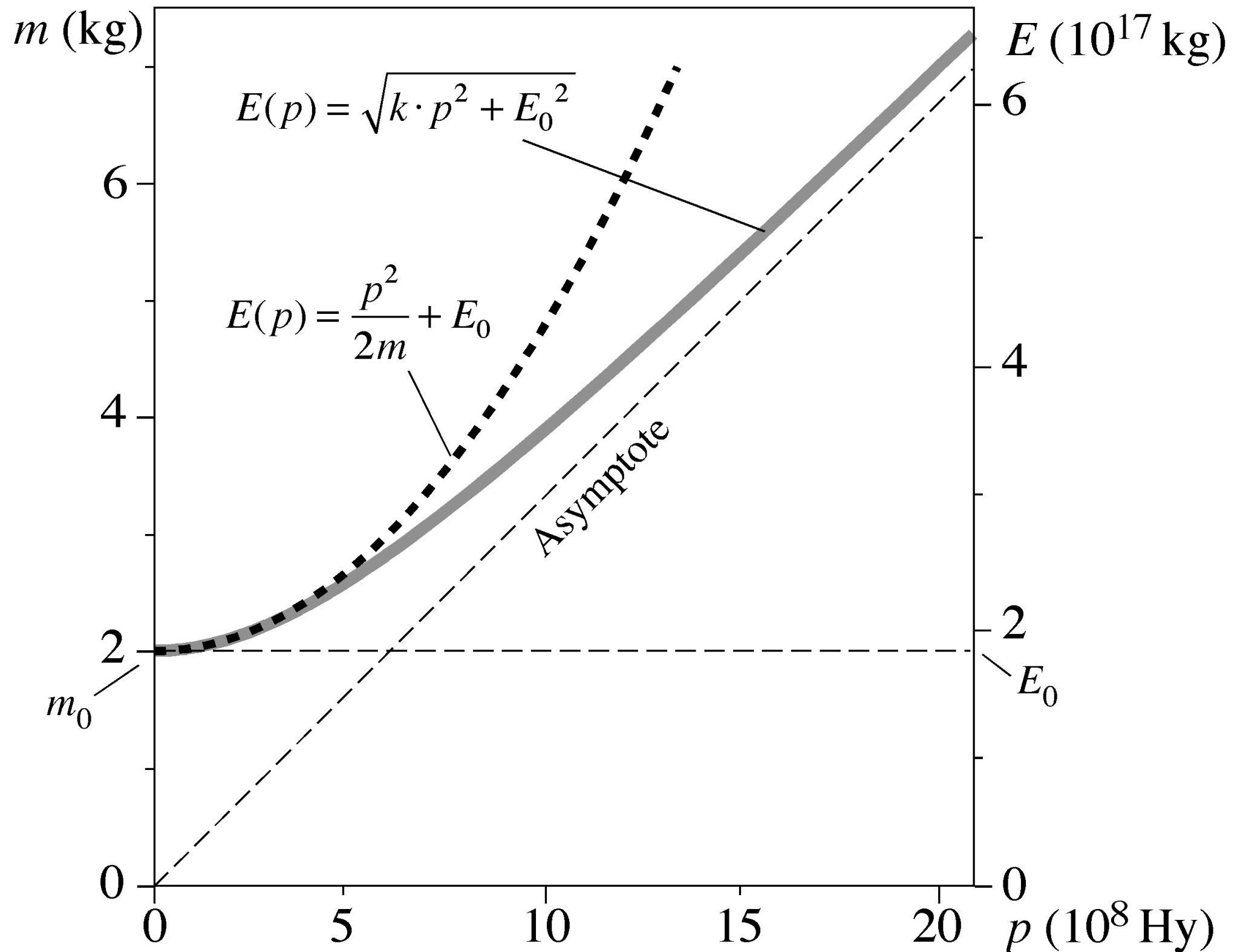
$$E(p) = \sqrt{c^2 \cdot p^2 + E_0^2}$$

$$E(p) = \sqrt{c^2 \cdot p^2 + E_0^2}$$

7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt



$$E(p) = \sqrt{c^2 \cdot p^2 + E_0^2}$$



$$E(p) = \sqrt{c^2 \cdot p^2 + E_0^2}$$

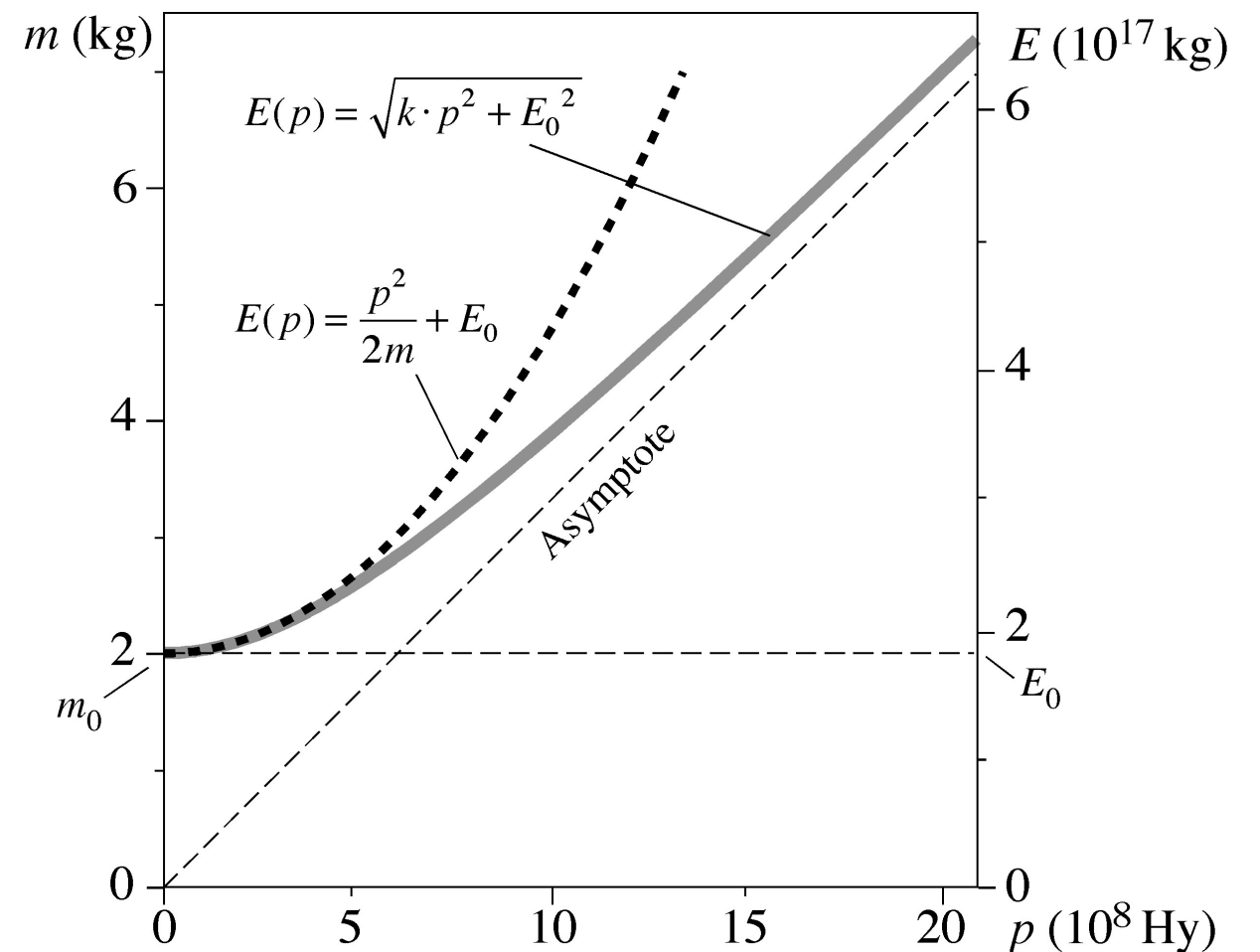
7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

kleine Werte des Impulses:

$$E(p) = \frac{p^2}{2m} + E_0$$

große Werte des Impulses:

$$E(p) = c \cdot p$$



7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

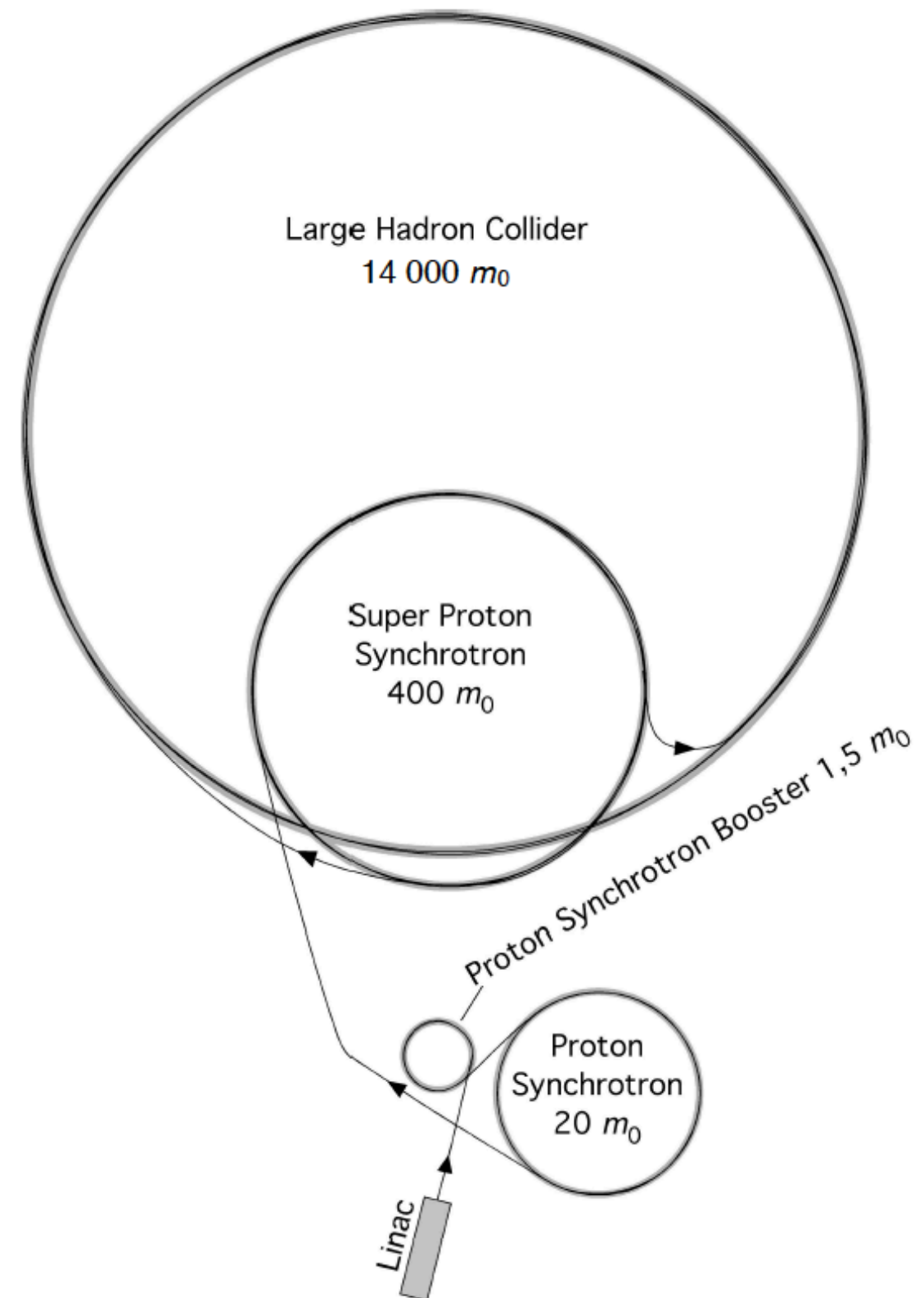
7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld

Teilchenbeschleuniger-Anlage

Teilchen werden mit Energie und Impuls geladen und zum Zusammenstoß gebracht. Es entstehen neue Teilchen, darunter auch solche mit einer viel höheren Ruheenergie als die Ausgangsteilchen

Speicherring



7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld

$$v = c$$

$$E = h \cdot f$$

$$E(p) = c \cdot p$$

$$m \cdot c^2 = c \cdot p \quad m = \frac{p}{c}$$

$$\Delta E = m \cdot (\psi_2 - \psi_1)$$

$$m = \frac{E}{k}$$

$$\psi = g \cdot h$$

$$\Delta E = \frac{E}{k} \cdot (\psi_2 - \psi_1)$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta \psi}{k}$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$E = h \cdot f$$

$$k = 9 \cdot 10^{16} \text{ J/kg}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \psi}{k}$$

Straßenlaterne

$$\Delta \psi = 40 \text{ J/kg}$$

$$\Delta h = 4 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ N/kg}$$

$$\Delta f = 4,4 \cdot 10^{-16} f$$

7.5 Wie die Geschwindigkeit vom Impuls abhängt

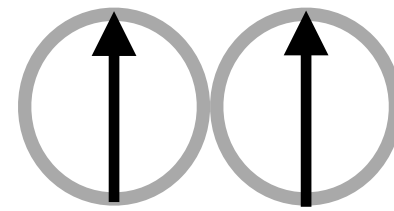
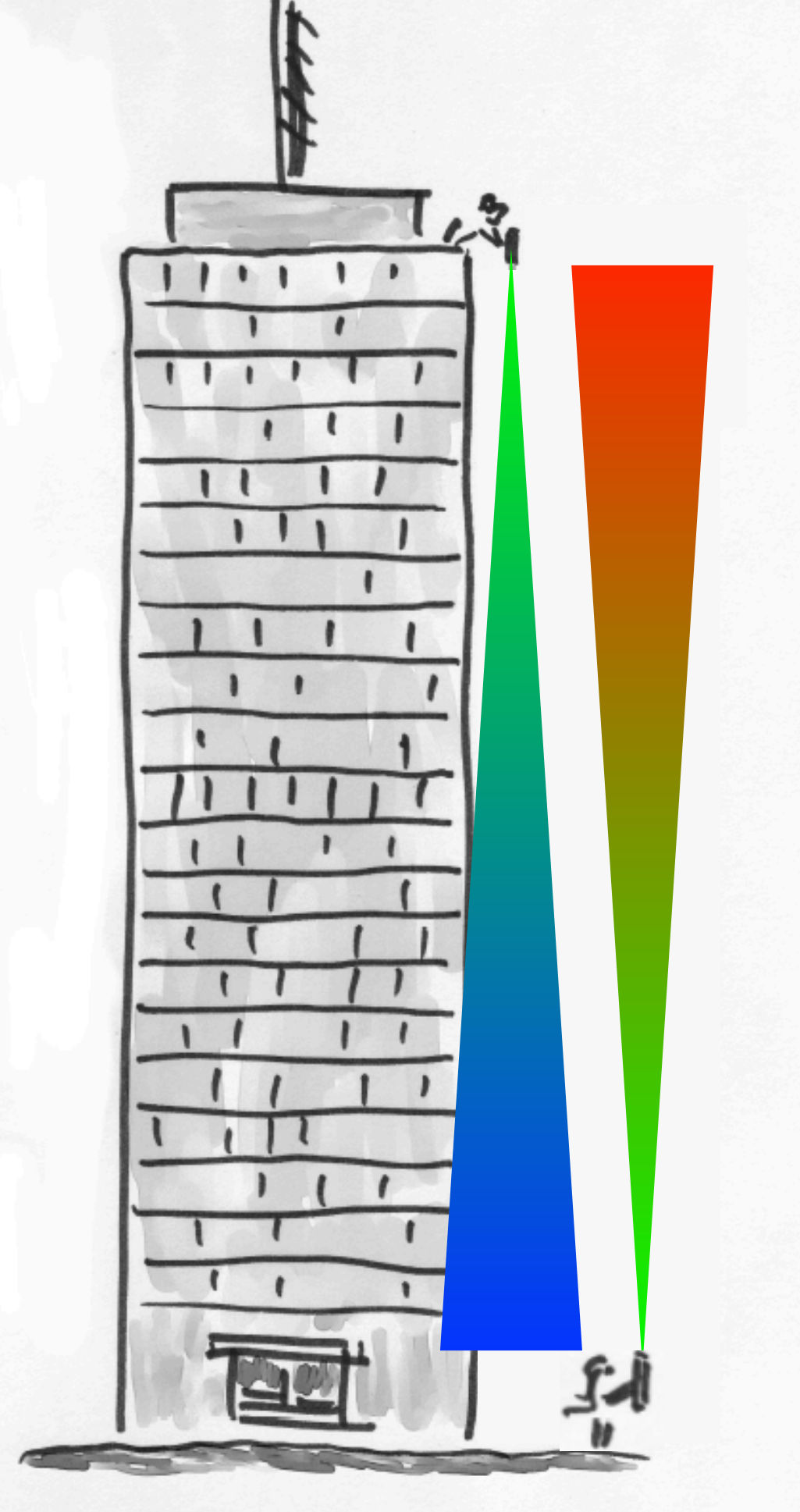
7.6 Geschwindigkeit bei Bezugssystemwechsel

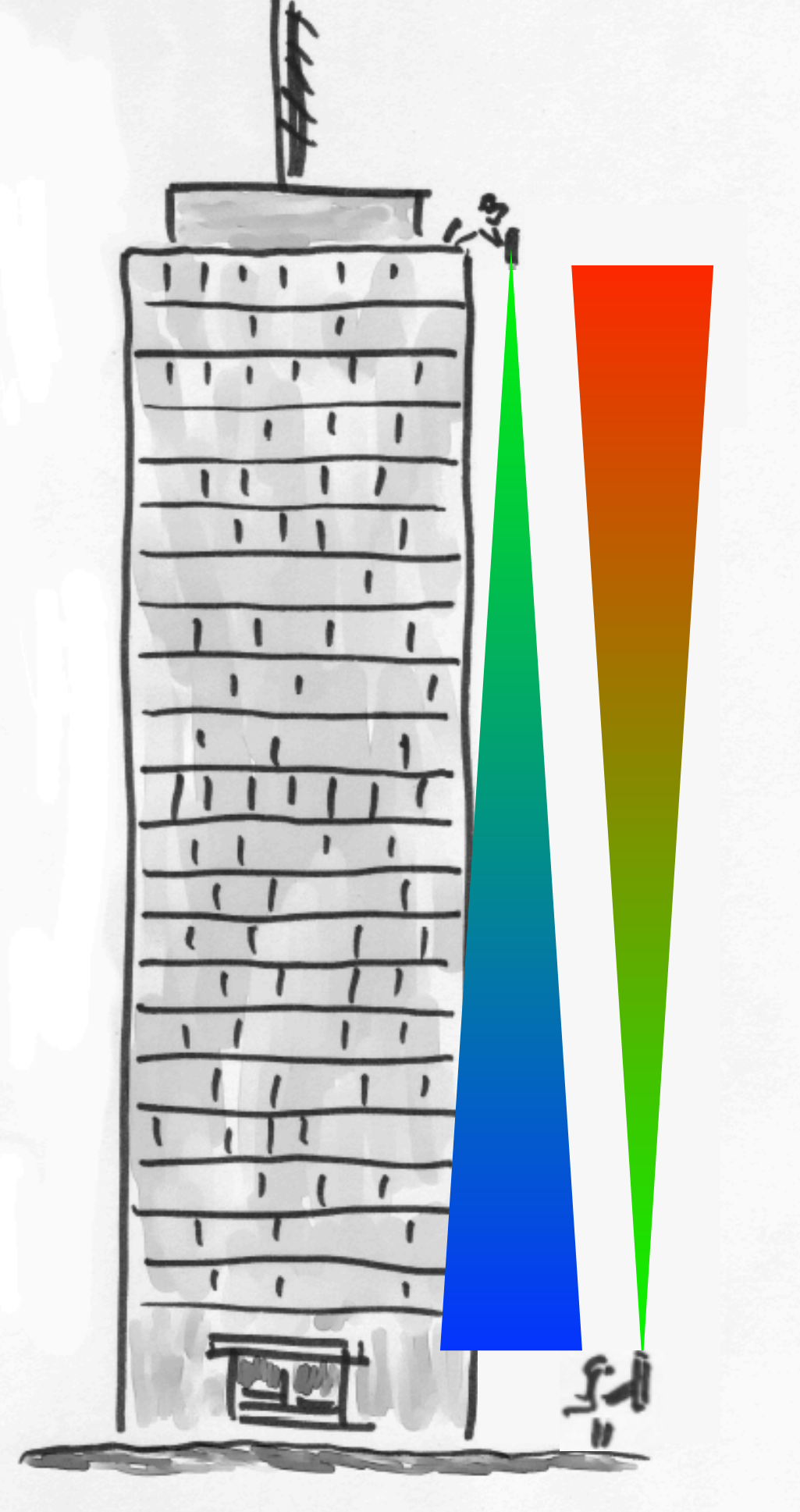
7.7 Wie die Energie vom Impuls abhängt

7.8 Teilchenbeschleuniger

7.9 Licht

7.10 Uhren im Gravitationsfeld





Zwei Personen trennen sich, gehen an Stellen verschiedenen Gravitationspotenzials und treffen sich wieder. Für die Person, die auf dem hohen Gravitationspotenzial war, ist mehr Zeit vergangen.

Ende