

Abbildung 6.3 Federmodell eines Festkörpers. Die Rückstellkonstanten k_i sind bei einem isotropen Kristall gleich, bei einem anisotropen Kristall unterschiedlich

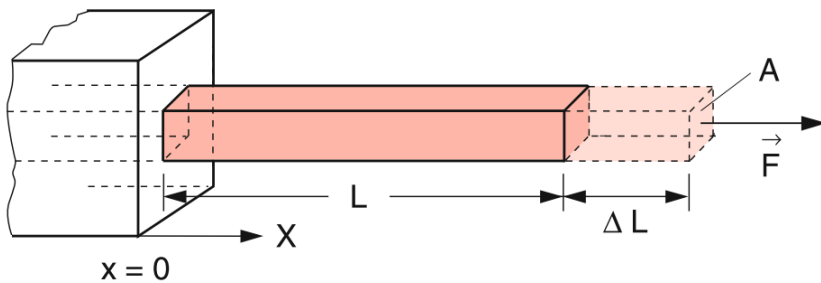


Abbildung 6.6 Ein bei $x = 0$ eingespannter Stab verlängert sich bei $x = L$ unter der Einwirkung einer Kraft F um $\Delta L = L \cdot F / (E \cdot A)$

Tabelle 6.1 Elastizitätskonstanten einiger Festkörper: Elastizitätsmodul E , Schubmodul G , Kompressionsmodul K und Poissonzahl μ . Literatur [6.1]

| Material | E 10^9 N/m^2 | G 10^9 N/m^2 | K 10^9 N/m^2 | μ |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| Aluminium | 71 | 26 | 74 | 0,34 |
| Gusseisen | 64–181 | 25–71 | 48–137 | 0,28 |
| Stahl, ferritisch | 108–212 | 42–83 | 82–161 | 0,28 |
| V2A-Stahl | 200 | 80 | 167 | 0,3 |
| Kupfer | 125 | 46 | 139 | 0,35 |
| Wolfram | 407 | 158 | 323 | 0,29 |
| Blei | 19 | 7 | 53 | 0,44 |
| Quarzglas | 75 | 32 | 38 | 0,17 |
| Eis (-4°C) | 10 | 3,6 | 9 | 0,33 |

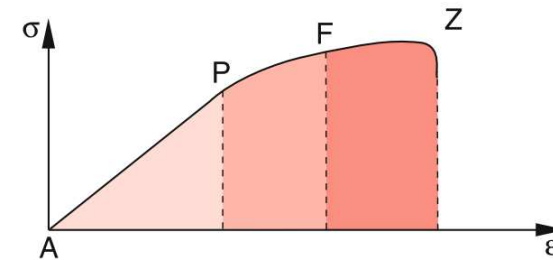


Abbildung 6.7 Relative Längenänderung ε eines Körpers unter dem Einfluss einer Zugspannung σ . Im Punkt P geht die lineare Ausdehnung über in einen nichtlinearen Bereich, F markiert die Fließgrenze, Z die Zerreißgrenze

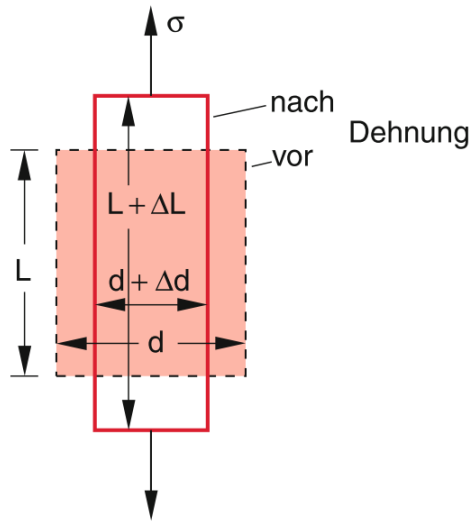


Abbildung 6.10 Querkontraktion beim Wirken einer Zugspannung σ

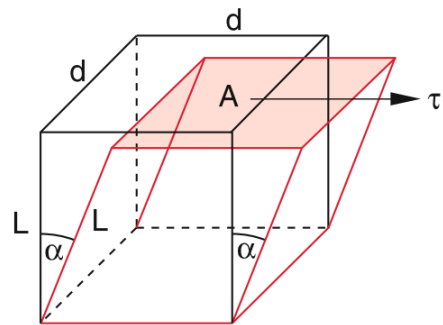


Abbildung 6.11 Scherung eines Quaders unter dem Einfluss einer Schubspannung τ

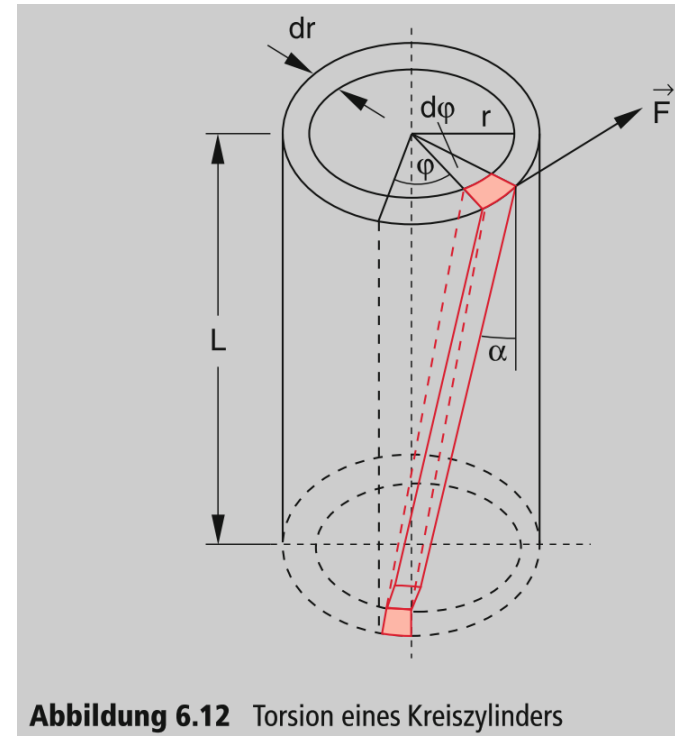


Abbildung 6.12 Torsion eines Kreiszylinders

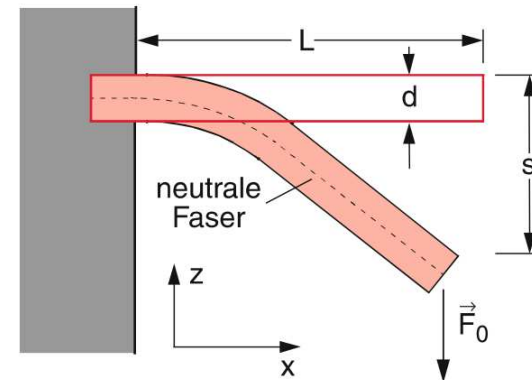


Abbildung 6.13 Durchbiegung eines einseitig eingespannten Balkens unter dem Einfluss einer Kraft F_0

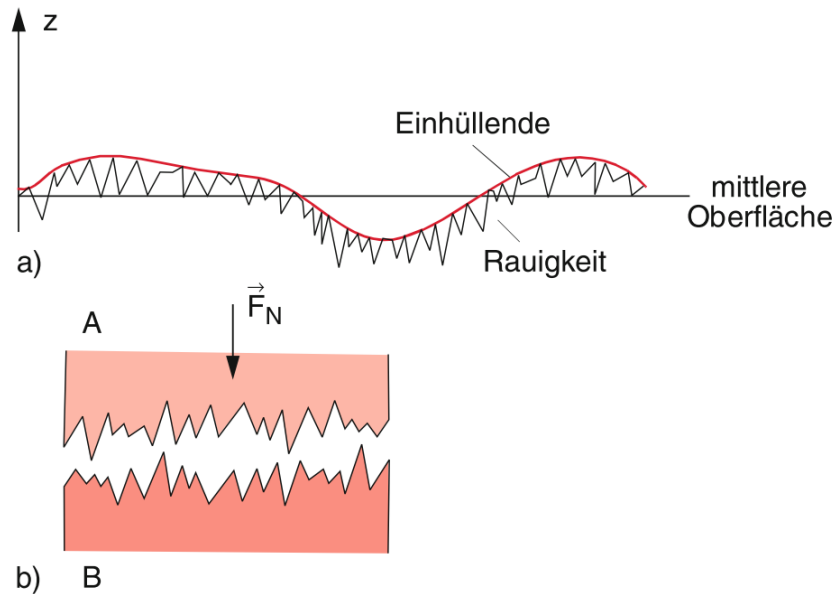


Abbildung 6.43 Schematisches Modell der Oberflächenrauigkeit als Ursache für die Reibung. **a** Mikrorauigkeit (übertrieben gezeichnet) und makroskopische Unebenheiten als Einhüllende der Spitzen; **b** Haftreibung durch Verzahnung der Gebirge

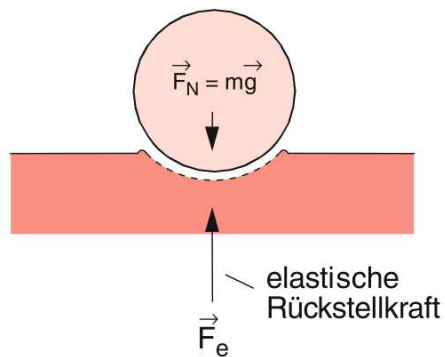
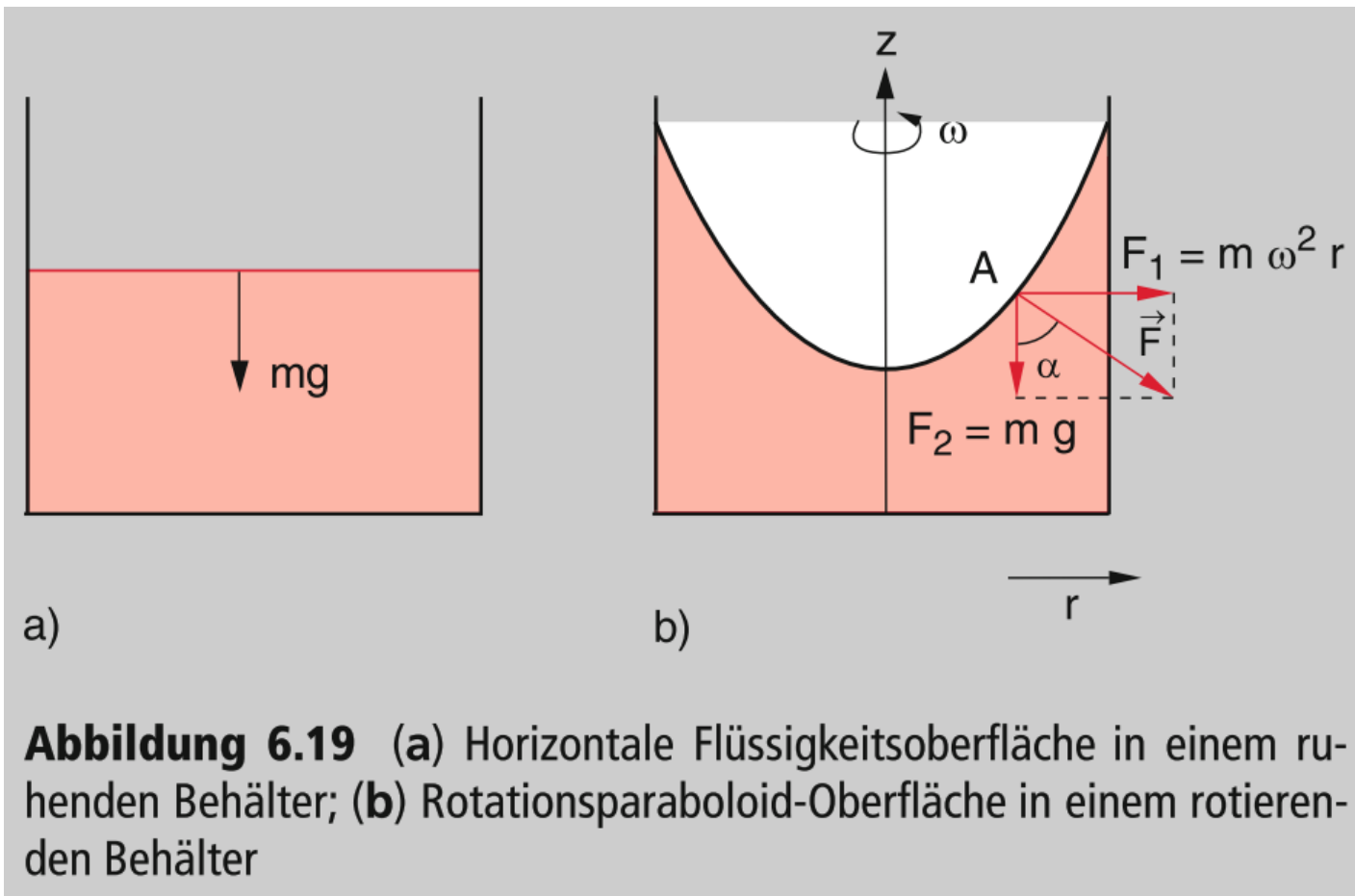


Abbildung 6.45 Deformation der Oberfläche um die Berührungslinie

Tabelle 6.3 Haft-, Gleit- und Rollreibungskoeffizienten einiger sich berührender Materialien. (Die Werte hängen stark von der Beschaffenheit der Oberfläche ab und schwanken daher bei den verschiedenen Autoren)

| Materialien | μ_H | μ_G | μ_R/r |
|------------------------|---------|---------|-----------|
| Stahl–Stahl | 0,5–0,8 | 0,4 | 0,05 |
| Stahl mit Ölfilm | 0,08 | 0,06 | 0,03–0,1 |
| Al–Al | 1,1 | 0,8–1,0 | |
| Stahl–Holz | 0,5 | 0,2–0,5 | |
| Holz–Holz | 0,6 | 0,3 | 0,5 |
| Diamant–Diamant | 0,1 | 0,08 | |
| Glas–Glas | 0,9–1,0 | 0,4 | |
| Gummi–Asphalt | | | |
| – trocken | 1,2 | 1,05 | |
| – nass ohne Wasserfilm | 0,6 | 0,4 | |



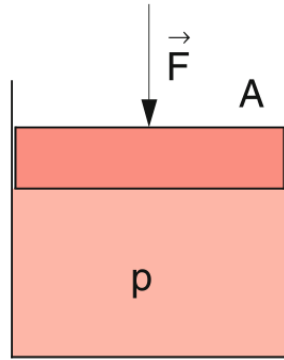


Abbildung 6.20 Die Kraft F , die senkrecht auf einen beweglichen Kolben der Fläche A wirkt, bewirkt in der Flüssigkeit den Druck $p = F/A$ mit $F = |\vec{F}|$

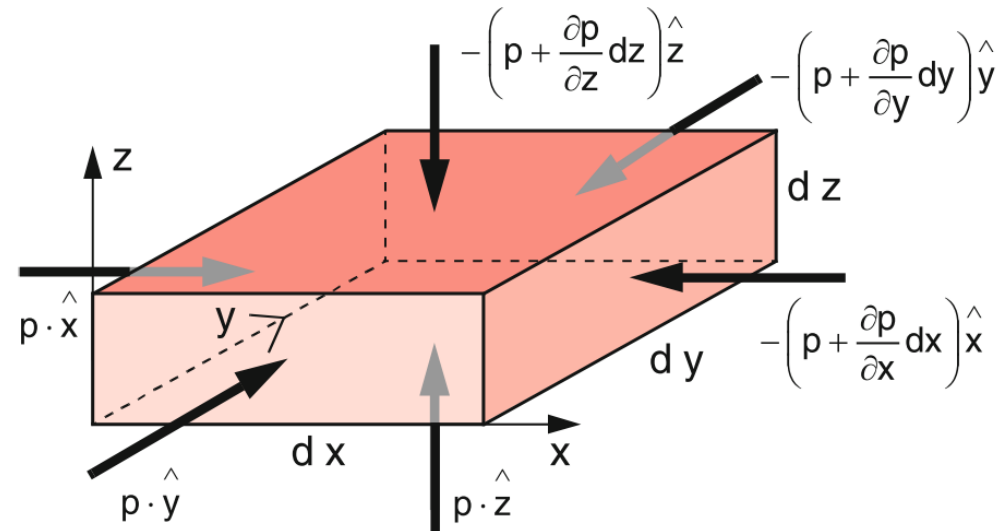


Abbildung 6.21 Zusammenhang zwischen Kräften auf die Oberfläche eines Flüssigkeitselementes und dem Druck im Inneren

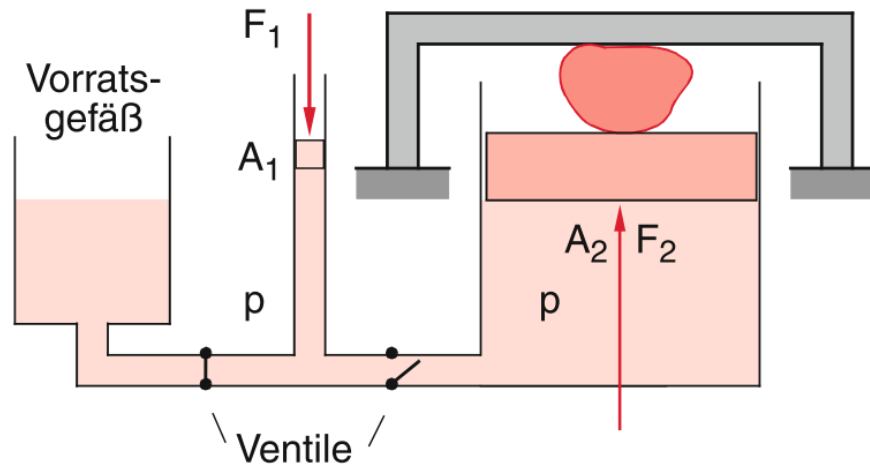


Abbildung 6.23 Hydraulische Presse (Kräfte nicht maßstabsgerecht)

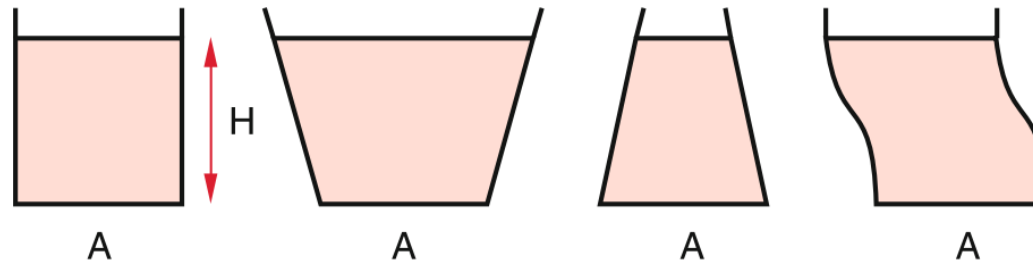


Abbildung 6.26 Hydrostatisches Paradoxon: Der Druck auf die Bodenfläche eines Gefäßes ist bei gleicher Füllhöhe H für alle Gefäße gleich

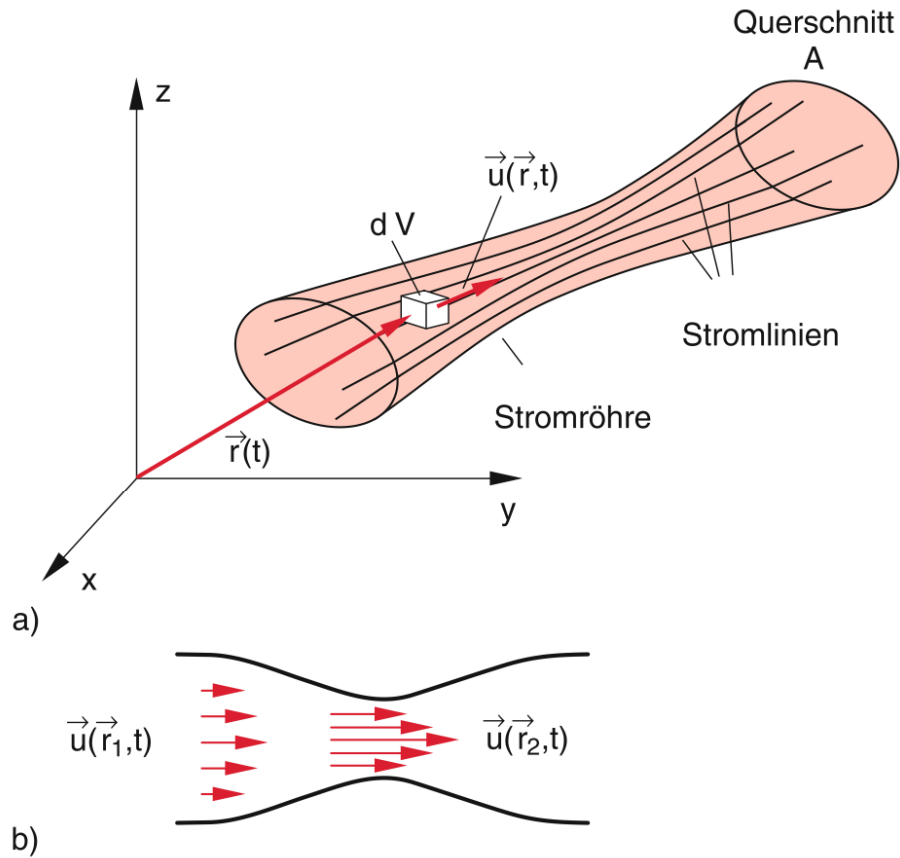


Abbildung 8.1 (a) Stromlinien, Stromröhre und Strömungsgeschwindigkeit $u(r, t)$; (b) Momentanaufnahme eines Strömungsfeldes (Geschwindigkeitsfeld)

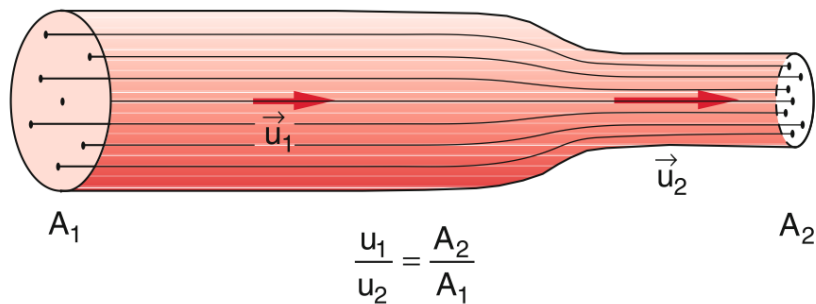


Abbildung 8.3 Beispiel einer laminaren Strömung

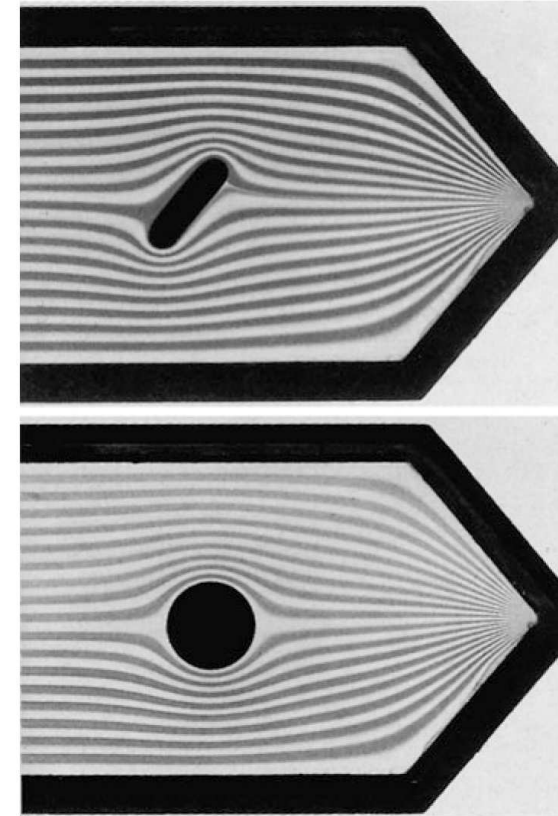


Abbildung 8.5 Laminare Strömung von links nach rechts um verschiedene Hindernisse, aufgenommen mit dem Stromfädenapparat der Abb. 8.4

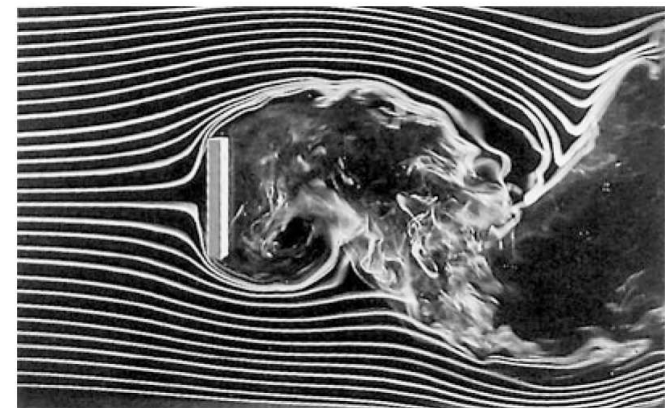


Abbildung 8.6 Turbulente Strömung, von links kommend

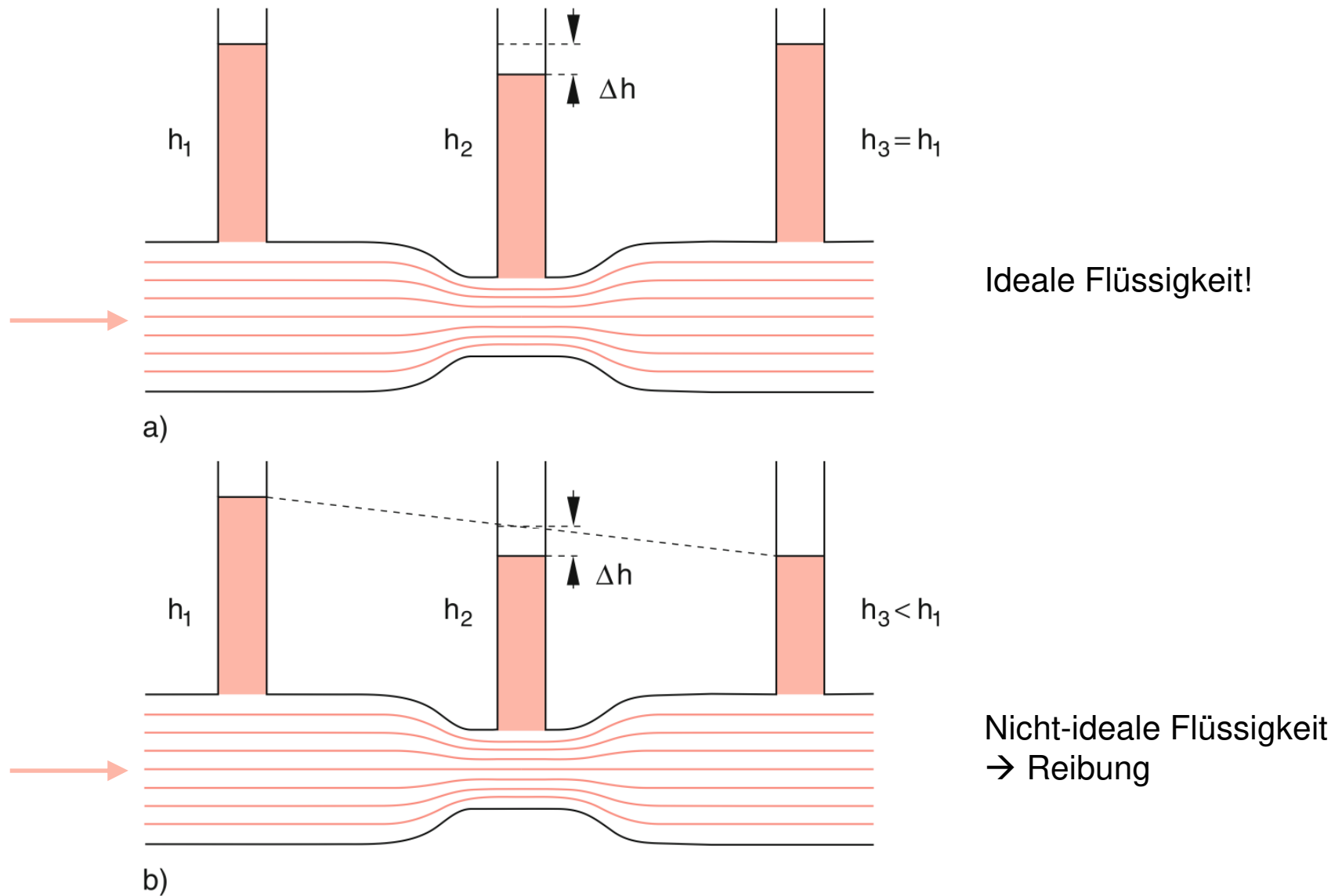


Abbildung 8.9 Demonstration der Bernoulli-Gleichung durch Messung des Drucks mit Steigrohren. Die Druckdifferenz ist $\Delta p = \rho g \Delta h$. **a** Für ideale Flüssigkeiten ohne Reibung; **b** für reale Flüssigkeiten mit Reibung. Strömung von links nach rechts

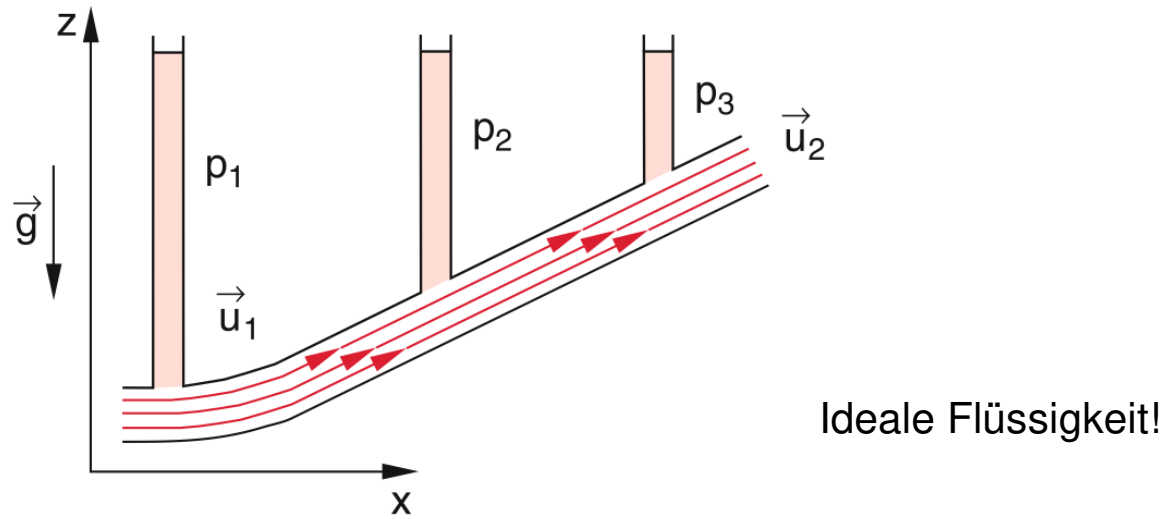


Abbildung 8.11 Strömung einer Flüssigkeit durch ein schräges Rohr

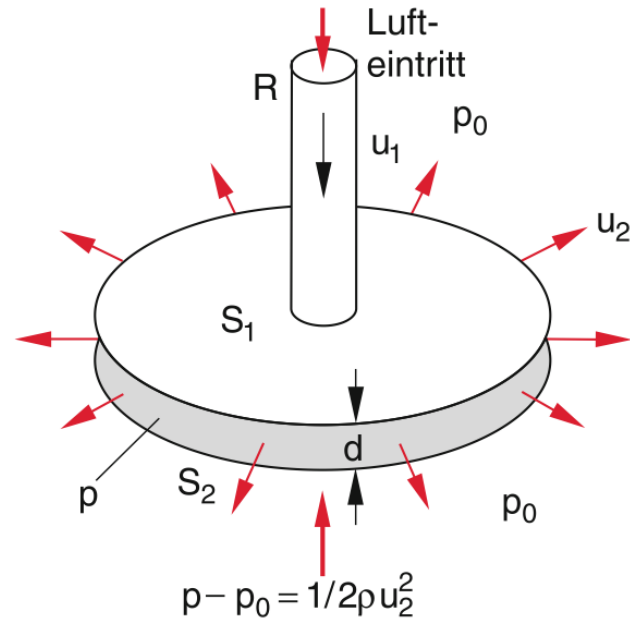


Abbildung 8.12 Hydrodynamisches Paradoxon

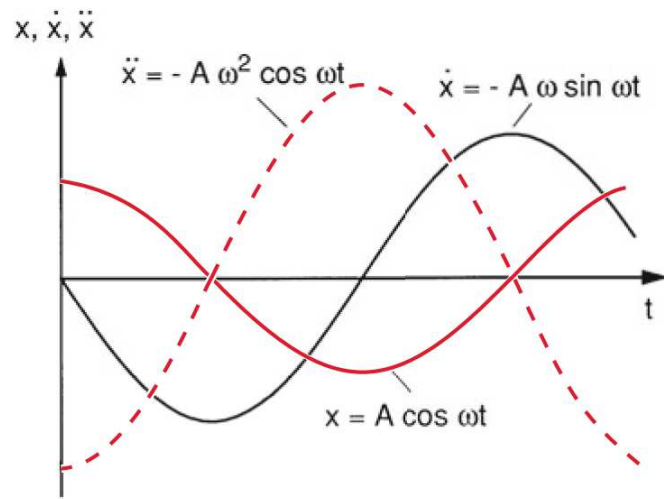


Abbildung 11.4 Auslenkung $x(t)$, Geschwindigkeit $\dot{x}(t)$ und Beschleunigung $\ddot{x}(t)$ einer harmonischen Schwingung

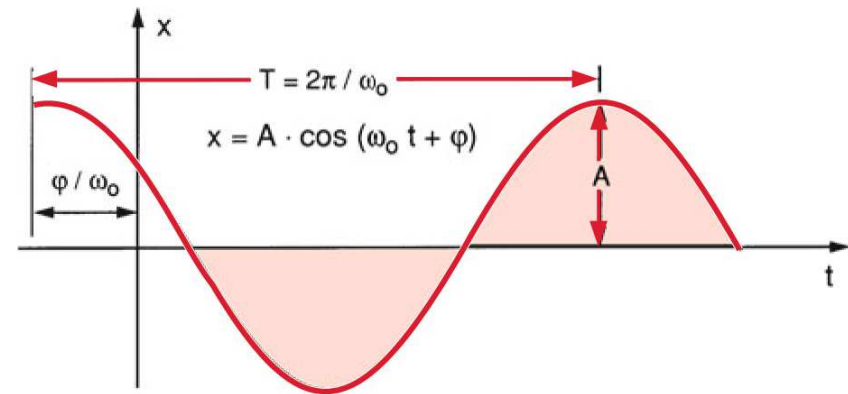


Abbildung 11.3 Schwingungsdauer T , Amplitude A und Phasenverschiebung φ einer harmonischen Schwingung

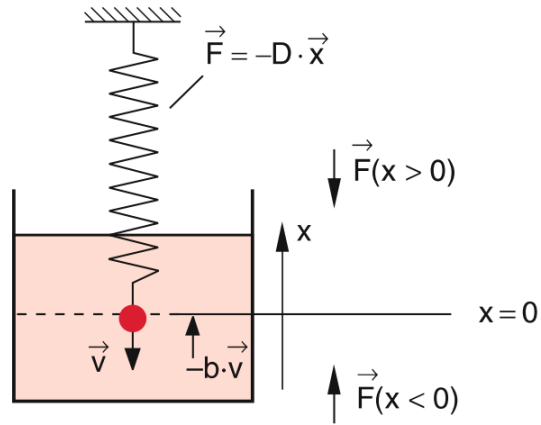
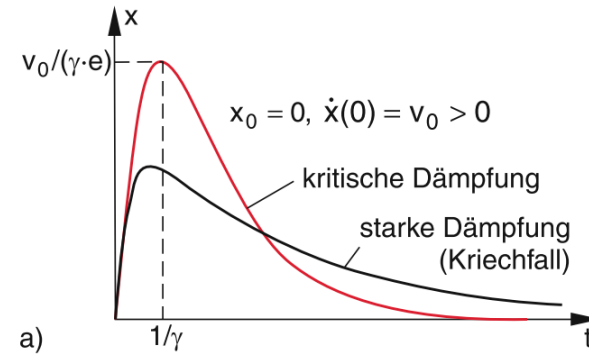
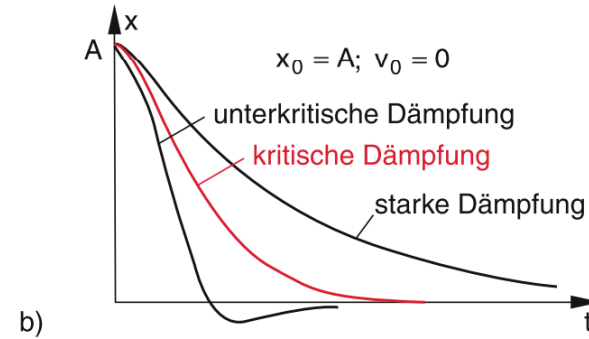
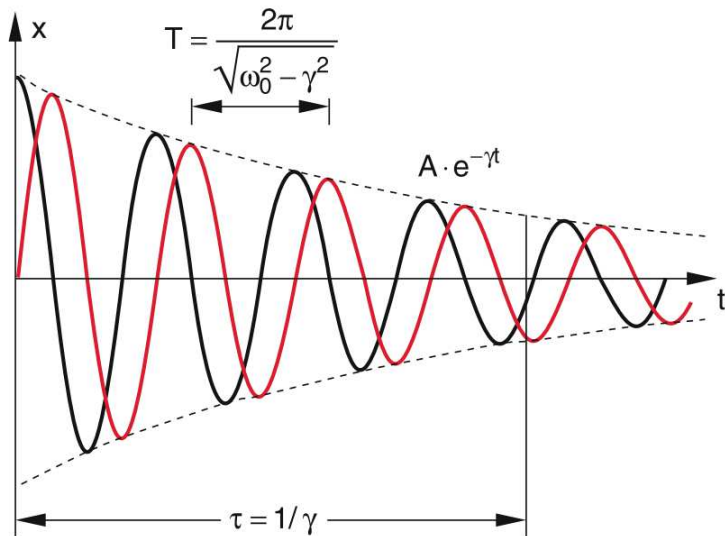


Abbildung 11.16 Gedämpfter Oszillator



a)



b)

Abbildung 11.18 Auslenkung $x(t)$ des gedämpften Oszillators für kritische (rote Kurve, aperiodischer Grenzfall) und überkritische Dämpfung (schwarze Kurve, Kriechfall) Anfangsbedingungen **a** $x(0) = 0, \dot{x}(0) = v_0$; **b** $x(0) = A, \dot{x}(0) = 0$

Abbildung 11.17 Gedämpfte Schwingung mit Dämpfungskonstante γ und Schwingungsdauer T für die Anfangsbedingungen $x(0) = A$ (schwarz) und $x(0) = 0$ (rot)

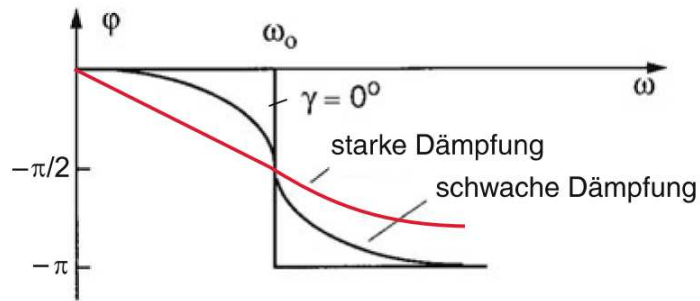


Abbildung 11.20 Phasenverschiebung φ zwischen erzwungener und Erregerschwingung für verschiedene Dämpfungen

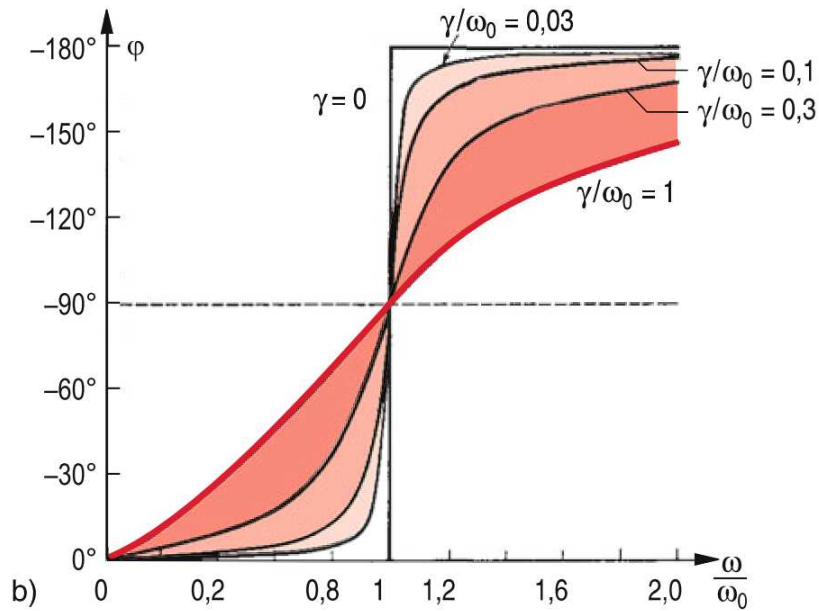


Abbildung 11.22 a Resonanzkurve der erzwungenen Schwingung für verschiedene Dämpfungen. Man beachte die Verschiebung des Maximums mit zunehmender Dämpfung. **b** Quantitativer Verlauf der Phasenverschiebung

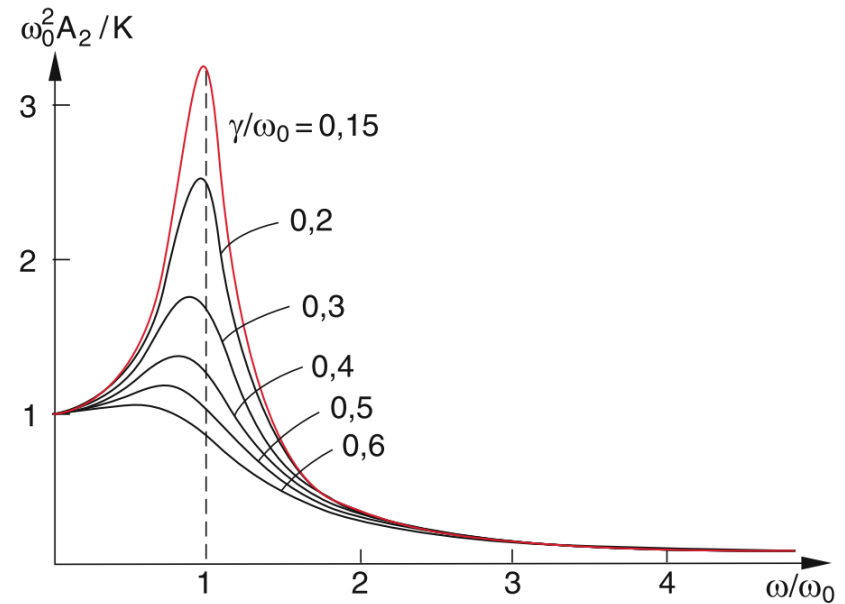
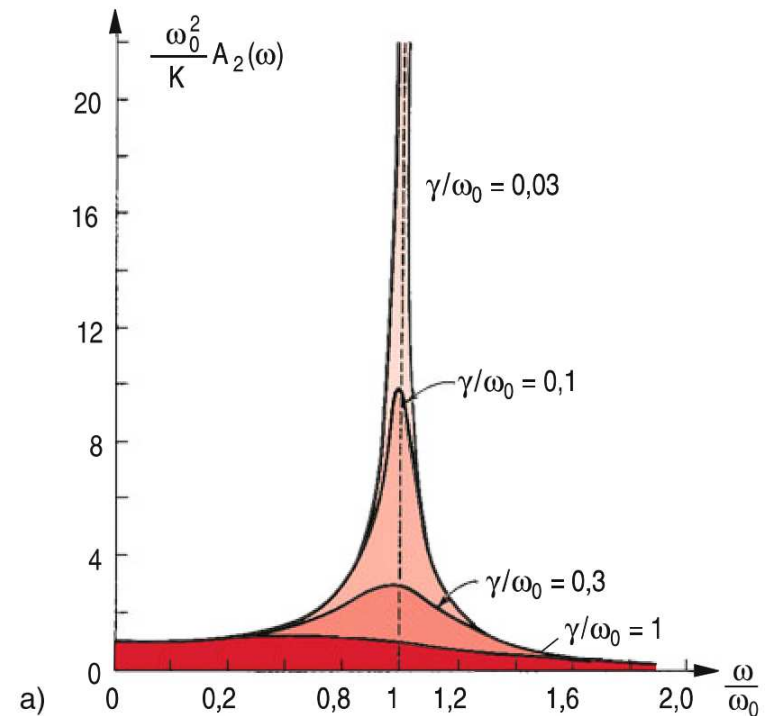


Abbildung 11.23 Normierte Amplitude $|A_2(\omega)|$ einer erzwungenen Schwingung



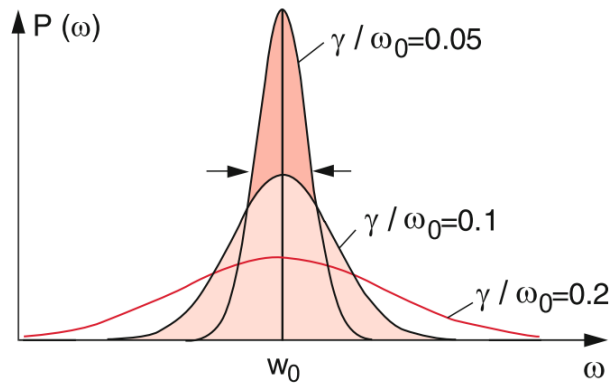


Abbildung 11.24 Aufgenommene Leistung $P(\omega)$ der gedämpften erzwungenen Schwingung

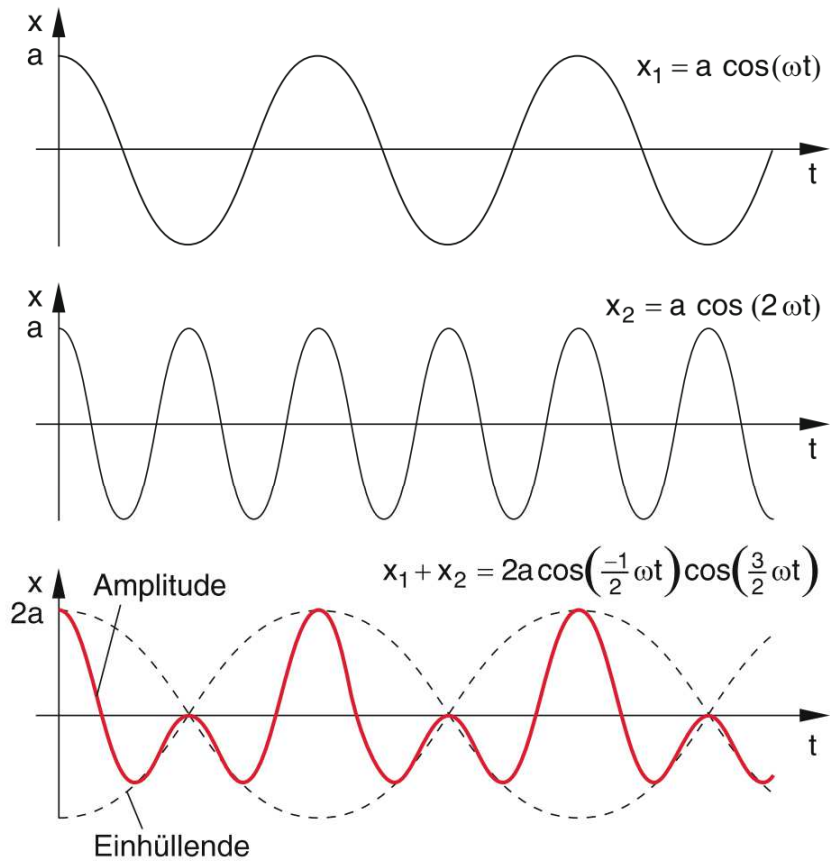


Abbildung 11.7 Eindimensionale Überlagerung zweier Schwingungen unterschiedlicher Frequenz

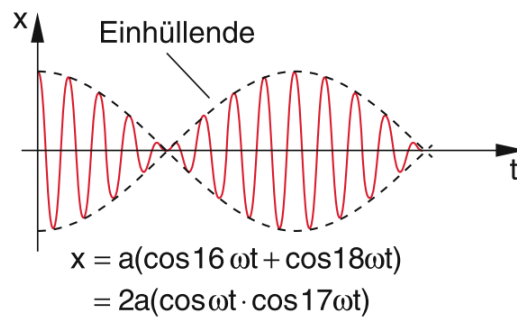


Abbildung 11.8 Schwebung bei der Überlagerung zweier Schwingungen mit $\delta\omega \ll \omega$

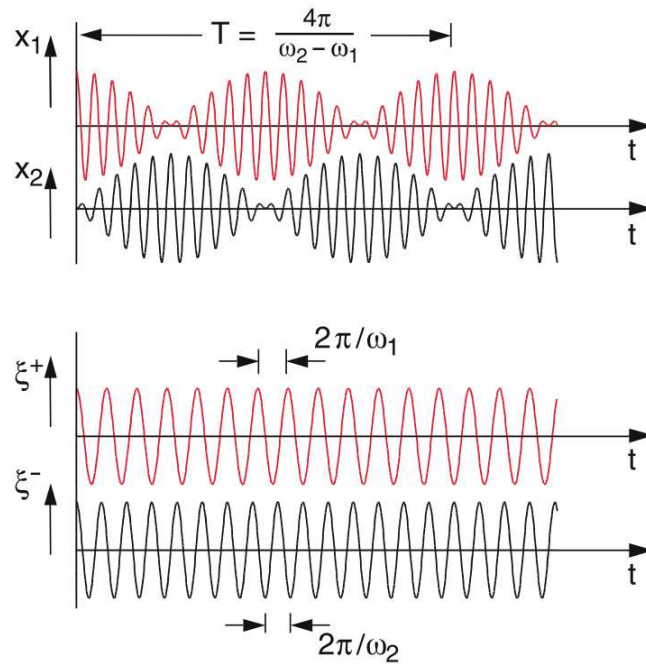


Abbildung 11.27 Schwingungsamplituden $x_1(t)$ und $x_2(t)$ gekoppelter Oszillatoren mit der Schwebungsperiode T und die beiden Normalschwingungen $\xi^+(t)$ und $\xi^-(t)$

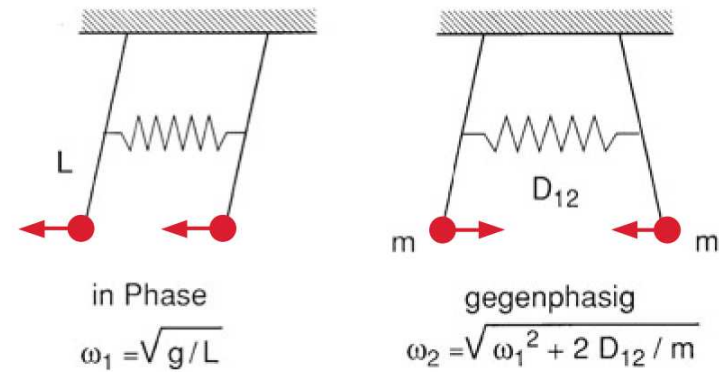


Abbildung 11.28 Anfangsbedingungen für die Anregung der beiden Normalschwingungen $\xi^+(t)$ und $\xi^-(t)$

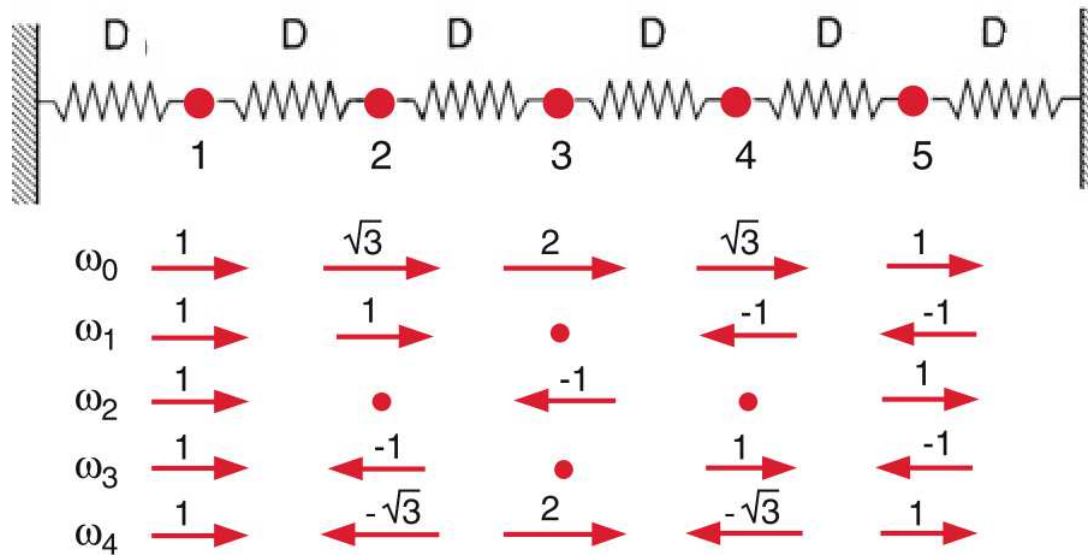


Abbildung 11.32 Longitudinale Schwingungen einer linearen Kette aus fünf gleichen Massen

$$m \cdot \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2D & D & 0 & 0 & 0 \\ D & -2D & D & 0 & 0 \\ 0 & D & -2D & D & 0 \\ 0 & 0 & D & -2D & D \\ 0 & 0 & 0 & D & -2D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sqrt{(2 - \sqrt{3})D/m}; & \omega_1 &= \sqrt{D/m} \\ \omega_2 &= \sqrt{2D/m}; & \omega_3 &= \sqrt{3D/m} \\ \omega_4 &= \sqrt{(2 + \sqrt{3})D/m} \end{aligned}$$

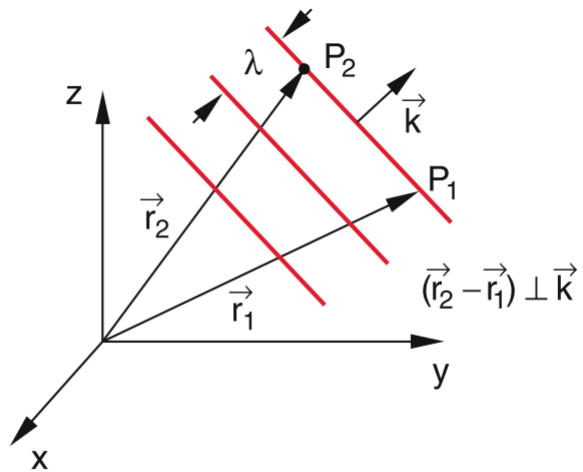
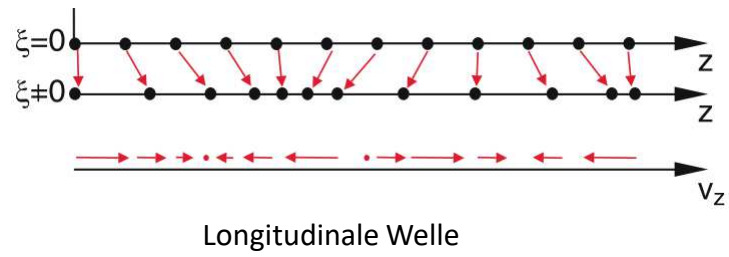


Abbildung 11.42 Ebene Welle mit beliebiger Ausbreitungsrichtung k

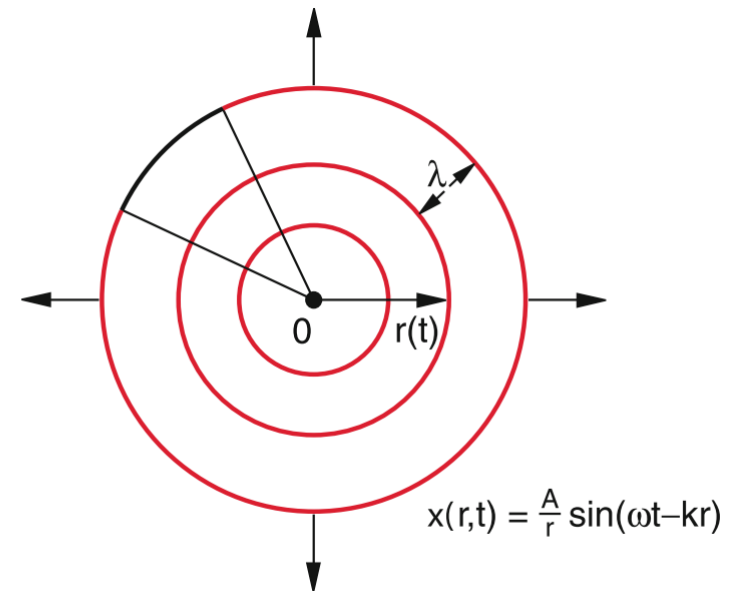


Abbildung 11.43 Kugelwelle

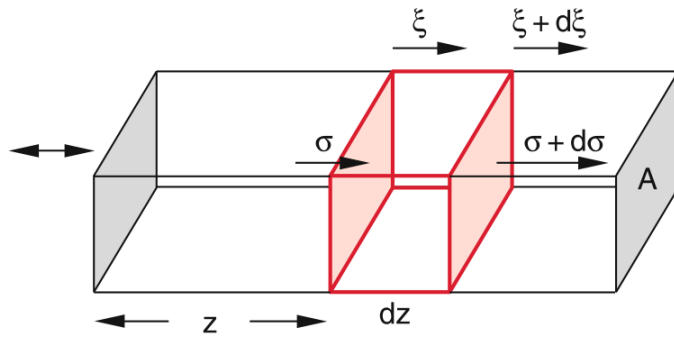


Abbildung 11.45 Zur Herleitung der Wellengleichung (11.74)

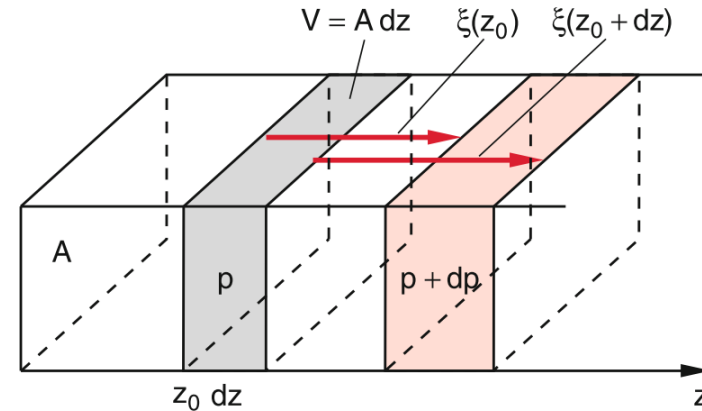


Abbildung 11.48 Zur Ausbreitung einer ebenen Schallwelle in Gasen

Tabelle 11.1 Schallgeschwindigkeiten von Longitudinal- und Transversalwellen in einigen isotropen unendlich ausgedehnten festen Körpern bei 20 °C

| Material | $v_{\text{long}}/\text{m s}^{-1}$ | $v_{\text{trans}}/\text{m s}^{-1}$ |
|-----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Aluminium | 6420 | 3040 |
| Titan | 6070 | 3125 |
| Eisen | 5950 | 3240 |
| Blei | 1960 | 690 |
| Pyrexglas | 5640 | 3280 |
| Flintglas | 3980 | 2380 |
| Nylon | 2620 | 1070 |

Tabelle 11.3 Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten ($p = 1 \text{ bar}$, $T_c = 0 \text{ °C}$ und 100 °C)

| Medium | $v_{\text{ph}}/\text{m s}^{-1}$ bei 0 °C | $v_{\text{ph}}/\text{m s}^{-1}$ bei 100 °C |
|----------------------|---|---|
| Luft | 331,5 | 387,5 |
| Wasserstoff | 1284 | 1500 |
| Sauerstoff | 316 | 369 |
| Helium | 965 | 1127,1 |
| Argon | 319 | 372,6 |
| CO ₂ -Gas | 259 | 313 |
| Wasser | 1402 | 1543 |
| Methanol | 1189 | |
| Pentan | 951 | |
| Quecksilber | 1450 | |

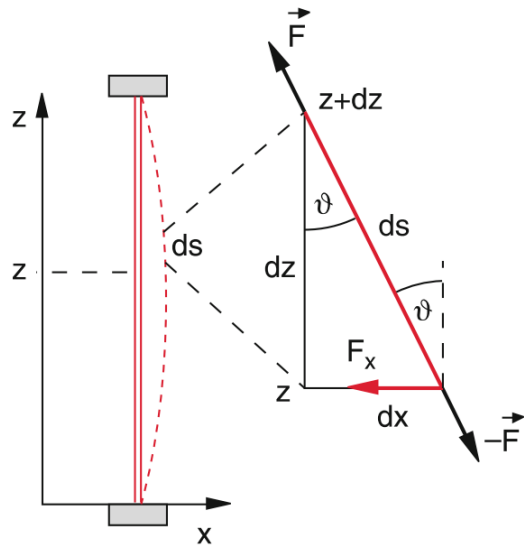


Abbildung 11.47 Zur Berechnung der Ausbreitung einer Transversalwelle entlang einer gespannten Saite

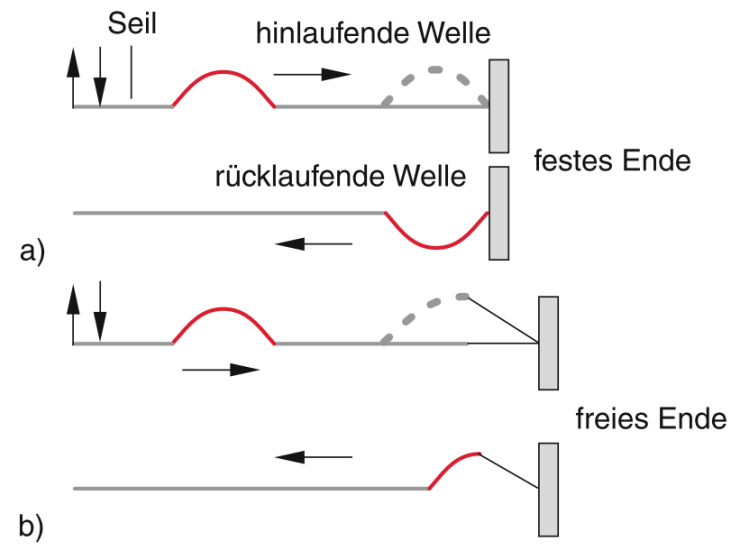


Abbildung 11.67 Reflexion einer Seilwelle: **a** am festen Ende, **b** am freien Ende

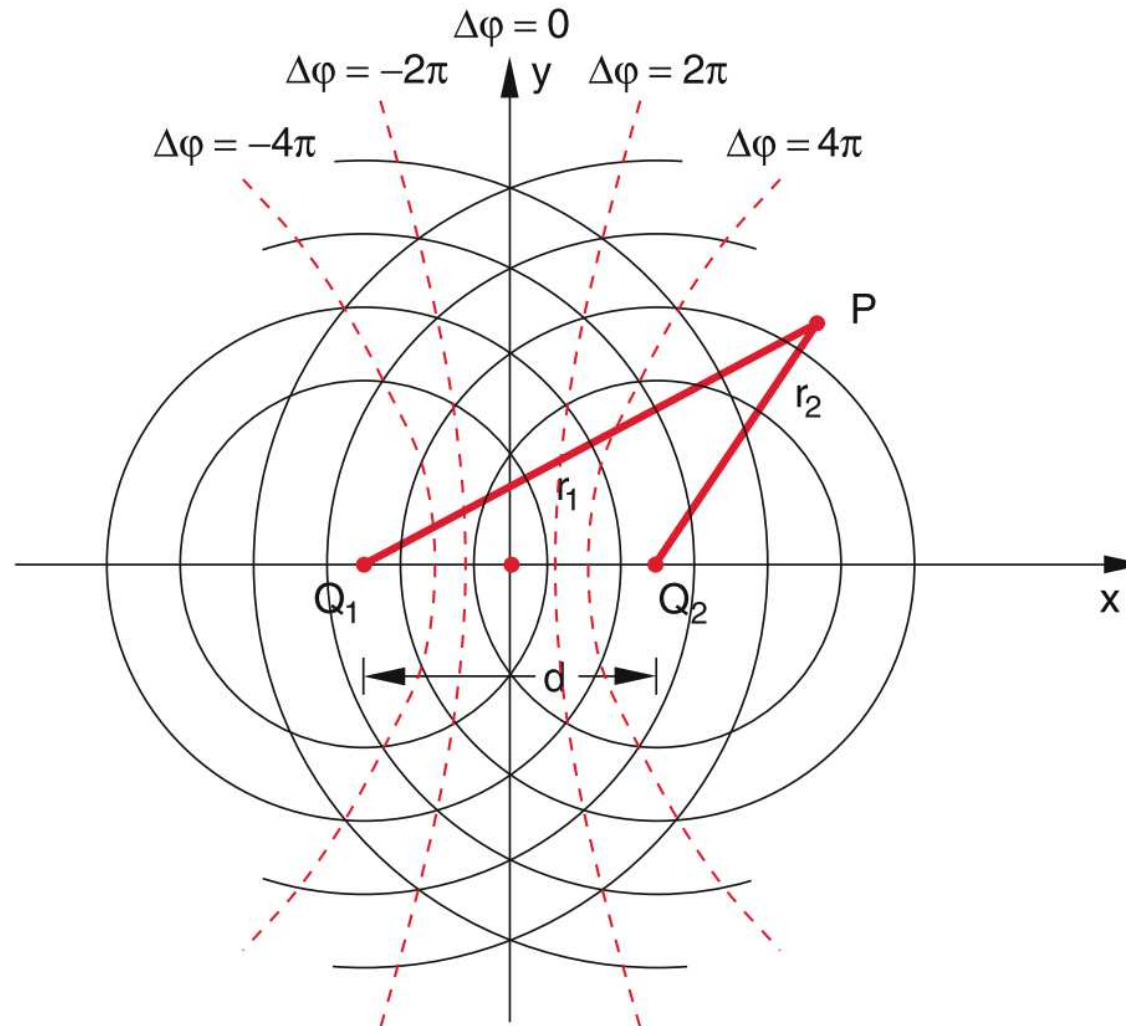
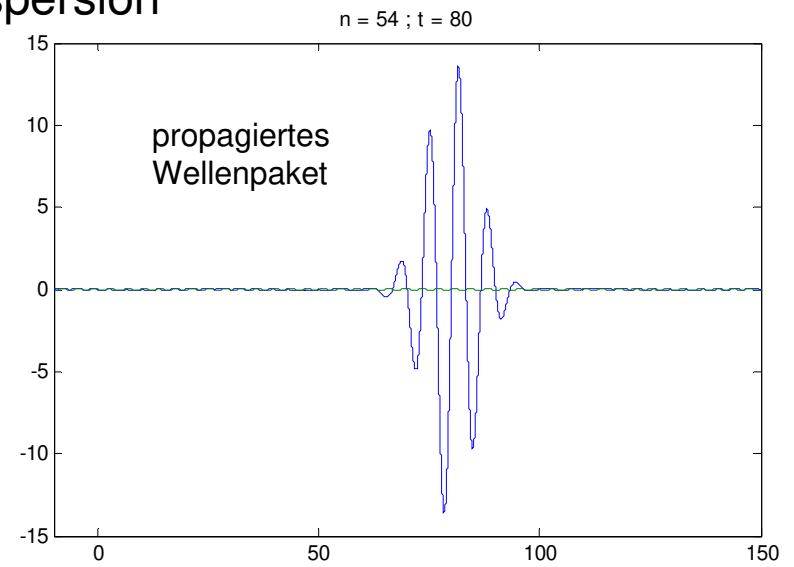
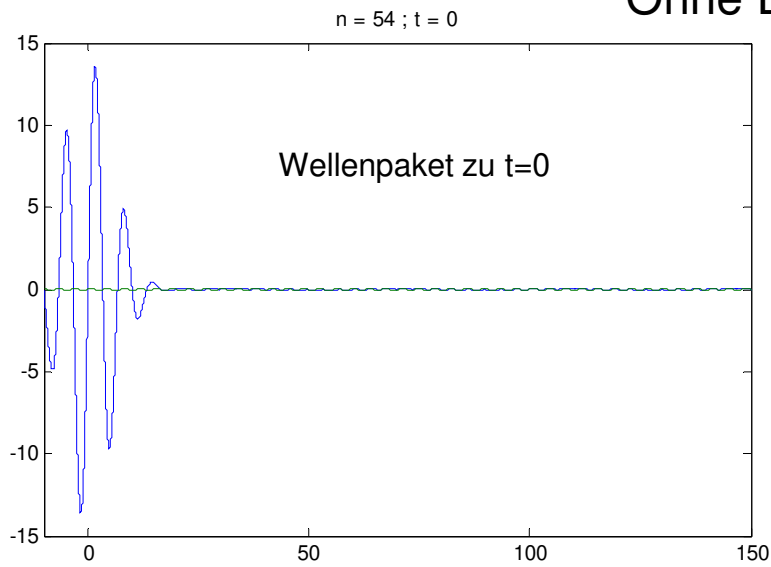


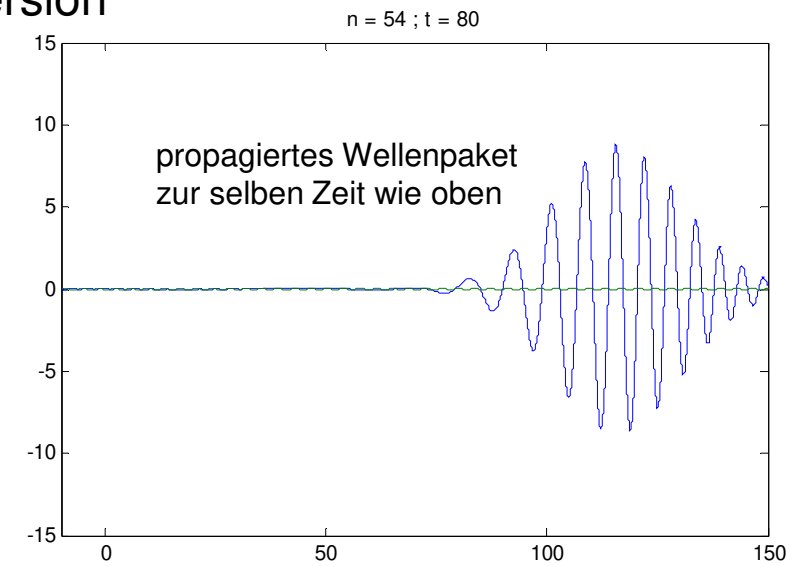
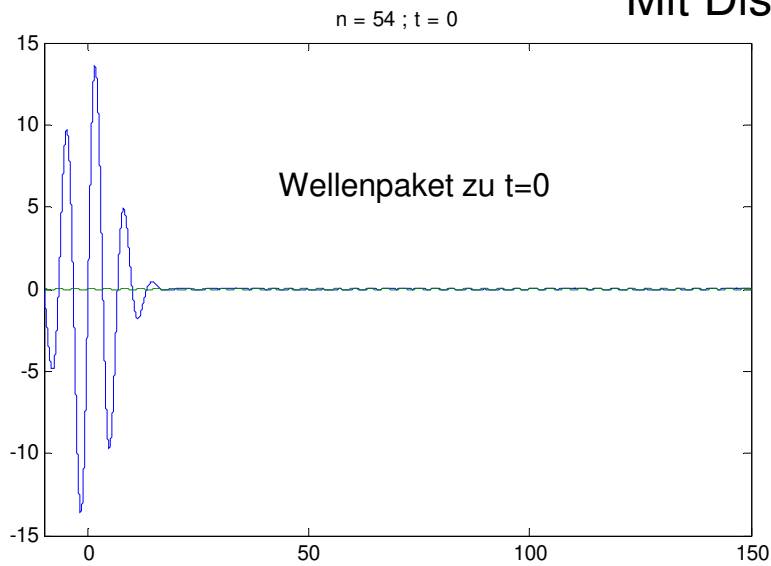
Abbildung 11.57 Überlagerung zweier von phasenstarr gekoppelten Quellen Q_1 und Q_2 ausgehender Kugelwellen

Rechnungen mit Gauss'schen Wellenpaketen

Ohne Dispersion



Mit Dispersion



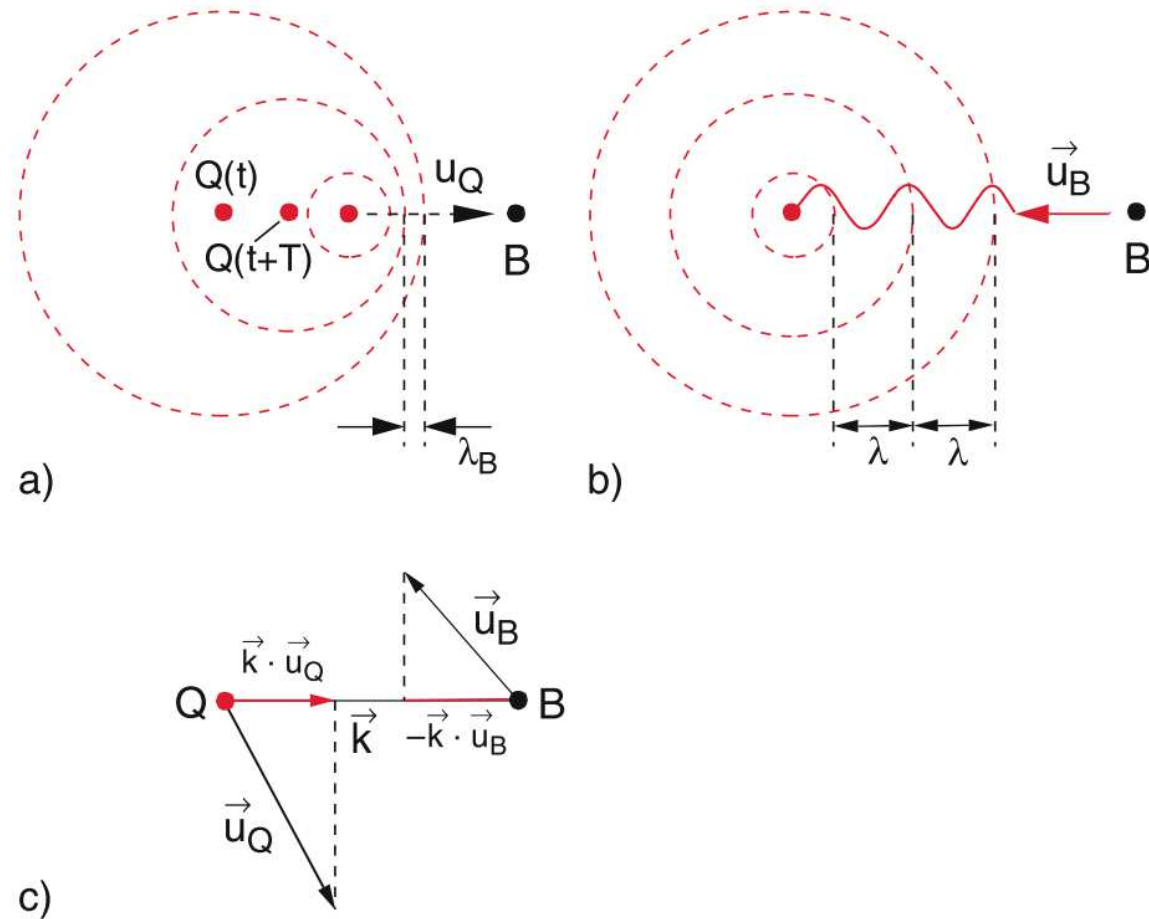


Abbildung 11.75 Doppler-Effekt: **a** bewegte Quelle, **b** bewegter Beobachter, **c** allgemeiner Fall

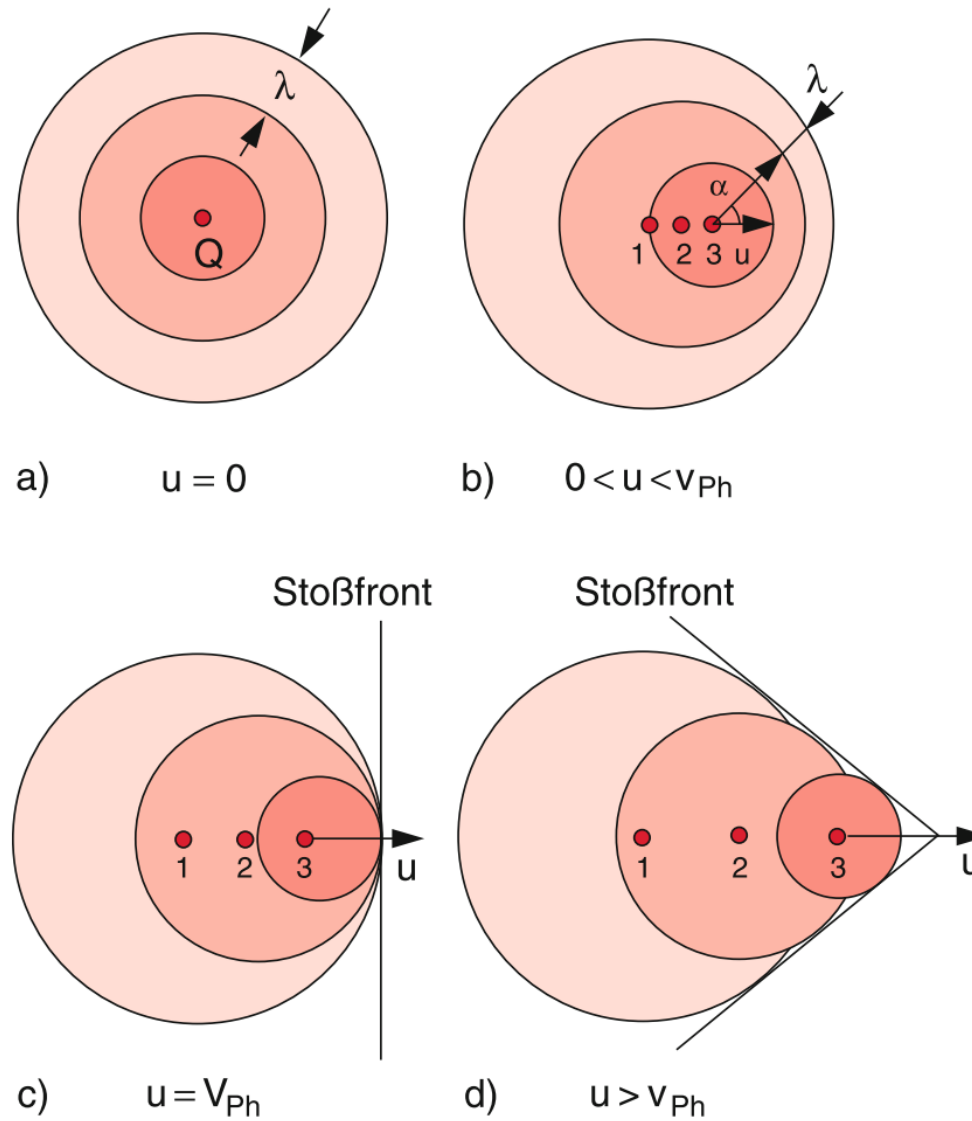


Abbildung 11.76 Zur Entstehung einer Stoßfront, wenn die Geschwindigkeit der Schallquelle die Schallgeschwindigkeit erreicht

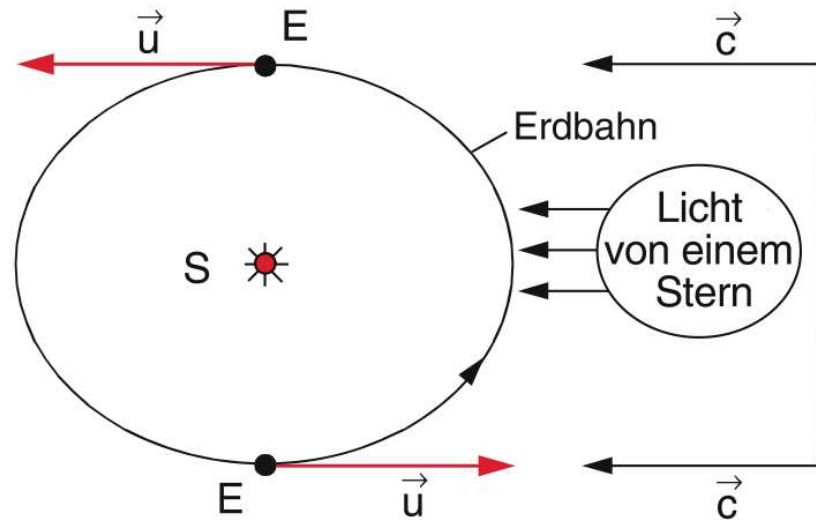
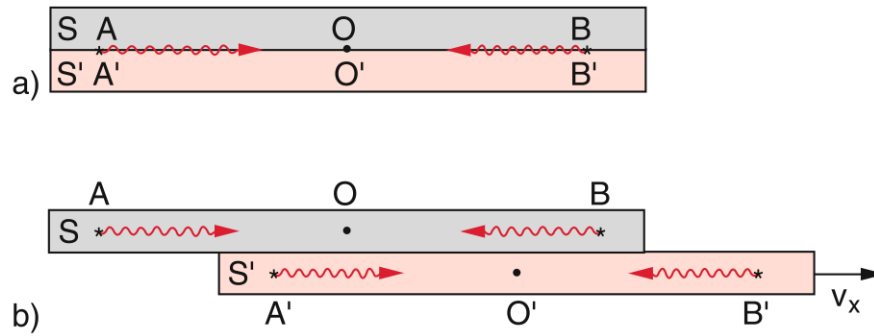


Abbildung 3.16 Experimentelle Möglichkeit zur Messung der Lichtgeschwindigkeit c an 2 verschiedenen Tagen im Abstand eines halben Jahres, an denen die Relativgeschwindigkeit u der Erde gegen die Lichtquelle umgekehrtes Vorzeichen hat

- Alle Inertialsysteme sind gleichberechtigt für alle physikalischen Gesetze.
- Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum hat in allen Inertialsystemen den gleichen Wert c , unabhängig von der Bewegung des Beobachters.



ACHTUNG:
 Argumentation im Buch
 ist problematisch!

Abbildung 3.17 Zur Verdeutlichung des Problems der Gleichzeitigkeit von Ereignissen in zwei verschiedenen Raumpunkten A und B bzw. A' und B' in zwei ruhenden (a) und in zwei sich gegeneinander bewegenden Systemen (b)

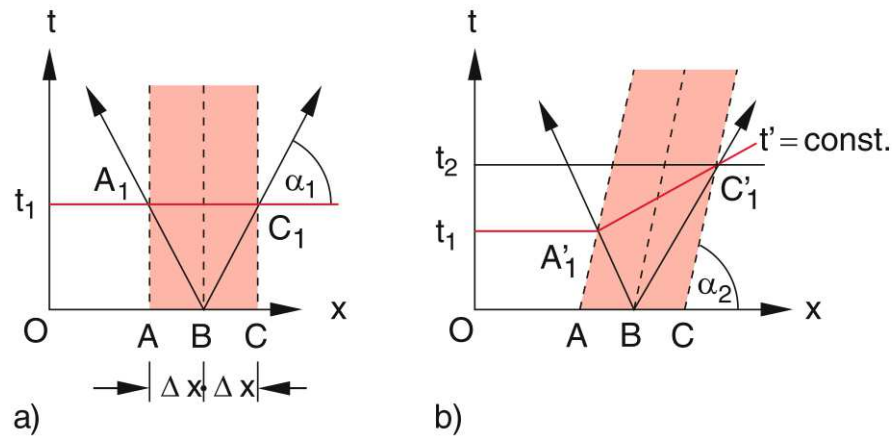


Abbildung 3.19 Illustration der Gleichzeitigkeit für zwei gegeneinander sich bewegende Beobachter mit Hilfe von Raum-Zeit-Diagrammen

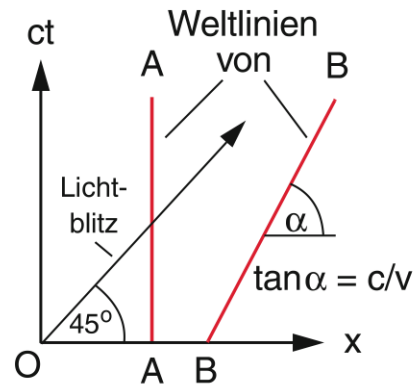


Abbildung 3.21 Minkowski-Diagramm mit den Weltlinien eines im System ruhenden Punktes A , eines mit der Geschwindigkeit v sich bewegenden Punktes B und eines zum Zeitpunkt $t = 0$ von O ausgesandten Lichtblitzes

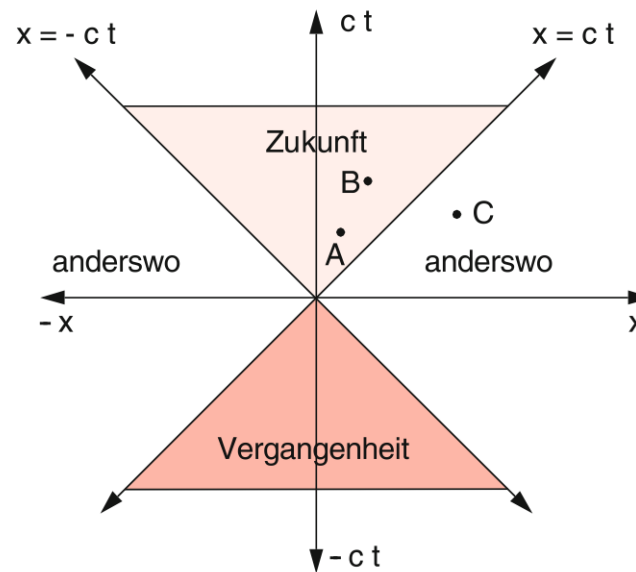


Abbildung 3.33 Zweidimensionales Minkowski-Diagramm mit den *schraffierten Bereichen* für Vergangenheit und Zukunft und den *weißen Bereichen* für *nicht erreichbare* Raum-Zeit-Punkte

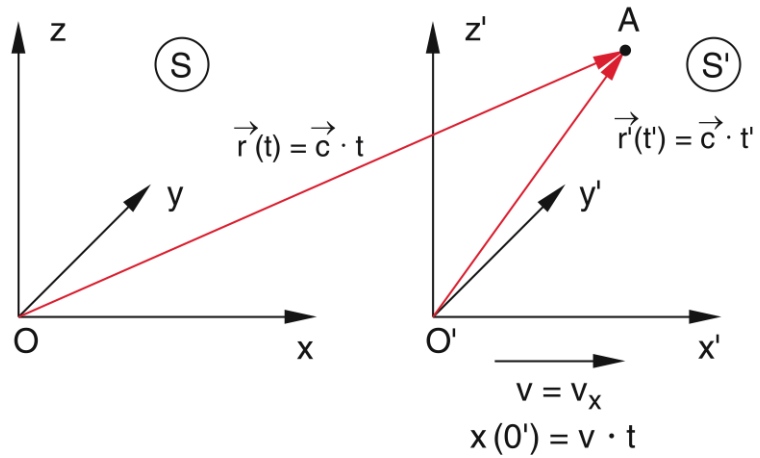


Abbildung 3.18 Zur Herleitung der Lorentz-Transformationen

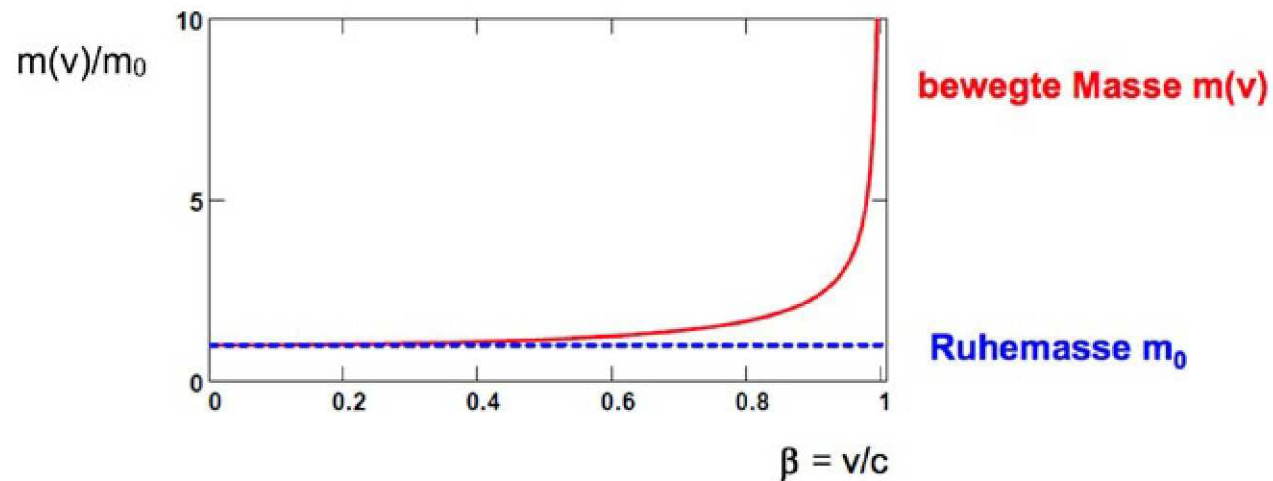


Abb. 6.5 Die bewegte Masse $m(v)$ als Funktion von $\beta = v/c$

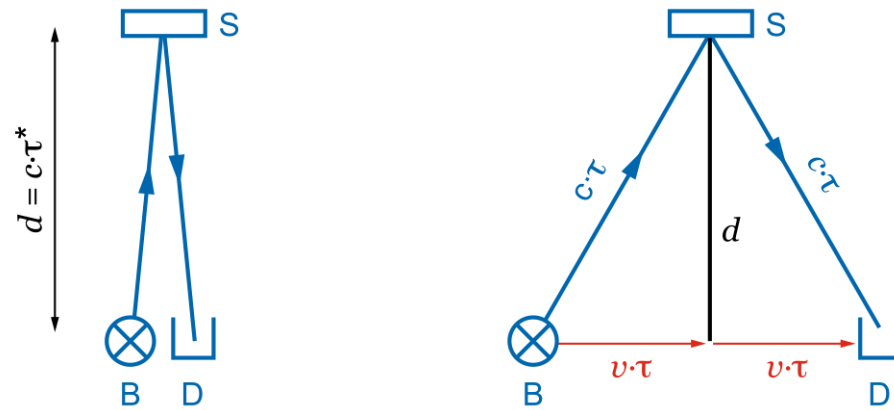


Abb. 6.2 Albert Einsteins Gedankenexperiment zur Zeitdehnung: die Lichtuhr. B: Blitzlampe, S: Spiegel, D: Detektor. Links wird die Uhr in ihrem Ruhesystem gezeigt, rechts im Laborsystem

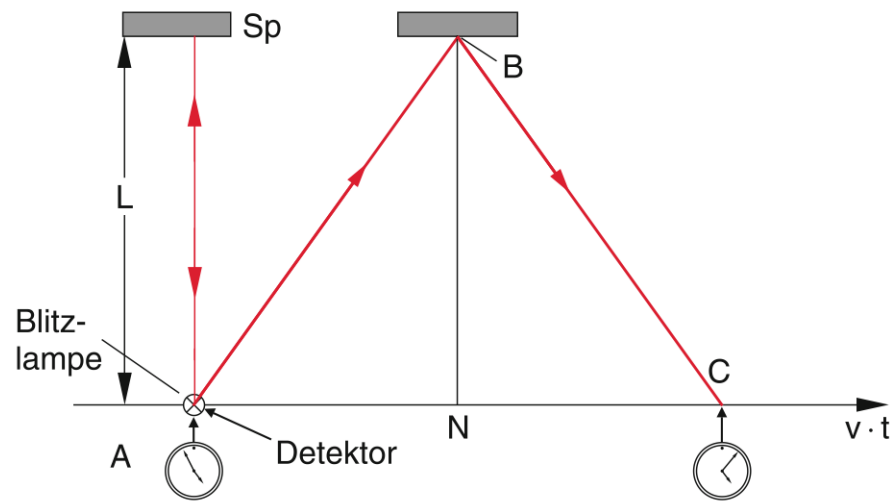


Abbildung 3.29 Einsteins „Lichtuhr“ zur Illustration der Zeitdilatation

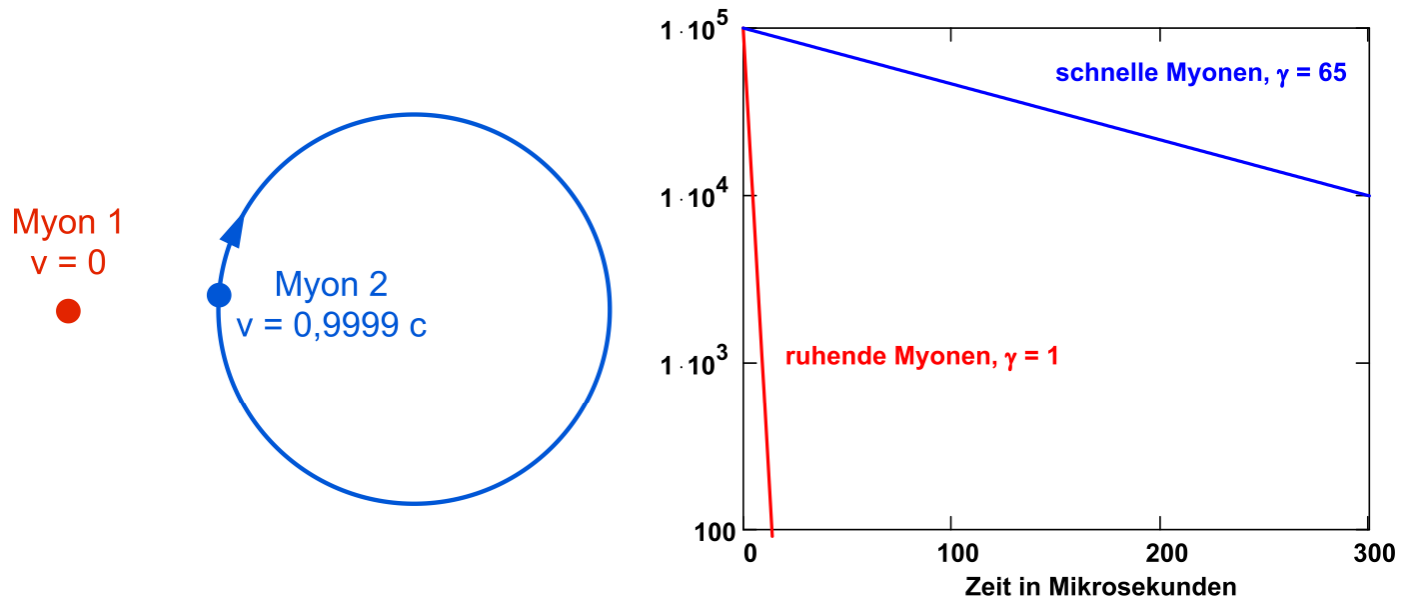


Abb. 6.3 Vergleich des Zerfalls ruhender Myonen ($v = 0$, $\gamma = 1$) mit dem Zerfall der hochenergetischen Myonen im Speicherring ($v = 0,9999 c$, $\gamma = 65$). Zum Zeitpunkt $t = 0$ seien 10^5 Teilchen vorhanden. Aufgetragen ist die Zahl der Teilchen (auf einer logarithmischen Skala) als Funktion der Zeit in Mikrosekunden