# 1 Mechanik

## 1.1 Kinematik des Massenpunktes

Ort:
$\mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))^T$
Geschwindigkeit:
$\mathbf{v}(t) = \dot{\mathbf{r}}(t) = (\dot{x}(t), \dot{y}(t), \dot{z}(t))^T = (v_x, v_y, v_z)^T$
Beschleunigung:
$\mathbf{a}(t) = \dot{\mathbf{t}}(t) = \ddot{\mathbf{x}}(t) = (a_x, a_y, a_z)^T$
$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\mathbf{a}(t^2 - t_0^2)$

### 1.1.1 Schiefer Wurf

$\mathbf{a}_0 = (0, 0, -g)^T, \mathbf{v}_0 = (v_{x,0}, 0, v_{z,0})^T, \mathbf{r}_0 = (0, 0, z_0)$
$\mathbf{r}(t) = (x_{x,0}t, 0, -\frac{1}{2}gt^2 + v_{z,0}t + z_0)$
$z(x) = -\frac{1}{2}(g/v_{x,0}^2)x^2 + (v_{z,0}/v_{x,0})x + z_0$
Wurfweite:
$$x_w = \frac{v_0^2}{2g}\sin 2\varphi\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2gz_0}{v_0^2 \sin^2\varphi}}\right)$$
Optimaler Winkel: $\sin\varphi_{opt} = (2 + 2gz_0/v_0^2)^{-\frac{1}{2}}$

### 1.1.2 Gleichförmige Kreisbewegung

$\mathbf{r}(t) = (R\cos\varphi, R\sin\varphi)^T$
$\mathbf{v}(t) = (-R\dot{\varphi}\sin\varphi, R\dot{\varphi}\cos\varphi)^T$
Winkelgeschwindigkeit: $\omega = \dot{\varphi}$
$\mathbf{v} = \omega \times \mathbf{r}, \quad \omega = v/r$
$\omega = \text{const} \Longrightarrow |\mathbf{r}(t)| = r = \text{const}, v = \text{const}$

### 1.1.3 Galilei-Transformation

$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{u}t, \quad \mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{u}, \quad \mathbf{a}' = \mathbf{a}$

## 1.2 Newtonsche Dynamik

Impuls: $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$
Kraft: $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z)^T = \dot{\mathbf{p}}, \mathbf{F}_{ges} = \sum_{i=1}^{n}\mathbf{F}_i$
Trägheitsprinzip (Impulserhaltung):
$\mathbf{p} = m\mathbf{v} = \text{const} \iff \mathbf{F} = 0$
actio gleich reactio: $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$

# 2 Kräfte und Kraftgesetze

## 2.1 Gravitation

Newtonsches Gravitationsgesetz:
$\mathbf{F}_g = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\mathbf{e}_r, G = 6.67 \cdot 10^{-11}$
träge Masse: $\mathbf{F} = m_T\mathbf{a}$
schwere Masse: $\mathbf{F} = m_s(GM_E/r_E^2)\mathbf{e}_r = m_s\mathbf{g}$
Äquivalenzprinzip: $m_{schwer} \sim m_{trge}$ bzw. $m_{schwer} = m_{trge}$ (bei dieser Wahl von $\mathbf{g}$)

## 2.2 Federkraft

Hook'sches Gesetz: $F_x = F_x(\Delta x) = -k_F\Delta x$ (kleine Auslenkungen)

## 2.3 Normalkraft, Zwangskräfte

Schiefe Ebene:
Gewichtskraft: $\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$
Normalkraft: $\mathbf{F}_N = mg\cos\alpha\mathbf{e}_y$
Hangabtriebskraft: $\mathbf{F}_H = mg\sin\alpha\mathbf{e}_x$

## 2.4 Reibungskräfte

Gleitreibung: $F_G = \mu_G F_N$
Haftreibung: $F_H = \mu_H F_N, \mu_H > \mu_G$

## 2.5 Zentripetalkräfte

Zentripetalkraft:
$\mathbf{F}_{zp} = m\omega \times (\omega \times \mathbf{r})$
$F_{zp} = m\omega^2 r = m\frac{v^2}{r}$

# 3 Arbeit, Energie, Leistung

Arbeit: $\Delta W = \mathbf{F}\mathbf{x}$
$$W = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2}\mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = \int_{t_1}^{t_2}\mathbf{F}(t)\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t$$
Kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$
Pot. Energie: $E_{pot} = \frac{1}{2}mx^2$ (Verformung)
Pot. Energie: $E_{pot} = mgh$ (Lageenergie)
Umwandlung von Energie:
$\mathrm{d}E_{kin} = \mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = -\mathrm{d}E_{pot}$
$$W = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2}\mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = E_{kin}(\mathbf{r}_2) - E_{kin}(\mathbf{r}_1) = \Delta E_{kin}$$
$$W = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2}\mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = E_{pot}(\mathbf{r}_1) - E_{pot}(\mathbf{r}_2) = -\Delta E_{pot}$$
Leistung: $P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \mathbf{F}\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{F}\mathbf{v}$
Konservative Kraft:
$\mathbf{F}$ konservativ $\iff \oint\mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = 0$
$$\Longrightarrow W_{12} = \int_1^2\mathbf{F}\mathrm{d}\mathbf{r} = E_{pot}(1) - E_{pot}(2)$$
Kraftfeld: $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{r})$
Gravitationskraft: $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = -G\frac{mM}{r^2}\mathbf{e}_r = f(r)\mathbf{e}_r$
Hom. Kraftfeld: $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = (0, 0, F_z)^T$ ist konservativ
Zentralkraftfeld: $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = f(r)\mathbf{e}_r$ ist konservativ
Potentielle Energie des Gravitationsfeldes:
$E_{pot}^{grav} = -G\frac{mM}{r}$
Im konservativem Kraftfeld:
$\mathbf{F} = -\nabla E_{pot} = -\mathrm{grad}E_{pot}$
$$= -\left(\frac{\partial E_{pot}}{\partial x}, \frac{\partial E_{pot}}{\partial y}, \frac{\partial E_{pot}}{\partial z}\right)$$
Potential: $\Phi(\mathbf{r}) = \lim_{m\to 0}\frac{E_{pot}(\mathbf{r})}{m}$
$E_{pot}(\mathbf{r}) = m\Phi(\mathbf{r})$
$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = -\nabla E_{pot}(\mathbf{r}) = -m\nabla\Phi(\mathbf{r})$
Gravitationspotential: $\Phi = -G\frac{M}{r}$
Gravitationsfeld: $\mathbf{G} = -G\frac{M}{r^2}\mathbf{e}_r$
Energieerhaltung (konservative Kraftfelder):
$E_{pot} + E_{kin} = E_{ges} = \text{const}$

# 4 Systeme von Massenpunkten

Gesamtmasse: $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$
Schwerpunkt:
$$\mathbf{r}_s = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{r}_i$$
$$\mathbf{r}_s = \frac{1}{M}\int_V\mathbf{r}\mathrm{d}m = \frac{1}{M}\int_V\mathbf{r}\rho(\mathbf{r})\mathrm{d}V$$

## 4.1 Bewegung des Schwerpunkts

Geschwindigkeit:
$$\mathbf{v}_s = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}_s}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{p}_i$$
Schwerpunktimpuls:
$$\mathbf{p}_s = \sum_{i=1}^{n}\mathbf{p}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i\mathbf{v}_i = M\mathbf{v}_s$$
Allgemeiner Impulssatz: $\dot{\mathbf{p}}_s = M\mathbf{a}_s = \sum_{i=1}^{n}\mathbf{F}_i$
System abgeschlossen $\iff \sum F_i = 0$
$$\Longrightarrow \mathbf{p}_s = \sum_{i=1}^{n}\mathbf{p}_i = \text{const}$$

## 4.2 Raketengleichung

Kräftefreie Rakete:
$v(t) = v_B\ln\frac{m_0}{m(t)}$
Allgemeine Raketengleichung:
$$m(t)\frac{\mathrm{d}\mathbf{v}(t)}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}m(t)}{\mathrm{d}t}\mathbf{v}_B + \mathbf{F}$$

# 5 Stöße

Kollinearer, elastischer Stoß:
$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$
$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$
Geschwindigkeit im Schwerpunktsystem:
$$v_s = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$
$$v_1^* = v_1 - v_s = \frac{m_2v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2}$$
$$v_2^* = v_2 - v_s = \frac{m_1v_2 - m_1v_1}{m_1 + m_2}$$
$$p_1^* = m_1v_1^* = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}(v_1 - v_2)$$
$$p_2^* = m_2v_2^* = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}(v_2 - v_1)$$
$p_1^* = -p_2^*$
$p_1^{*\prime} = -p_1^*$
$p_2^{*\prime} = -p_2^*$
Nicht-zentraler, elastischer Stoß im Schwerpunktsystem:
$\mathbf{p}_s^* = 0, \mathbf{p}_1^* = -\mathbf{p}_2^*$
$\mathbf{p}_1^{*\prime} = -\mathbf{p}_2^{*\prime}, |\mathbf{p}_1^{*\prime}| = |\mathbf{p}_2^{*\prime}|$
Inelastische Stöße: Umwandung der kinetischen Energie.
$E_{kin,1} + E_{kin,2} = E_{kin,1}' + E_{kin,2}' + Q$
$Q = 0$: elastischer Stoß
$Q < 0$: inelastischer Stoß
$Q > 0$: superelastischer Stoß

# 6 Mechanik des starren Körpers

Volumen: $V = \lim_{\Delta V_i \to 0}\sum\Delta V_i = \int\mathrm{d}V$
Masse: $M = \lim_{\Delta M_i\to 0}\sum\Delta M_i = \int\mathrm{d}m = \int\rho\mathrm{rd}V$
Schwerpunkt: $\mathbf{r}_s = \frac{1}{M}\int\mathbf{r}\mathrm{d}m = \frac{1}{M}\int\mathbf{r}\rho(\mathbf{r})\mathrm{d}V$
Geschwindigkeit: $\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_s + (\omega(t) \times \mathbf{r}_{si})$

## 6.1 Drehmoment und Kräftepaare

Hebelgesetz: $F_1l_1 = F_2l_2$
Drehmoment: $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}, M = r \cdot F$
Gesamter Drehmoment:
$\sum\mathbf{M}_i = \sum\mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i$
Wirkung von $n$ Kräften an den Punkten $\mathbf{r}_i$:
Translation: $\mathbf{F} = \sum\mathbf{F}_i$
Rotation: $\mathbf{M} = \sum(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_s) \times \mathbf{F}_i$
Statisches Gleichgewicht:
$\mathbf{F} = \sum\mathbf{F}_i = 0, \mathbf{M} = \sum\mathbf{M}_i = 0$
Gleichgewicht im Schwerefeld: $(\mathbf{r} - \mathbf{r}_s) \times \mathbf{g} = 0$

## 6.2 Rotation und Trägheitsmoment

Kinetische Energie:
$E_{kin} = \frac{1}{2}m\mathbf{v}_s^2 + \frac{1}{2}\sum m_i\mathbf{v}_{si}^2$
Trägheitsmoment: $I = \int r_\perp^2\mathrm{d}m\int r_\perp^2\rho(\mathbf{r})\mathrm{d}V = \Theta$
Rotationsenergie: $E_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$
Dünner Stab: $I = \frac{1}{12}mL^2$
Zylinder: $I = \frac{1}{2}mR^2$
Dünner Hohlzylinder: $I = mR^2$
Kugel: $I = \frac{2}{5}mR^2$
Zylinderkoordinaten:
$x = r\cos\varphi, y = r\sin\varphi, z = z$
$\mathrm{d}V = r\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}r\mathrm{d}z$
Kugelkoordinaten:
$\mathrm{d}V = r^2\sin\theta\mathrm{d}r\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}\theta$
Steinerscher Satz: $I = I_s + r_{s\perp}^2m$
Bewegungsgleichung (raumfeste Achse):
$M = I\dot{\omega} = I\alpha$
Drehimpuls:
$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$
$L = I\omega$

$\dot{\mathbf{L}} = \mathbf{M}$
$\mathbf{L} = \int \mathrm{d}\mathbf{L} = \int (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \mathrm{d}m$
Systeme von Massenpunkten:
$\mathbf{L} = \sum \mathbf{r}_i \times \mathbf{p}_i$
$\mathbf{M} = \sum \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i = \dot{\mathbf{L}}$
Ohne äußere Kraft: $\mathbf{M} = 0 \iff \mathbf{L} = \text{const}$
Drehimpuls eines starren Körpers:
$\mathbf{L} = \omega \int r^2 \mathrm{d}m - \int \mathbf{r}(\omega \cdot \mathbf{r}) \mathrm{d}m$
Trägheitstensor: $\mathbf{L} = \hat{I}\omega, \hat{I} = (I_{ij})$
$I_{ii} = \int (r^2 - i^2) \mathrm{d}m$
$I_{ij} = I_{ji} = -\int ij \mathrm{d}m$

### 6.3 Deformierbare Körper

Hooksches Gesetz:
$\frac{F}{A} = \sigma = E\frac{\Delta L}{L} = E\varepsilon$
Querkontraktion: $\frac{\Delta D}{D} = -\mu\frac{\Delta L}{L}$
Volumenänderung:
$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta L}{L}(1-2\mu) = \frac{\sigma}{E}(1-2\mu)$
Kompression: $\frac{\Delta V}{V} = -\chi\Delta p$
Kompressibilität: $\chi = (3/E)(1-2\mu)$

#### 6.3.1 Scherung und Torison

Normalspannung/Zugspannung: $\sigma = F_N/A$
Tangentialspannung/Scherspannung:
$\tau = F_T/A$
Kleine Scherwinkel: $\tau = G\alpha$
Torsion eines Drahtes:
$M = (\pi G R^4/2L)\varphi = K_D\varphi$
Torsionsschwingung eines Drahtes: $M = I\ddot{\varphi} = -K_D\varphi$

#### 6.3.2 Biegung

Flächenträgheitsmoment: $J = \int \eta^2 \mathrm{d}A$
$\eta$: senkrechter Abstand der Punkte der Querschnittsfläche von neutraler Ebene.
Quader: $J = \frac{1}{12}bh^3$
Krümmung: $\chi = 1/rho = M/EJ$

### 6.4 Hydrostatik

Druck: $p = F/A$ ist überall gleich!
Flüssigkeit $\Longrightarrow \chi = 0, V = \text{const}$
Hydrostatischer Druck: $p = p_0 + \rho g h$
Auftriebskraft: $F_A = g\rho V = gm$

### 6.5 Gase

Boyle-Mariotte: $T = \text{const} \Longrightarrow p \cdot V = \text{const}$
Barometrische Höhenformel:
$p(h) = p_0 \exp\left(-\frac{\rho_0 g}{p_0}h\right)$

### 6.6 Strömende Flüssigkeiten und Gase

Kontinuitätsgleichung: $A_1 v_1 = A_2 v_2$
Bernoullische Gleichung: $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{const}$
Newtonsches Reibungsgesetz: $\tau = \frac{F_R}{A} = \eta\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}y}$
$F_R = \eta A \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}y}$
$\eta$: dynamische Viskosität
Schubspannung an zylindrischer Oberfläche im Abstand $r$:
$\tau = \frac{F}{A} = \frac{\Delta p \pi r^2}{2\pi r L} = -\eta\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}r}$
Geschwindigkeitsprofil: $v(r) = \frac{\Delta p}{4\eta L}(R^2 - r^2)$
Hagen-Poisouille: $\dot{V} = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = \frac{\pi\Delta p}{8\eta L}R^4$
Mittlere Geschindigkeit: $\bar{v} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{R^2}{8\eta L}\Delta p$
Reynold-Kriterium:
$R_e < R_{e,krit}$ laminar
$R_e > R_{e,krit}$ turbulent
Rundes Rohr, Radius $R$: $R_e = \frac{2\rho\bar{v}R}{\eta}$
$R_{e,krit} = 2000 - 2300$

#### 6.6.1 Strömungswiderstand von glatten Körpern

Laminare Strömung: $F_W \sim v$
Gesetz von Stokes (Kugel): $F_W = F_R = 6\pi\eta r v$
Trubulente Strömung: $F_W \sim v^2$
$F_W = c_W \frac{1}{2}\rho v^2 A$

## 7 Wärmelehre

Gesetz von Gay-Lussac: $V(T) = V_o(1 + \gamma T)$
Längenausdehung: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$
Volumenausdehung: $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$
$\alpha$: Längenausdehungkoeffizient
$\gamma \approx 3\alpha$

### 7.1 Zustandsgleichung idealer Gase

Bolye-Mariotte-Gay-Lussac:
$p \cdot v \sim T, \frac{pV}{T} = \text{const}$
Zustandsgleichung idealer Gase:
$pV = nN_A k_B T$
$pV = nRT, R = k_B N_A$
$n$: Anzahl Mol
$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$
$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$
$R = 8.31451 \text{J/K mol}$

### 7.2 Kinetische Gastheorie

$p = \frac{1}{3} N m \overline{v^2}$
$\bar{E}_{kin} = \frac{3}{2} k_B T$
Äquipartitionsprinzip: $\bar{E}_{„kin'"} = f\frac{1}{2}k_B T$
Innere Energie $U = nN_a \frac{1}{2} f k_B T$

### 7.3 Wärme, Wärmekapazität, latente Wärme

Wärmemenge: $Q = cm\Delta T$
$Q = c_m n \Delta T$
$c$: spezifische Wärmekapazität
$c_m$: spezifische Molwärme
latente Wärme: $Q = \lambda m$
$\lambda$: (latente) Schmelz-/Verdampfungswärme
Mechanisches Wärmeäquivalent: 1cal= 4.186J
1. Hauptsatz: $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$

### 7.4 Volumenarbeit

Volumenarbeit: $W = -\int_{V_1}^{V_2} p \mathrm{d}V$
Isotherme Zustandsänderung: $T = \text{const}$
$\Delta U_{12} = 0$
$\Delta Q_{12} = nRT \ln V_2/V_1$
$\Delta W_{12} = -\Delta Q_{12}$
Isobar Zustandsänderung: $p = \text{const}$
$\Delta W_{12} = -p(V_2 - V_1) = -nR(T_2 - T_1)$
$\Delta Q_{12} = nc_p(T_2 - T_1)$
$\Delta U_{12} = \Delta U - \Delta W = n(c_p - R)(T_2 - T_1)$
$c_v = (f/2)R$
Isochore Zustandsänderung: $V = \text{const}$
$\Delta W_{12} = 0$
$\Delta Q_{12} = nc_V(T_2 - T_1)$
$\Delta U_{12} = \Delta Q_{12} = nc_V(T_2 - T_1)$
$c_p = ((f+2)/2)R, c_p = c_V + R$
Adiabatische Zustandsänderung: $Q = \text{const}$
$\mathrm{d}U = \mathrm{d}W$
$\mathrm{d}U = nc_V \mathrm{d}T$
$\mathrm{d}W = -nRT(\mathrm{d}V/V)$
Adiabatengleichungen:
$pV^\gamma = \text{const}$
$TV^{\gamma-1} = \text{const}$
$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}$
$\gamma = c_p/c_V = (f+2)/f$

### 7.5 Kreisprozesse

Wirkungsgrad: $\eta = (|\Delta W|Q_w/(=))1 - |Q_K|Q_w/$
Leistungszahl: $\varepsilon_{wrme} = |Q_W|/\Delta W = 1/\eta$
$\varepsilon_{klte} = Q_K/\Delta W = 1/\eta - 1$
Carnot-Prozess:
Isotherm → Adiabatisch → Isotherm → Adiabatisch
$\eta_c = 1 - T_2/T_1 < 1$ (maximal)
Ottomotor: $\eta_O = 1 - T_2/T_1 < \eta_c$

### 7.6 Entropie

Reversible Proz.: $\sum \frac{\Delta Q_{i,rev}}{T} = 0, \oint \frac{\mathrm{d}Q_{rec}}{T} = 0$
Irreversible Proz.: $\sum \frac{\Delta Q_{i,irr}}{T_i} < 0, \oint \frac{\mathrm{d}Q_{irr}}{T} < 0$
$\oint \frac{\mathrm{d}Q_{irr}}{T} = \oint \frac{\mathrm{d}Q_{rec}}{T} + \oint \frac{\mathrm{d}Q_{extra}}{T} < 0$
Entropie: $\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q_{rec}}{T}, \quad \Delta S = \int_1^2 \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T}$
$S(2) = S(1) + \int_1^2 \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T}$
Wärmeleitung: $\Delta S = cm \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} > 0$
$S = k_B \ln \Omega$
$\Omega$: Anzahl der Realisierungsmöglichkeiten.
3. Hauptsatz: $S(T = 0\text{K}) = 0$

## 8 Termodynamik realer Gase und Flüssigkeiten

Kovolumen: $V_K = \frac{4}{3}\pi(2r)^3 = 8V_a$
$V_a$: Volumen der Gasteilchen
Gesamtes Kovolumen: $V_N = 4(nN_A)V_a \equiv nb$
Van-der-Walls-Gleichung:
$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT, a, b > 0$

## 9 Transportprozesse

Energiefluß: $J_E = (\mathrm{d}E/\mathrm{d}t)\, j_E = \mathrm{d}E/A\mathrm{d}t$
Massenfluß: $J_M = (\mathrm{d}M/\mathrm{d}t)\, j_M = \mathrm{d}M/A\mathrm{d}t$
Ladungsfluß: $J_Q = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t)\, j_Q = \mathrm{d}Q/A\mathrm{d}t$
Kontinuitätsgleichung:
$\frac{\mathrm{d}\rho}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}j}{\mathrm{d}z} = 0$
$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0$
$\mathbf{j}$: Stromdichte
$\mathbf{j} = \rho\mathbf{v}$

### 9.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung (Fouriersches Gesetz):
$j_Q = -\lambda(\mathrm{d}T/\mathrm{d}x)$
$j_Q = -\lambda\nabla T$

### 9.2 Diffusion

Diffusion: (Ficksches Gesetz):
$j_D = -D(\mathrm{d}n/\mathrm{d}x)$
$\mathbf{j}_D = -D\nabla n$
$D = \lambda v/3 = \lambda^2/3\tau$
$\lambda$: mittlere freie Weglänge
$\tau$: mittlere Zeit zwischen 2 Stößen
$v = \lambda/\tau$: mittlere Geschwindigkeit

### 9.3 Wärmestrahlung

Solarkonstante $I_{solar} = 1.37\text{kW/m}^2 \approx 1\text{kN/m}^2$
Kirchhhoffsches Strahlungsgesetz:
$\frac{E_\lambda(T)}{A_\lambda(T)} = E_\lambda^S(T) \,\text{mit}\, A_\lambda^S(T) = 1$
Stefan-Boltzmannsches Strahlungsgesetz:
$E^{sp}(T) = \sigma T^4 \quad E(T) = \varepsilon\sigma T^4$
Plancksches Strahlungsgesetz:
$E_\lambda^{sp} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{(hc/\lambda k)T} - 1}$
$E_V^{sp} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{(h\nu/\lambda k)T} - 1}$