Werkstoffe und Fertigung I
Prof.Dr. K. Wegener
Wintersemester 2006/07

Seminarübung 6

Erstarrung

Musterlösung

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, ETH Zentrum
Übungsassistenz: Niklas Rotering, Michael Kelterborn, Florian Hofmann, Tobias Ott, Tobias Nösekabel, Daniel Sutter; Robin Vujanic, Peter Vogel.
Koordination: Willi Müller, CLA F21.1, Tel. 01 633 23 84, wm@iwf.mavt.ethz.ch

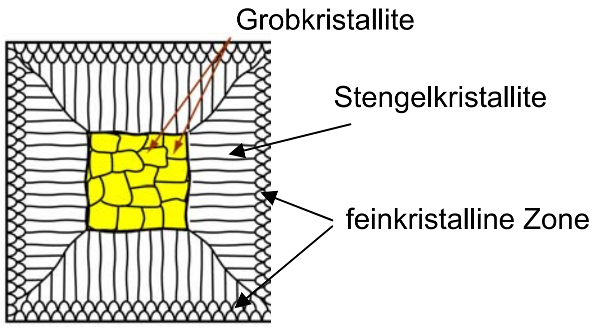
Lernziele

Lernziele: Werkstoffe und Fertigung I, Kap. 4, Kap. 5

Kerninformationen

1 Erstarrungsgefüge

- Bei starker Unterkühlung entsteht ein feinkörniges Gefüge.
- Bei einem grossen Temperaturgradienten, d.h. schneller Abkühlung, wachsen Stengelkristallite in Richtung des Temperaturgradienten, d.h. die Erstarrung erfolgt am kalten Rand der Schmelze.
- Bei langsamer Abkühlung sind die Temperaturunterschiede in der Schmelze klein, es bilden sich zufällig Keime innerhalb der Schmelze, von welchen aus die Körner wachsen.



2 Erstarrung Keimbildung

Damit sich aus der Schmelze Keime bilden können (homogene Keimbildung), braucht es eine Unterkühlung ΔT unterhalb der Schmelztemperatur. Liegen Fremdkeime, d.h. feste Partikel in der Schmelze oder Wand, bereits vor, läuft die Erstarrung bereits bei höheren Temperaturen ab (heterogene Keimbildung). Die bei der Erstarrung frei werdende Schmelzwärme verzögert die Temperaturabnahme.

3 Giessverfahren

Giessen: Flüssiger Werkstoff wird in eine Hohlform gegossen oder gepresst, wo er erstarrt.

<table>
<tr><td colspan="3">Form- und Giessverfahren</td></tr>
<tr><td>Verlorene Formen</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Dauermodelle</td><td>verlorene Modelle</td><td>ohne Modelle</td></tr>
<tr><td>Handformen
Herdformen
Schablonenformen</td><td rowspan="2">Feingiessen</td><td>Druckgiessen
Warmkammer-Verfahren
Kaltkammer-Verfahren</td></tr>
<tr><td>Maschinenformen
Kastenformen
kastenlose Formen</td><td>Kokillengiessen:
Voll-, Halb-, Gemischtkokillen</td></tr>
<tr><td>Maskenformen
Croning-Verfahren</td><td rowspan="2">Vollformgiessen</td><td>Schleudergiessen und Strang-
giessen horizontal</td></tr>
<tr><td>Verbundgiessen</td><td>Verbundgiessen</td></tr>
</table>

4 Elastizität

Hooke'sches Gesetz für Normalspannungen: $\sigma = E \cdot \varepsilon$

(Normalspannung σ, Dehnung ε, Elastizitätsmodul E)

Hooke'sches Gesetz für Schubspannungen: $\tau = G \cdot \gamma$

(Schubspannung τ, Scherwinkel γ, Schubmodul G)

Volumendehnung: $\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_{Vol} \approx \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$

Volumendehnung unter allseitigem Druck: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{-p}{K}$

(Volumen V, Druck p, Kompressionsmodul K)

Querkontraktion bei Zug in z-Richtung: $-\varepsilon_x = -\varepsilon_y = \nu \cdot \varepsilon_z$

Beziehungen zwischen elastischen Konstanten

(für isotropes Material): $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}; \quad E = 2(1+\nu) \cdot G$

5 Potentiale von Kräften

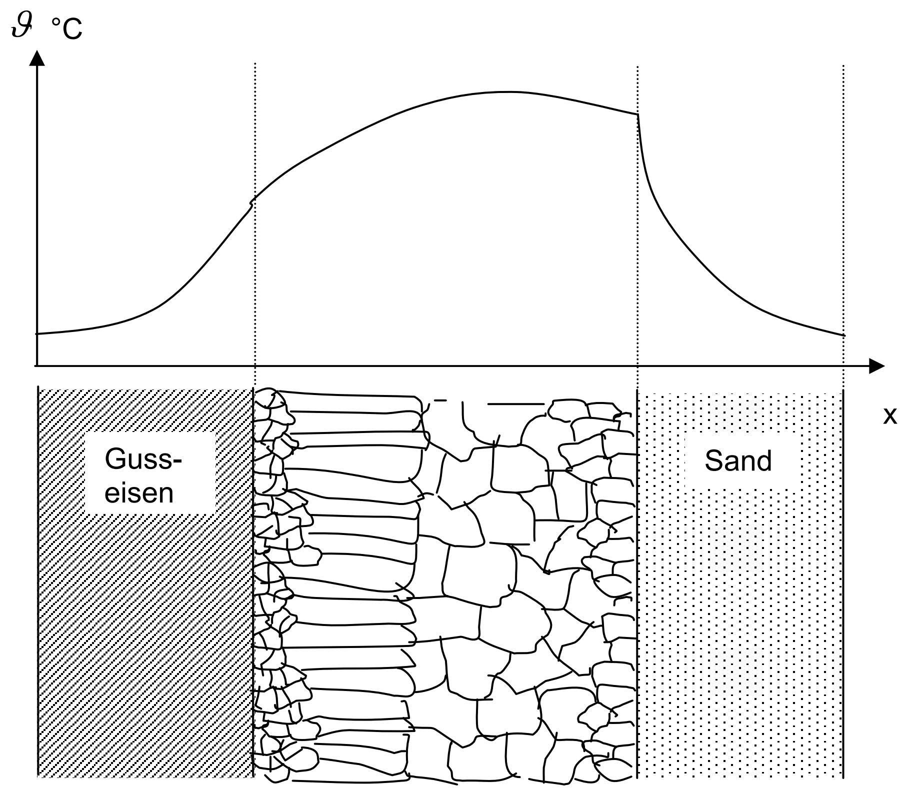
Kräfte leisten Arbeit, wenn sich ihr Angriffspunkt in Kraftrichtung verschiebt. Ist eine Kraft F an jeder Stelle eines Verschiebungsweges x bei jedem Durchlauf gleich gross, lässt sich jeder Stelle auch die Arbeit zuordnen, welche die Kraft bis zu einem Bezugspunkt noch leisten kann. Diese Arbeit nennt man Potential U. $U(x) = \int_0^x F \cdot dx$, wenn F entgegen der x-Achse gerichtet ist, x also kleiner machen möchte. (Geht nicht z.B. bei einem rotierenden Motor: Nach einer Umdrehung ist er wieder am gleichen Ort, hat aber Arbeit geleistet. Kraftfelder müssen "konservativ" sein, damit ein Potential existiert.).

1 Erstarrungsgefüge

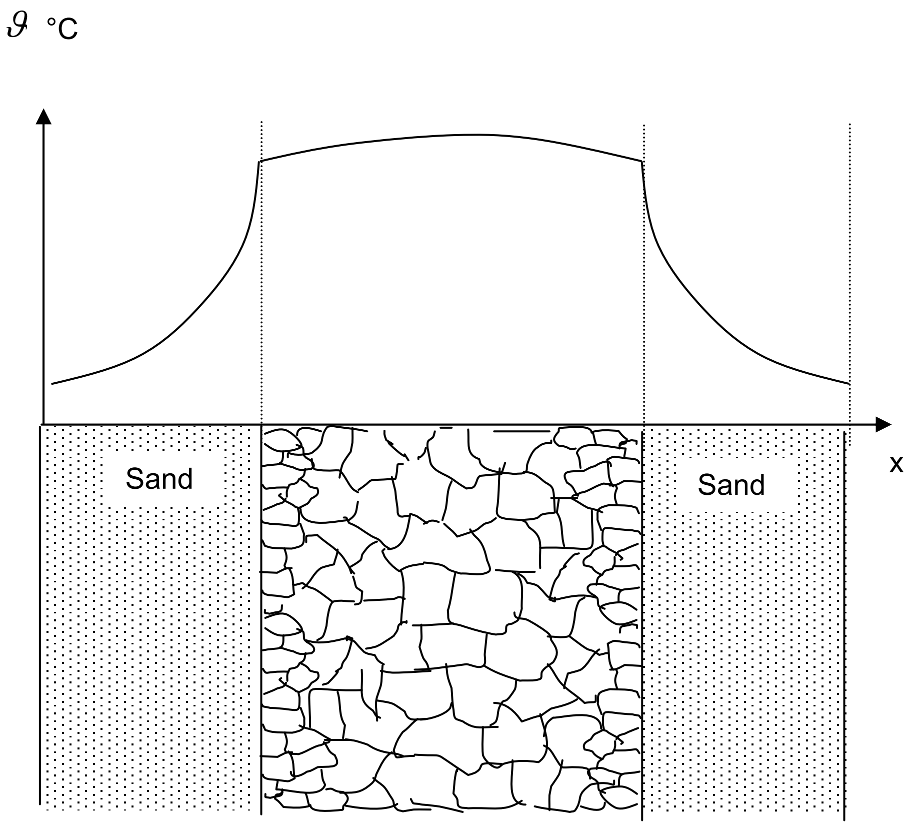
Zeichnen Sie den Temperaturverlauf zu Beginn der Erstarrung und die Ausbildung des Gefüges am Ende der Erstarrung für eine Aluminiumplatte, die senkrecht zu x ausgedehnt ist und die

a) auf der einen Seite eine Gusskokille und auf der anderen Seite eine Sandform aufweist,
b) vollständig in Sand gegossen wird.

Lösung:



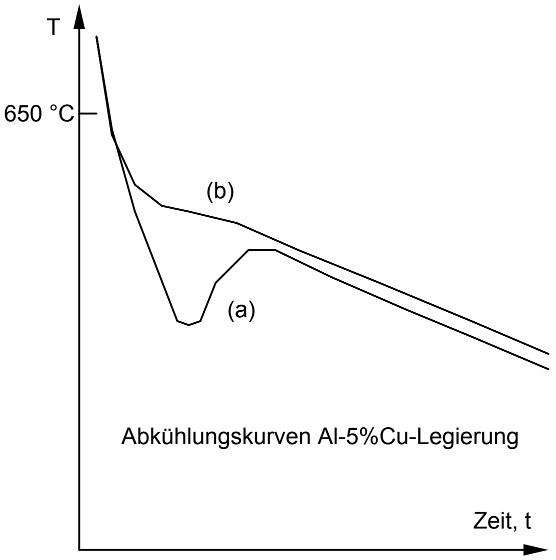
a)



b)

2 Kornfeinung

Eine Aluminiumlegierung mit 5% Cu erstarrt bei gleichen Abkühlungsbedingungen mit unterschiedlichen Temperatur-Zeit-Kurven (a) und (b). Welche der beiden Schmelzen wurde mit heterogenen Keimbildungspartikeln (Kornfeiner) behandelt? Begründen Sie Ihr Urteil.



Lösung:

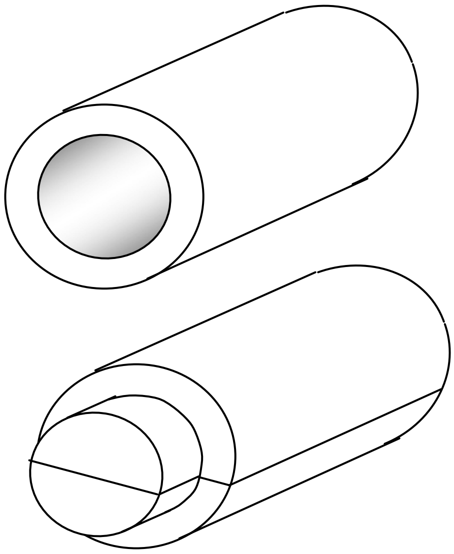
Schmelze (b) wurde mit Kornfeiner behandelt; dadurch wird nur eine geringe Unterkühlung für die Auslösung der Erstarrung benötigt. Der Beginn der Erstarrung äussert sich durch eine Verlangsamung der Abkühlungsgeschwindigkeit, wegen der Wärmetönung durch die Erstarrungswärme. Ohne Kornfeiner (a) entsteht eine starke Unterkühlung der Schmelze. Nach der Keimung verläuft der Erstarrungsprozess deshalb sehr schnell, es ergibt sich sogar ein Wiederanstieg der Temperatur.

3 Sandguss

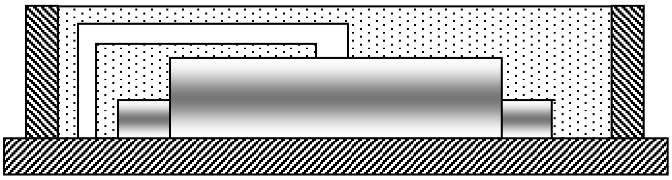
Sie möchten ein zylindrisches Werkstück nach dem System "Dauermodell - verlorene Form" in Sandguss herstellen.

a) Beschreiben und skizzieren Sie das Modell.
b) Beschreiben und skizzieren Sie die Arbeitsschritte.

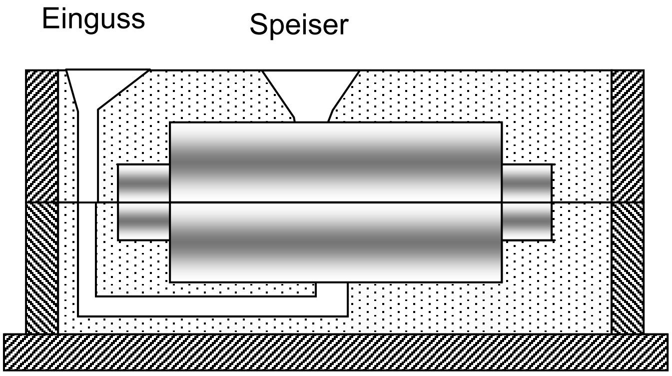
Lösung
a) Das Modell ist in der Horizontalebene teilbar und hat vorn und hinten zylindrische Verlängerungen zur späteren Aufnahme des Kernes in der Sandform. Stifte sorgen für eine genaue Positionierung der beiden Hälften gegeneinander.



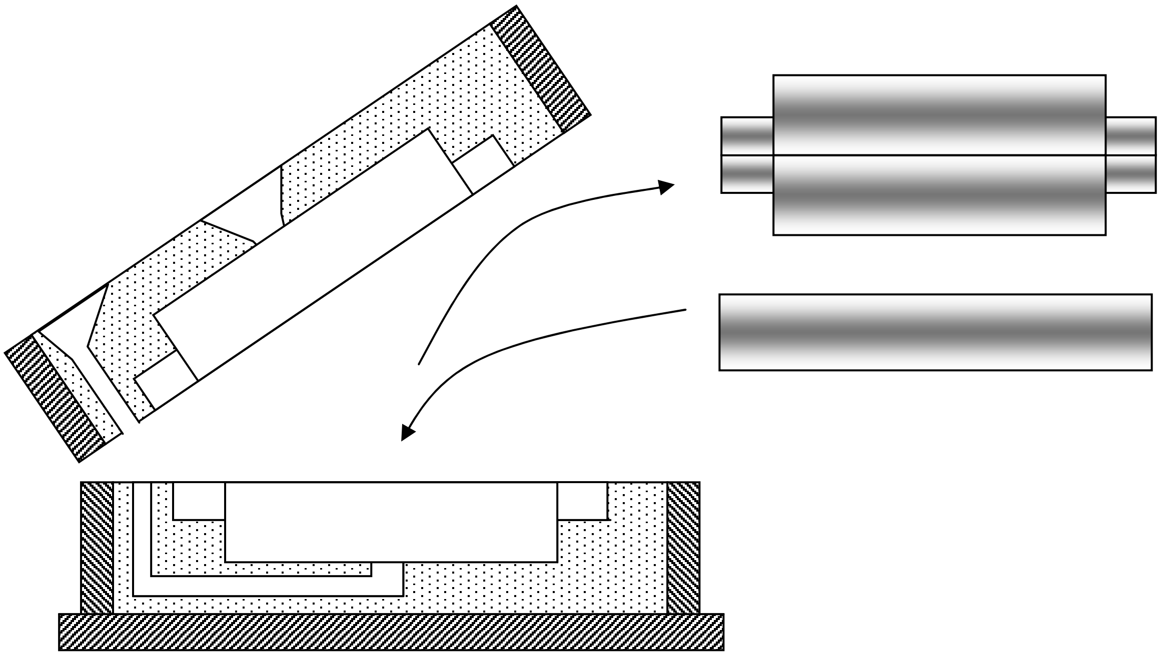
b) Das Modell wird getrennt, die untere Hälfte auf einen Tisch gelegt in einen Formkasten, mit Leitungen für die Schmelze versehen, mit mit Harz versetztem Sand aufgefüllt und eingestampft.



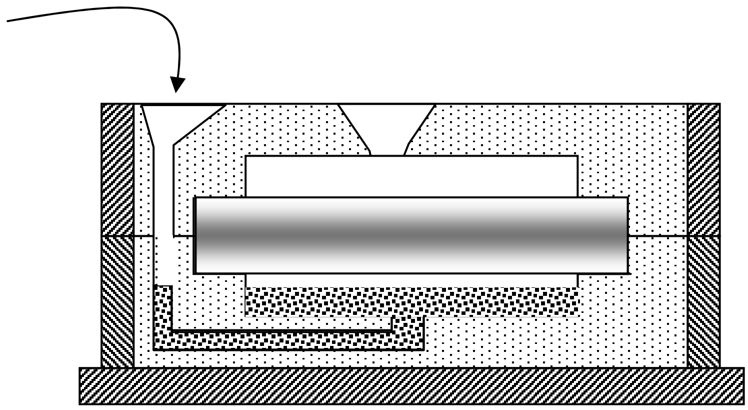
Nach dem Aushärten des Harzes wird die Form mit dem Modellteil umgedreht, die obere Modellhälfte aufgesetzt, der obere Formkasten aufgesetzt, Einguss und Speiser aufgesetzt, auch diese Hälfte mit Formsand verfüllt.



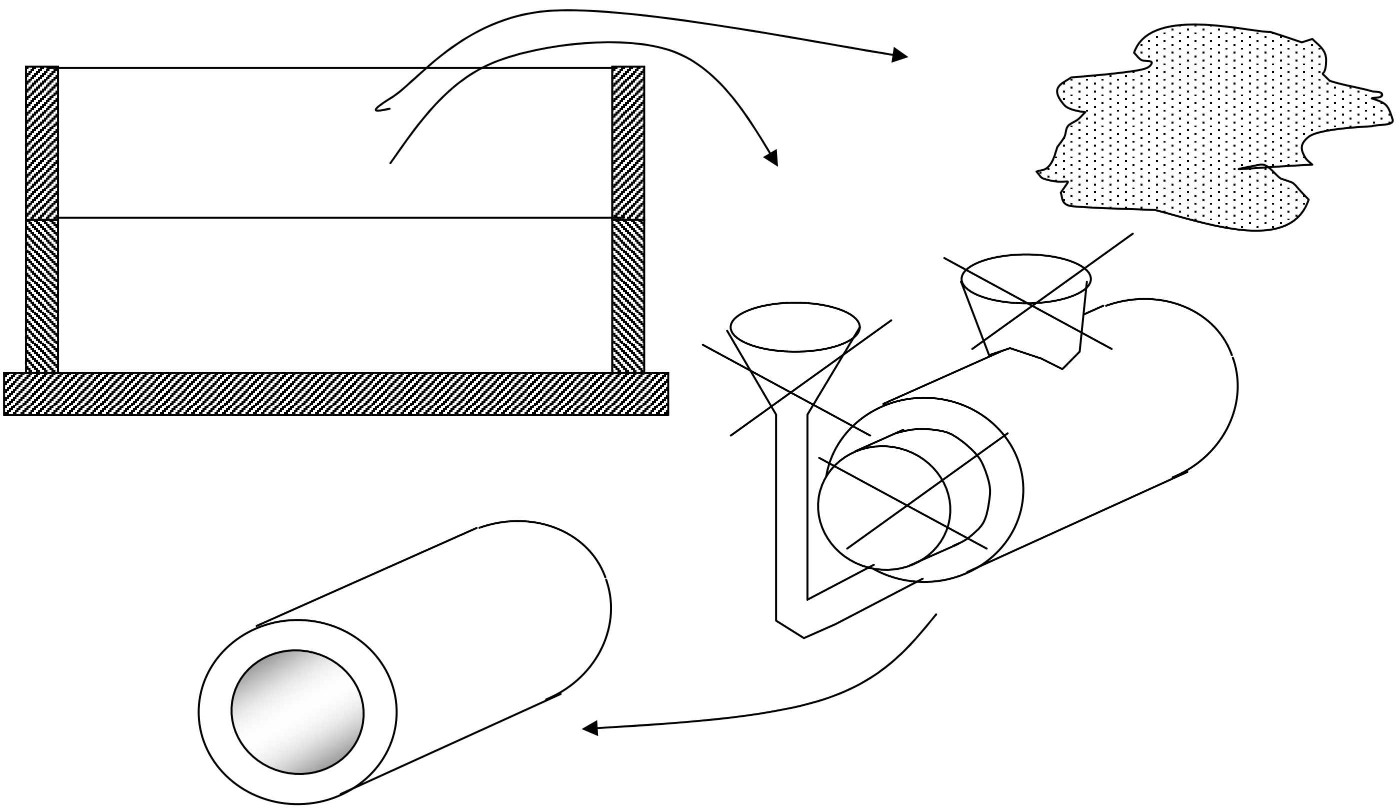
Nach dem Aushärten wird die Form geöffnet, das Modell entnommen, der vorgefertigte Kern eingelegt, die Formhälften mit einander verbunden, dass das obere Formteil durch den hydrostatischen Druck der Schmelze nicht abgehoben wird.



Die Form wird mit Schmelze gefüllt.



Nach dem Erstarren werden der Formsand und der Kern entfernt, Einguss und Steiger abgetrennt, das Werkstück geputzt.



4 Zugstab, Querkontraktion

Ein Zugstab aus Stahl wird bis zur Proportionalitätsgrenze belastet. Wie gross ist sein Durchmesser unter dieser Last?

Proportionalitätsgrenze	σ_P	=	900	N/mm^2
Durchmesser des Zugstabes unbelastet	D_0	=	10	mm
Elastizitätsmodul	E	=	217000	N/mm^2
Querkontraktionszahl	ν	=	0.28	

Lösung:

Längsdehnung unter Last: $\varepsilon_x = \dfrac{\sigma_P}{E} = \dfrac{900}{217000} = 0.00415$

Querkontraktion unter Last: $\varepsilon_y = \varepsilon_z = -0.28 \cdot \varepsilon_x = -0.00116$

Durchmesseränderung: $\Delta D = D - D_0 = D_0 \cdot \varepsilon_y = 10mm \cdot (-0.00116) = -0.0116\ mm$

5 Hydrostatischer Druck

Gegeben ist ein Würfel aus Aluminium mit der Kantenlänge a = 0.5m. Wie ändert sich sein Volumen, wenn er dem hydrostatischen Druck von 10 MPa unterworfen wird.

Elastizitätsmodul E= 71900 N/mm^2
Querkontraktionszahl ν=0.34

Lösung:
Volumen des Würfels bei Druck null: $V_1 = a^3 = 0.125\ m^3$
10 MPa=10 N/mm^2 (100bar)

Der Aluminiumwürfel kann als quasiisotrop angesehen werden.
Mit dem Kompressionsmodul K

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} = \frac{71900}{3(1-2\cdot 0.34)} = 74900 \frac{N}{mm^2}$$

erhält man die Volumenänderung

$$\underline{\underline{\Delta V}} = V_1 - V_2 = \frac{p}{K} V_1 = \frac{10\ N/mm^2}{74900\ N/mm^2} \cdot 0.125\ m^3 = \underline{\underline{1.67 \cdot 10^{-5} m^3}}$$

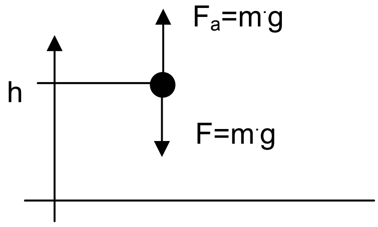
$$\left(\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{1.67 \cdot 10^{-5} m^3}{0.125\ m^3} = 0.013\% \right)$$

6 Potentiale

Zeichnen Sie für eine Masse im Schwerefeld und eine masselose Feder die Kraft in Abhängigkeit von der Verschiebung h bzw. x und zeichnen Sie zugehörige Potentiale ein.
m=1kg, g=9.81 m/s^2, c= 200N/m, -0.1m< x <0.1 m, 0 < h <0.2m

Lösung:

Schwerefeld:



$$F = m \cdot g = 1kg \cdot 9.81 m/s^2 = 9.81\ N$$

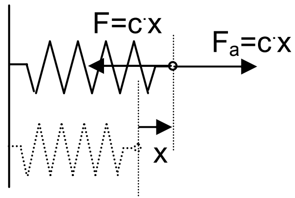
$$U(h) = \int_{h\max}^{h} F \cdot dh = F \cdot (h - h_{\max}) = m \cdot g \cdot (h - h_{\max})$$

$$U(h_{\max}) = 0$$

$$U(h = 0) = -m \cdot g \cdot h_{\max} =$$

$$-1\ kg \cdot 9.81\ m/s^2 \cdot 0.2\,m = -1.962\,J$$

Feder:



$$F(x = 0.1\,m) = c \cdot x = 200N/m \cdot 0.1m = 20\ N$$

$$F(x = -0.1\,m) = c \cdot x = 200N/m \cdot (-0.1m) = -20\ N$$

$$U(x) = c \cdot \int_{x\max}^{x} x \cdot dx = c \cdot \left(\frac{x^2}{2} - \frac{x^2{}_{\max}}{2}\right) =$$

$$U(x_{\max}) = 0 = U(x_{\min})$$

$$U(0) = -c \cdot \frac{x^2{}_{\max}}{2} = -200N/m \cdot \frac{0.01m^2}{2} = -1Nm = -1J$$