

# Übungsblatt 10

## Fortgeschrittene Kontinuumstheorie II

### Klassische Feldtheorie

SS 2017

Fakultät Mathematik und Physik  
Universität Stuttgart  
Prof. Dr. R. Hilfer

#### Aufgabe 1 (Hausaufgabe):

(4 Punkte)

Bei Erdbebenwellen kommen zwei Wellentypen vor: Longitudinalwellen und Scherwellen (Transversalwellen). In der obersten Erdschicht unterscheidet man zwischen Oberflächenwellen und Love-Wellen, wobei beide vom Scherwellentyp sind. Love-Wellen treten in einer unendlich ausgedehnten Schicht endlicher Dicke auf (z.B. der obersten Erdschicht). Die Welle schwingt dabei parallel zur Schichtgrenze und beide Berandungsflächen sind von Bedeutung. Es liegt ein Wellenleiter vor. Ausgangspunkt unserer Betrachtung ist die Bewegungsgleichung eines elastischen Körpers:

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \operatorname{div} \boldsymbol{\sigma} , \quad (1)$$

für die wir fortschreitende Wellen als Lösungen suchen.

- a) Die oberste Erdschicht mit endlicher Dicke  $H$  liege in der  $(x, y)$ -Ebene. O.B.d.A. lassen wir unsere Welle in  $x$ -Richtung laufen. Das Verschiebungsfeld zeigt dann in  $y$ -Richtung:  $u_x = u_z = 0$  und  $u_y = v(x, z, t)$ , wobei wir eine Abhängigkeit von der Ortskoordinate  $y$  vernachlässigen. Welche Bewegungsgleichung für  $v(x, z, t)$  folgt aus Gl. (1), wenn man für  $\boldsymbol{\sigma}$  die Spannungs-Dehnungsrelation eines isotropen, elastischen Körpers verwendet?
- b) Lösen Sie die Bewegungsgleichung mit Hilfe eines Separationsansatzes

$$v = g(z) \sin(kx - \omega t) , \quad (2)$$

der eine in  $x$ -Richtung fortlaufende Welle mit  $z$ -abhängiger Amplitude darstellt. Sie erhalten eine Differentialgleichung für  $g(z)$ . Bestimmen Sie die freien Parameter in Ihrer Lösung mit Hilfe der folgenden Randbedingungen: der Spannungsvektor verschwinde an der Oberfläche ( $z = 0$ ) und die Verschiebung am Boden des Wellenleiters ( $z = -H$ ) sei Null.

- c) Sie werden feststellen, dass aufgrund der Randbedingungen  $\omega$  und  $k$  durch die sogenannte Dispersionsrelation  $\omega = \omega(k)$  miteinander verknüpft sind. Skizzieren Sie die Dispersionsrelation und diskutieren Sie sie. Welche Bedeutung hat  $c = \sqrt{\mu/\rho}$ ? Fallen Ihnen ähnliche Wellentypen aus anderen Bereichen der Physik ein?

**Aufgabe 2 (Votieraufgabe):****(3 Punkte)**

Betrachten Sie die Hauptgleichung der linearen Elastizitätstheorie (s. Aufgabe 9.2) und zeigen Sie, dass bei einer konstanten Volumenkraftdichte jede Lösung  $\mathbf{u}$  die biharmonische Gleichung  $\Delta\Delta\mathbf{u} = 0$  erfüllt. Gilt auch der Umkehrschluss? Hinweis: Zeigen Sie zunächst, dass  $\Delta \nabla \cdot \mathbf{u} = 0$ .

**Aufgabe 3 (Votieraufgabe):****(4 Punkte)**

Bestimmen Sie  $\lambda$  in

$$\dot{\epsilon}_p^D = \lambda \sigma^D$$

der *Prandtl-Reuss*-Theorie aus der Plastizitätsbedingung  $f = 0$ , dem *Hookeschen* Gesetz für Raten und Deviatoren

$$\frac{D}{Dt} \sigma^D = 2G \frac{D}{Dt} \epsilon^{elD},$$

dem *Hookeschen* Gesetz für Volumendehnung

$$\text{Tr} \frac{D}{Dt} \sigma = 3K \text{Tr} \frac{D}{Dt} \epsilon^{el}$$

und dem elastisch-plastischen Tangentenmodul für linear-elastisch-plastisches Materialverhalten. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- a) Zeigen Sie, dass das *Hookesche* Gesetz für die Raten

$$\dot{\sigma} = \left(K - \frac{2}{3}G\right) \text{Tr}(\dot{\epsilon}^{el}) \mathbf{I} + 2G \dot{\epsilon}^{el} \quad (3)$$

lautet.

- b) Ersetzen Sie in Gleichung 3 die elastischen Verzerrungssinkremente in der Form

$$\epsilon^{el} = \epsilon - \epsilon^{pl}$$

und setzen Sie die Fließregel

$$\dot{\epsilon}^{pl} = \lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma}$$

ein.

- c) Verjüngen Sie das Ergebnis aus b) mit der Ableitung der Fließfunktion nach der Spannung. Lösen Sie nach  $\lambda$  auf.