

## Übungen zur Vorlesung Variationsrechnung I Serie 1 vom 16.10.2007

---

### Aufgabe 1 [1. Variation & Euler-Lagrange-Gl. in mehreren Dimensionen]

Betrachte Variationsintegrale der Form

$$\mathcal{F}(u) := \int_{\Omega} F(x, u(x), Du(x)) dx, \quad (1)$$

wobei  $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ ,  $n \geq 1$ , offen und beschränkt ist,  $F \in C^1(\mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^{nN})$ ,  $u \in C^1(\overline{\Omega}, \mathbb{R}^N)$ ,  
und wobei  $Du(x)$  die Jakobische von  $u$  bezeichnet.

- Leiten Sie analog zur Vorlesung eine Formel für die erste Variation  $\delta \mathcal{F}(u, \phi)$  her (vgl. Def. 1.1), wobei  $\phi \in C^1(\overline{\Omega}, \mathbb{R}^N)$ .
- Wie lauten die zugehörigen Euler-Lagrangeschen Gleichungen für eine schwache  $\mathcal{F}$ -Extremale  $u \in C^2(\Omega, \mathbb{R}^N) \cap C^1(\overline{\Omega}, \mathbb{R}^N)$ ? (vgl. Prop. 1.6)
- Geben Sie für  $N = 1$ ,  $n \geq 1$  die Euler-Lagrangeschen Gleichungen für die Funktionale

$$\mathcal{D}(u) := \frac{1}{2} \int_{\Omega} |Du(x)|^2 dx, \quad (\text{Dirichlet Integral}) \quad (2)$$

$$\mathcal{F}(u) := \mathcal{D}(u) + \int_{\Omega} f(x)u(x) dx, \quad (3)$$

$$\mathcal{G}(u) := \mathcal{D}(u) + \int_{\Omega} g(u(x)) dx, \quad (4)$$

an, wobei  $f \in C^0(\overline{\Omega})$  und  $g \in C^1(\mathbb{R}^N)$ .

---

### Aufgabe 2 [Beispiel eines Minimierers in $C^1 \setminus C^2$ ]

Beweisen Sie, dass die Funktion

$$u_*(x) := \begin{cases} 0 & \text{für } x \in [-1, 0], \\ x^2 & \text{für } x \in (0, 1] \end{cases}$$

der eindeutige Minimierer von

$$\mathcal{F}(u) := \int_{-1}^1 u^2(x)[2x - u'(x)]^2 dx$$

in der Klasse

$$\mathcal{C} := \{u \in C^1([-1, 1]) : u(-1) = 0, u(1) = 1\}$$

ist (vgl. Beispiel 4 aus Abschnitt 1.1).

---

### Aufgabe 3 [Mittelwertkonvergenz]

Sei  $x \in I = (a, b) \subset \mathbb{R}$  und  $I_i \subset I$  eine Folge von Intervallen, so dass folgendes gilt: Es gibt Zahlen  $\sigma, r_i > 0$  mit  $\lim_{i \rightarrow \infty} r_i = 0$ , so dass

$$I_i \subset (x - r_i, x + r_i) \quad \text{und} \quad |I_i| \geq \sigma |(x - r_i, x + r_i)| = 2\sigma r_i \quad \text{für alle } i \in \mathbb{N}.$$

Beweisen Sie: Ist  $x$  ein Lebesgue Punkt von  $f \in L^1(I)$ , dann gilt

$$f(x) = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{1}{|I_i|} \int_{I_i} f(y) dy.$$

*Bemerkung.* Der Punkt  $x$  muss nicht in  $I_i$  liegen, nicht einmal in  $\bar{I}_i$ .

Zusatz\*: Versuchen Sie, die Aussage auch im  $\mathbb{R}^n$  zu formulieren und zu beweisen, indem Sie die Intervalle  $I_i$  durch Borelmengen  $E_i \subset \mathbb{R}^n$  und die Intervalle  $(x - r_i, x + r_i)$  durch offene Bälle

$$B_{r_i}(x) := \{y \in \mathbb{R}^n : |y - x| < r_i\}$$

ersetzen.

---

### Aufgabe 4 [Kreisbögen als Lösungen von Euler-Lagrange-Gleichungen]

Leiten Sie die Euler-Lagrange-Gleichung für das Funktional

$$\mathcal{F}(u) := \int_0^1 \{\sqrt{1 + (u'(x))^2} + Hu(x)\} dx, \quad H = \text{const} \in (-1, 1),$$

her, und beweisen Sie unter geeigneten Annahmen an Integrationskonstanten, dass für jede Lösung  $u \in C^2((0, 1))$  der Euler-Lagrange-Gleichung der Graph von  $u$

$$\text{graph } u := \{(x, u(x)) : x \in (0, 1)\}$$

ein Kreisbogen mit Radius  $R := 1/H$  darstellt.

---