Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Institut für Mathematik
Prof. Dr. Heiko von der Mosel
Anna Lagemann

Übungen zur Vorlesung Variationsrechnung I Serie 3 vom 29.10.2021 Abgabedatum: 8.11.2021

Aufgabe 9 **[Innere Variationen für Variationsprobleme höherer Ordnung]**

Sei

$$\mathscr{F}(u) := \int_I F(x, u(x), u'(x), u''(x))\, dx$$

ein Variationsintegral 2. Ordnung. Wir nehmen an, dass $F \in C^1(\mathbb{R} \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^N)$, $u \in C^2(\bar{I}, \mathbb{R}^N)$ und setzen $\lambda := \frac{\partial \xi}{\partial \varepsilon}|_{\varepsilon=0}$, wobei $\{\xi(., \varepsilon)\}_{\varepsilon \in (-\varepsilon_0, \varepsilon_0)}$ eine zulässige Parametervariation im Sinne von Definition 1.14 von der Klasse C^3 auf $\bar{I} \times (-\varepsilon_0, \varepsilon_0)$ ist. Berechnen Sie analog zur Vorlesung (Proposition 1.16) die innere Variation $\partial \mathscr{F}(u, \lambda)$.

Aufgabe 10 **[Flächenfunktional für zweidimensionale Graphen]**

Sei $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ offen und beschränkt, und $u \in C^1(\overline{\Omega})$ sei schwacher kritischer Punkt des Flächenfunktionals

$$\mathscr{F}(v) := \int_\Omega \sqrt{1 + |\nabla v(x)|^2}\, dx.$$

Zeigen Sie:

$$\mathscr{F}(u) \leq \mathscr{F}(v) \quad \text{für alle } v \in C^1(\overline{\Omega}) \text{ mit } v = u \text{ in einer Umgebung von } \partial\Omega.$$

Hinweis: Machen Sie sich zunächst mit Hilfe von Faltungen (z.B. mit dem zugehörigen Satz aus der Übung) klar, dass $\delta\mathscr{F}(u, u - v) = 0$. (Das kann man übrigens auch zeigen, wenn nur $u, v \in C^1(\overline{\Omega})$ und $u = v$ auf $\partial\Omega$, was wir im dritten Kapitel der Vorlesung sehen werden.)

Aufgabe 11 **[Natürliche Randbedingungen in zwei Dimensionen]**

Betrachte Variationsintegrale der Form

$$\mathscr{F}(u) := \int_{B^+} F(x, u(x), Du(x))\, dx, \tag{1}$$

wobei $B^+ := \{x = (x^1, x^2) \in \mathbb{R}^2 : |x| < 1, x^2 > 0\}$. Sei $u \in C^2(\overline{B^+}, \mathbb{R}^N)$, $F \in C^2(\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^{2N})$, $I = (-1, 1) \times \{0\}$, und $Du(x)$ bezeichne die Jacobi Matrix von u.

(a) Beweisen Sie: Falls $\delta\mathscr{F}(u, \phi) = 0$ für alle $\phi \in C_0^\infty(B^+ \cup I, \mathbb{R}^N)$, dann gelten die *natürlichen Randbedingungen*

$$F_{p_2^i}(x, u(x), Du(x)) = 0 \text{ für alle } x \in I, i = 1, \ldots, N.$$

Hinweis: Gehen Sie wie im Beweis von Proposition 1.12 vor und nutzen Sie Aufgabe 2 von Serie 1.

(b) Geben Sie für die Funktionale

$$\mathscr{D}(u) := \frac{1}{2}\int_{B^+} |Du(x)|^2\,dx \quad \textit{(Dirichlet Integral)}, \tag{2}$$

$$\mathscr{A}(u) := \int_{B^+} \{\sqrt{1+|Du(x)|^2} + g(x,u)\}\,dx \tag{3}$$

(Flächenfunktional mit äußerem Potential)

die natürlichen Randbedingungen konkret an, wobei $g \in C^2(\mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^N)$ ist.

Aufgabe 12

Sei $I := (a,b) \subset \mathbb{R}$.

Beweisen Sie: Für $\lambda \in \mathbb{R}$,

$$\mathscr{F}(v) := \int_I v(x)\sqrt{1+(v'(x))^2}\,dx, \quad \mathscr{L}(v) := \int_I \sqrt{1+(v'(x))^2}\,dx$$

gilt die Aussage:

u ist schwacher kritischer Punkt von $\mathscr{F} + \lambda\mathscr{L}$ genau dann, wenn $u+\lambda$ ein schwacher kritischer Punkt von $\mathscr{F}$ ist.
