

# ÜBUNG 13

Ausgabedatum: 22. Januar 2024  
Abgabedatum: 28. Januar 2024

## Hausaufgabe 13.1 (Richtungsableitungen von Normen)

Verifizieren Sie Beispiel 14.12, also die folgenden Aussagen für  $d \in \mathbb{R}^n$ :

(i) Für  $f(x) = \|x\|_1 = \sum_{i=1}^n |x_i|$  ist

$$f'(x; d) = \sum_{\substack{i=1 \\ x_i > 0}}^n d_i - \sum_{\substack{i=1 \\ x_i < 0}}^n d_i + \sum_{\substack{i=1 \\ x_i = 0}}^n |d_i|.$$

(ii) Für  $f(x) = \|x\|_2 = \left( \sum_{i=1}^n |x_i|^2 \right)^{1/2}$  ist

$$f'(x; d) = \begin{cases} \frac{x^\top d}{\|x\|_2}, & \text{falls } x \neq 0, \\ \|d\|_2, & \text{falls } x = 0. \end{cases}$$

(iii) Für  $f(x) = \|x\|_\infty = \max_{i=1,\dots,n} |x_i|$  und  $x \neq 0$  ist

$$f'(x; d) = \max \left\{ (\operatorname{sgn} x_i) d_i \mid i = 1, \dots, n, |x_i| = \|x\|_\infty \right\}$$

sowie

$$f'(0; d) = \|d\|_\infty.$$

## Hausaufgabe 13.2 (Kettenregel für die Richtungsableitungen)

- (i) Geben Sie ein Beispiel für Funktionen  $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \cup \{\infty\}$ ,  $x_0 \in \text{dom } g$  und  $d \in \mathbb{R}$  an, das zeigt, dass i. A. keine Kettenregel für die Richtungsableitung gilt.
- (ii) Wir können die [Definition 14.11](#) der Richtungsableitung direkt auf vektorwertige Funktionen  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  übertragen, indem wir fordern, dass der Grenzwert existieren muss, aber in jeder Komponente endlich ist.

Es seien  $f: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^l$ ,  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  gegeben, so dass

- (a) die Richtungsableitung von  $g$  an  $x_0$  in Richtung  $d$  existiert (und endlich ist),
- (b) die Richtungsableitung von  $f$  an  $g(x_0)$  in Richtung  $g'(x_0; d)$  existiert (und endlich ist) und
- (c) die Funktion  $f$  in einer Umgebung von  $g(x_0)$  Lipschitz-stetig ist.

Zeigen Sie, dass in diesem Fall die Richtungsableitung von  $f \circ g$  an  $x_0$  in Richtung  $d$  existiert, und dass

$$f \circ g'(x_0; d) = f'(g(x_0); g'(x_0, d)) \quad \text{für alle } d \in \mathbb{R}^n. \quad (\text{o.1})$$

**Hausaufgabe 13.3** (Richtungsableitung und Subdifferential für max diffbarer Funktionen)

Es seien  $C \subseteq \mathbb{R}^n$  eine offene und konvexe Menge und  $f_i: C \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $i = 1, \dots, m$ , konvexe und stetig differenzierbare Funktionen sowie für  $x \in C$

$$f(x) := \max_{i=1, \dots, m} f_i(x)$$

und  $A(x) := \{i \in \{1, \dots, m\} \mid f_i(x) = f(x)\}$ . Zeigen Sie:

- (i) Die Funktion  $f$  besitzt für alle Richtungen  $d \in \mathbb{R}^n$  die Richtungsableitung

$$f'(x, d) = \max_{i \in A(x)} f'_i(x)d.$$

- (ii) Das Subdifferential der Funktion  $f$  ist

$$\partial f(x) = \text{conv}\{f'_i(x)^\top \mid i \in A(x)\}.$$

<https://scoop.iwr.uni-heidelberg.de/teaching/2023ws/lecture-grundlagen-der-optimierung>