Technische Universität Chemnitz
Prof. Dr. R. Herzog, M. Winkler

Chemnitz, 19. Januar 2018
Abgabe am 24. Januar 2018

# Grundlagen der Optimierung

# Übung 13

**Aufgabe 49: Eigenschaften der Richtungsableitung**

Beweise Lemma 13.10 aus der Vorlesung.

**Aufgabe 50: Operationen auf Kegeln**

Beweise (e) und (f) von Satz 14.3 aus der Vorlesung (Operationen auf Kegeln).

**Aufgabe 51: Eigenschaften des Polarkegels und ein Beispiel**

(a) Skizziere den Polarkegel zu

$$X = \Big\{x = (x_1,\, x_2)^\top \in \mathbb{R}^2 \,:\, (x_1 - 2)^2 + (x_2 - 3)^2 \le 1\Big\} \cup \Big\{(3,\, 1)^\top\Big\}.$$

(b) Beweise Lemma 14.6 aus der Vorlesung.

**Aufgabe 52: Beispiele konvexer Mengen und Kegel**

Seien

$$\begin{aligned}
A_1 &= \{f \in C([0,1], \mathbb{R}) :\ f(0) = f(1)\},\\
A_2 &= \{f \in C([0,1], \mathbb{R}) :\ f(0) \neq 0\},\\
A_3 &= \{f \in C([0,1], \mathbb{R}) :\ f(0) = 2\},\\
A_4 &= \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 :\ y \ge 0,\ |x-1| \le y\}.
\end{aligned}$$

Prüfen Sie, ob die Mengen $A_i$ konvex, Kegel oder sogar konvexe Kegel sind.
**Hinweis:** $C([0,1], \mathbb{R})$ bezeichnet die Menge der stetigen Funktionen auf dem Intervall $[0,1]$ mit Werten in $\mathbb{R}$.

## Hausaufgabe 30: Grafische Darstellung einiger Polarkegel

Betrachte folgende Mengen im $\mathbb{R}^2$:

(a) $M_1 = \{(-1,-1)\} \cup \{(1,1)\}$,

(b) $M_2 = \operatorname{conv}(\{(1,2),(-1,2),(0,1)\})$,

(c) $M_3 = \{x \in \mathbb{R}^2 : \ \|x\|_2^2 \le 1\}$.

Stelle die Polarkegel dieser Mengen dar.

## Hausaufgabe 31: Polarkegel der konischen Hülle

Gegeben seien die Vektoren $x_1, \ldots, x_m \in \mathbb{R}^n$. Die Menge

$$\operatorname{cone}\{x_1, \ldots, x_m\} := \{y = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i x_i \in \mathbb{R}^n \colon \lambda_i \ge 0\}$$

wird als (abgeschlossene, konvexe) *konische Hülle* bezeichnet. Zeige: der Polarkegel zu $K = \operatorname{cone}\{x_1, \ldots, x_m\}$ ist $K^\circ = \{s \in \mathbb{R}^n : s^\top x_j \le 0 \text{ für } j = 1, \ldots, m\}$.

## Hausaufgabe 32: Einige Polarkegel

Bestimme zu folgenden konvexen Kegeln den jeweiligen Polarkegel.

(a) abgeschlossener Orthant $\mathbb{R}^n_+ = \{x \in \mathbb{R}^n : x \ge 0\}$

(b) Lorentzkegel $K = \{(x,t) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R} : \|x\|_2 \le t\}$

(c) symmetrisch positiv semidefinite Matrizen $\mathcal{S}^n_+ = \{X \in \mathcal{S}^n : X \succeq 0\}$ als Teilmenge von $\mathcal{S}^n = \{X \in \mathbb{R}^{n\times n} : X^\top = X\}$

**Hinweise:**

- Für Matrizen $A, B \in \mathbb{R}^{n\times m}$ ist das kanonische Skalarprodukt $\langle A, B\rangle := \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} b_{ij}$. Verwende dieses Skalarprodukt in Teil (c).
- Es gilt $\langle A, B\,C\rangle = \left\langle A\,C^\top, B\right\rangle$ (für passende Dimensionen).
- Für jede symmetrischen Matrix $X \in \mathcal{S}^n$ existiert die Spektralzerlegung. D.h. sei $\{v_1, \ldots, v_n\}$ eine Orthonormalbasis aus Eigenvektoren von $X$ und $\lambda_1, \ldots, \lambda_n$ die zugehörigen Eigenwerte, dann gilt $X = \sum_{i=1}^n \lambda_i\, v_i\, v_i^\top$.