

## Tag 1: Euklidische Vektorräume

### Hausaufgaben

Abgabeschluss für diese Hausaufgaben ist morgen um 10:00 Uhr.

#### Aufgabe 1 (10 Punkte)

1. Sei  $V$  ein reeller Vektorraum. Welche der folgenden Aussage ist falsch?
  - Für alle  $\mathbf{v}, \mathbf{w} \in V$  gilt  $\mathbf{v} + \mathbf{w} = \mathbf{w} + \mathbf{v}$
  - Für alle  $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w} \in V$  gilt  $(\mathbf{u} + \mathbf{v}) + \mathbf{w} = \mathbf{u} + (\mathbf{v} + \mathbf{w})$
  - Für alle  $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w} \in V$  gilt  $(\mathbf{u}\mathbf{v})\mathbf{w} = \mathbf{u}(\mathbf{v}\mathbf{w})$
2. Welcher der folgenden Mengen bildet zusammen mit der entsprechenden Addition und Skalarmultiplikation keinen reellen Vektorraum?
  - Die imaginären Zahlen  $\{iy \in \mathbb{C} | y \in \mathbb{R}\}$
  - Die Menge der reellwertigen, positiven Funktionen  $\{f : \mathbb{R}^n \mapsto [0, +\infty]\}$
  - Die Menge aller Polynome vom Grad  $\leq n$   $\{f : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R} | f(x) = \sum_{i=0}^p a_i x^i, a_i \in \mathbb{R}\}$
3. Sei  $V$  ein reeller Vektorraum. Welche Aussage ist richtig:
  - $\{\mathbf{v} + \mathbf{w} | \mathbf{v}, \mathbf{w} \in V\} = V$
  - $\{\mathbf{v} + \mathbf{w} | \mathbf{v}, \mathbf{w} \in V\} = V \times V$
  - $\{\lambda \mathbf{v} | \mathbf{v} \in V, \lambda \in \mathbb{R}\} = \mathbb{R} \times V$
4. Welche der folgenden Teilmengen des  $\mathbb{R}^n$  ist ein Untervektorraum?
  - $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | x_1 = \dots = x_n\}$
  - $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | x_1^2 = x_2^2\}$
  - $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | x_1 = 1\}$
5. Welche der folgenden Aussagen bedeutet die lineare Unabhängigkeit von Vektoren  $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n$ ?
  - $\lambda_1 \mathbf{v}_1 + \dots + \lambda_n \mathbf{v}_n = 0$  nur wenn  $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = 0$
  - Wenn  $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = 0$  dann  $\lambda_1 \mathbf{v}_1 + \dots + \lambda_n \mathbf{v}_n = 0$
  - $\lambda_1 \mathbf{v}_1 + \dots + \lambda_n \mathbf{v}_n = 0$  für alle  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n) \in \mathbb{R}^n$
6. Welche der folgenden Vektoren bilden eine Basis des Vektorraums der Polynome vom Grad 2?
  - $f_1(x) = x^2 + x - 2, f_2(x) = 2x^2 + 2x - 4, f_3(x) = 3x + 2$
  - $f_1(x) = 5x^2 - 2, f_2(x) = 3x, f_3(x) = 1$
  - $f_1(x) = x^2 + 3x + 1, f_2(x) = x^2 - 1, f_3(x) = x + 1, f_4(x) = x - 1$

7. Wieviele Dimensionen hat der Vektorraum  $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3 | x_1 + 2x_2 = 0, x_1 + x_3 = 0\}$ ?

1

2

3

8. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

Ist  $\langle \cdot, \cdot \rangle : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \mapsto \mathbb{R}$  ein Skalarprodukt auf  $\mathbb{R}^n$ , so ist  $\langle \mathbf{x}, \mathbf{y} \rangle = x_1y_1 + \dots + x_ny_n$  für alle  $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbb{R}^n$

Definiert man  $\langle \mathbf{x}, \mathbf{y} \rangle := x_1y_1 + \dots + x_ny_n$  für alle  $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbb{R}^n$ , so ist dadurch ein Skalarprodukt auf  $\mathbb{R}^n$  erklärt.

Dafür, dass eine Abbildung  $\langle \cdot, \cdot \rangle : \mathbb{R}^n \mapsto \mathbb{R}^n$  ein Skalarprodukt auf dem  $\mathbb{R}^n$  definiert, ist  $\langle \mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j \rangle = \delta_{ij}$  eine notwendige Bedingung. (Das Kronecker Symbol  $\delta_{ij}$  ist definiert als  $\delta_{ii} := 1$  und  $\delta_{ij} := 0$  für  $i \neq j$ .)

9. Welche der folgenden Abbildungen definiert kein Skalarprodukt auf dem Vektorraum  $L_2(\mathbb{R})$  der quadratisch integrierbaren Funktionen auf  $\mathbb{R}$ ?

$\langle f, g \rangle := \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)g(x)dx$  für alle  $f, g \in L_2(\mathbb{R})$

$\langle f, g \rangle := \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-x^2)f(x)g(x)dx$  für alle  $f, g \in L_2(\mathbb{R})$

$\langle f, g \rangle := \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) + g(x)dx$  für alle  $f, g \in L_2(\mathbb{R})$

10. Sei  $V = \mathbb{R}^2$  mit dem Standardskalarprodukt. Welches der folgenden Vektoren bilden eine orthonomale Basis?

$\begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

### Aufgabe 2 (5 Punkte)

Sei  $(V, \langle \cdot, \cdot \rangle)$  ein euklidischer Vektorraum und seien  $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n \in V$  paarweise orthogonale Vektoren. Beweise das generalisierte Pythagorastheorem:

$$\left\| \sum_{i=1}^n \mathbf{v}_i \right\|^2 = \sum_{i=1}^n \|\mathbf{v}_i\|^2$$

### Aufgabe 3 (5 Punkte)

Wir betrachten den  $\mathbb{R}^n$  mit dem Standardskalarprodukt. Sei  $U$  ein  $r$ -dimensionaler Untervektorraum des  $\mathbb{R}^n$  mit einer Orthonormalbasis  $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_r \in \mathbb{R}^n$ . Die orthogonale Projektion eines Vektors  $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^n$  auf  $U$  ist gegeben durch

$$p(\mathbf{v}) = \sum_{i=1}^r \langle \mathbf{v}, \mathbf{u}_i \rangle \mathbf{u}_i = \sum_{i=1}^r (\mathbf{v}^T \mathbf{u}_i) \mathbf{u}_i.$$

Zeige:

$$p(\mathbf{v}) = \left( \sum_{i=1}^r \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^T \right) \mathbf{v}.$$