

Übung zum Lehrerweiterbildungskurs Mathematik 'Lineare Algebra/Analytische Geometrie I'

Aufgabe C 1 (Lineare Abhängigkeit, Koordinaten/ Polynome, Matrizen)

1. $\vec{a} = 1 - x$, $\vec{b} = 1 + x$, $\vec{c} = x$ sind Vektoren im Vektorraum der Polynome über \mathbb{R} . Zeigen Sie, dass die Vektoren $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ linear abhängig sind. Prüfen Sie, ob die Vektoren \vec{b}, \vec{c} linear abhängig sind. Ist \vec{c} allein linear abhängig?

2. Untersuchen Sie, ob im Vektorraum der 2×2 - Matrizen über \mathbb{R} die Matrizen

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ und } B = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

linear unabhängig sind. Ist A für sich allein linear unabhängig?

3. $\mathcal{B} = (1, x, x^2, x^3)$ ist eine (geordnete) Basis des Vektorraums der Polynome vom Grad kleiner gleich 3.

a) Welches Polynom hat bezüglich \mathcal{B} den Koordinatenvektor $\begin{pmatrix} -1 \\ \frac{2}{3} \\ -4 \\ 2 \end{pmatrix}$?

b) Wie lautet der zum Polynom $3 - 2x + 4x^3$ gehörige Koordinatenvektor?

4. Im Vektorraum der Polynome vom Grad ≤ 2 ist $\mathcal{C} = (2, 1 + x, 1 - x^2)$ geordnete Basis.

a) Welches Polynom hat bezüglich \mathcal{C} den Koordinatenvektor $\begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix}$?

b) Wie lautet der Koordinatenvektor des Polynoms $1 + x + x^2$ bzgl. \mathcal{B} ?

5. a) Zeigen Sie, dass im Vektorraum der 2×2 - Matrizen über \mathbb{R} die

Menge $\mathcal{D} = \left(\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right)$ eine geordnete Basis ist!

b) Welche Matrix hat bez. \mathcal{D} die Koordinaten $\begin{pmatrix} -\frac{1}{2} \\ 2 \\ -1 \\ \frac{3}{5} \end{pmatrix}$?

c) Welche Koordinaten bez. \mathcal{D} hat die Matrix $\begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 4 & -7 \end{pmatrix}$?

Lösungsskizze

1. Die Vektoren $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ sind linear abhängig genau dann, wenn es Skalare $r, s, t \in \mathbb{R}$ gibt, die nicht alle gleich null sind, so dass

$$(*) \quad r \cdot \vec{a} + s \cdot \vec{b} + t \cdot \vec{c} = \vec{0}$$

gilt.

Setzt man o.B.d.A. $t = -1$, so ergibt eine Heuristik (Beweisrichtung beachten!) aus Gleichung (*) die Werte $r = -\frac{1}{2}$ und $s = \frac{1}{2}$. Tatsächlich gilt:

$$r \cdot \vec{a} + s \cdot \vec{b} = \left(-\frac{1}{2}\right) \cdot (1-x) + \frac{1}{2} \cdot (1+x) = \frac{1}{2} \cdot (-1+x+1+x) = x = \vec{c}.$$

\vec{c} lässt sich somit als Linearkombination der Vektoren \vec{a} und \vec{b} darstellen; also sind die Vektoren \vec{a}, \vec{b} und \vec{c} linear abhängig.

Alternativ: \vec{a}, \vec{b} und \vec{c} sind Polynome vom Grad 1. Der Vektorraum der Polynome vom Grad kleiner gleich 1 hat Dimension 2 (z.B. Basis $(1, x)$). Daher sind drei Vektoren dieses Raumes immer linear abhängig.

Die Vektoren \vec{b} und \vec{c} sind linear unabhängig genau dann, wenn gilt:

$$s \cdot \vec{b} + t \cdot \vec{c} = 0 \Rightarrow s = t = 0.$$

Aus $s(1+x) + tx = 0$ folgt $s + (s+t)x = 0$ und damit $s = 0 = s+t$, also $s = t = 0$. D.h.: die Vektoren \vec{b} und \vec{c} sind nicht linear abhängig.

Entsprechend ist auch \vec{c} linear unabhängig, denn: $tx = 0 \Rightarrow t = 0$.

Anmerkung: Dies gilt i.A. für jeden vom Nullvektor verschiedenen Vektor.

2. Da A nicht die Nullmatrix ist, ist A linear unabhängig.

Aus

$$(sA + tB =) s \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

d.h.

$$\begin{pmatrix} s-t & s+t \\ s+2t & s+t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

folgt $s = t = 0$. Also sind die Matrizen A und B linear unabhängig.

3. a) Das Polynom mit Koordinatenvektor $\begin{pmatrix} -1 \\ \frac{2}{3} \\ -4 \\ 2 \end{pmatrix}$ bezüglich der Basis

$\mathcal{B} = (1, x, x^2, x^3)$ ist $-1 + \frac{2}{3}x - 4x^2 + 2x^3$.

- b) Der zum Polynom $3 - 2x + 4x^3$ bezüglich \mathcal{B} gehörende Koordinaten-

vektor ist $\begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 4 \end{pmatrix}$.

4. a) Den Koordinatenvektor $\begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix}$ bezüglich \mathcal{C} hat das Polynom

$$2 \cdot 2 + (-3) \cdot (1+x) + 1 \cdot (1-x^2) = 4 - 3 - 3x + 1 - x^2 = 2 - 3x - x^2.$$

- b) Der Koordinatenvektor des Polynoms $1 + x + x^2$ bzgl. \mathcal{C} ergibt sich aus

$$r \cdot 2 + s \cdot (1+x) + t \cdot (1-x^2) = 1 + x + x^2.$$

Ein Koeffizientenvergleich liefert die Äquivalenz zu

$$\begin{aligned} 2r + s + t &= 1 \\ s &= 1 \\ -t &= 1 \end{aligned}$$

und damit zu $r = \frac{1}{2}, s = 1, t = -1$, also den Koeffizientenvektor $\begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$.

5. a) In $\mathbb{R}^{2 \times 2}$ ist jedes Element $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ eindeutig als Linearkombination der Elemente aus \mathcal{D} darstellbar:

$$x_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} + x_2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} + x_3 \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + x_4 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

ist äquivalent zum linearen Gleichungssystem

$$\begin{aligned}x_1 & \quad \quad \quad +x_3 + x_4 = a \\x_1 - x_2 & \quad -x_3 = b \\x_1 + x_2 & \quad \quad \quad = c \\x_1 & \quad \quad \quad = d,\end{aligned}$$

das genau eine Lösung hat (die Koeffizientenmatrix ist eine obere Dreiecksmatrix mit nicht-trivialen Diagonalelementen). Daher ist \mathcal{D} Basis.

(b) Aus den obigen Berechnungen folgt:

$$\begin{aligned}a & = x_1 + x_3 + x_4 = -\frac{1}{2} - 1 + \frac{3}{5} = -\frac{9}{10} \\b & = x_1 - x_2 - x_3 = -\frac{1}{2} - 2 + 1 = -\frac{3}{2} \\c & = x_1 + x_2 = -\frac{1}{2} + 2 = \frac{3}{2} \\d & = x_1 = -\frac{1}{2}\end{aligned}$$

und damit

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{9}{10} & -\frac{3}{2} \\ \frac{3}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix}.$$

c) Aus dem Gleichungssystem

$$x_1 = d = -7$$

$$x_2 = c - d = 4 + 7 = 11$$

$$x_3 = -b - c + 2d = -3 - 4 - 14 = -21$$

$$x_4 = a + b + c - 3d = 2 + 3 + 4 + 21 = 30$$

ergibt sich der gesuchte

Koordinatenvektor als

$$\begin{pmatrix} -7 \\ 11 \\ -21 \\ 30 \end{pmatrix}.$$