

# Ferienserie

Diese Ferienserie hat kein Abgabedatum und wird nicht korrigiert. Die Lösungen werden Mitte Januar veröffentlicht.

1. Finden Sie ein Erzeugendensystem des Lösungsraumes  $\mathcal{L} \subset \mathbb{R}^5$  des Systems

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 + 3x_4 - x_5 = 0 \\ 3x_1 - x_2 + 4x_3 - x_4 + 5x_5 = 0 \\ x_1 & & & & + x_5 = 0 \\ & & x_3 + x_4 & & = 0 \end{cases}.$$

2. Betrachten Sie die folgenden Unterräume von  $\mathbb{R}^4$ :

$$U := \{x \in \mathbb{R}^4 \mid x_2 - 2x_3 + x_4 = 0\}, \\ V := \{x \in \mathbb{R}^4 \mid x_1 + x_2 - 2x_3 - x_4 = 0, x_1 = x_4\}.$$

Bestimmen Sie ein Erzeugendensystem von

- (a)  $U$ ,
- (b)  $V$ ,
- (c)  $U \cap V$ .

3. Bestimmen Sie in den folgenden vier Fällen mit dem Gaussverfahren, ob die folgenden Vektoren im  $\mathbb{R}^3$  bzw.  $\mathbb{R}^4$  linear abhängig, linear unabhängig und ob sie erzeugend sind:

(a)  $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ .      (b)  $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ -2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ .

(c)  $\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -4 \\ 2 \\ 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$ .      (d)  $\begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ .

4. Es seien

$$\binom{x}{k} := \frac{x(x-1)(x-2)\cdots(x-k+1)}{k!}$$

mit  $\binom{x}{0} := 1$  die Binomialpolynome.

- (a) Zeigen Sie, dass die Menge  $\{\binom{x}{k} : 0 \leq k \leq 2\}$  im Vektorraum aller Polynome linear unabhängig ist.
- (b)  $P_2$  bezeichne den Vektorraum der Polynome vom Grad  $\leq 2$ . Zeigen Sie, dass

$$P_2 = \text{span} \left\{ \binom{x}{k} : 0 \leq k \leq 2 \right\}.$$

- (c) Bestimmen Sie eine Matrix  $A \in \mathbb{M}_{3 \times 3}(\mathbb{R})$  so, dass

$$b_0 + b_1x + b_2x^2 = a_0 \binom{x}{0} + a_1 \binom{x}{1} + a_2 \binom{x}{2}$$

gilt, wenn

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}.$$

**Hinweis:** Die Aufgabe (c) kann entweder durch direkte Rechnung gelöst werden oder mit Hilfe der diskreten Taylor-Formel, welche für ein Polynom  $p(x)$  vom Grad  $n$  besagt, dass

$$p(x) = \sum_{k=0}^n \Delta^k p(0) \binom{x}{k},$$

wobei  $\Delta^0 p(x) := p(x)$ ,  $\Delta^1 p(x) := p(x+1) - p(x)$  und  $\Delta^k p(x) := \Delta^1(\Delta^{k-1} p(x))$  die diskreten Differenzenoperatoren sind.

## 5.

- (a) Wählen Sie, falls möglich, mit dem Gaußverfahren unter den folgenden sechs Vektoren mit Begründung eine Basis für  $\mathbb{R}^3$  aus.

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ -4 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

- (b) Gegeben seien die folgenden drei Vektoren in  $\mathbb{R}^3$ :

$$\begin{pmatrix} a \\ a \\ 1+a \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ b \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -c \\ -c \\ 3-c \end{pmatrix}.$$

Wie hängt die Dimension des von diesen Vektoren aufgespannten Unterraumes von den Werten der auftretenden Parameter ab?

6. Gegeben sei die Basis  $\mathcal{B} = \{b^{(1)}, b^{(2)}, b^{(3)}\}$  für  $\mathbb{R}^3$ , wobei

$$b^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad b^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad b^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ -3 \end{pmatrix}.$$

(a) Betrachten Sie den Vektor

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ -4 \\ -1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3.$$

Finden Sie die Koordinaten  $y_1, y_2, y_3$ , die  $x$  in der Basis  $\mathcal{B}$  beschreiben, d.h.

$$x = y_1 b^{(1)} + y_2 b^{(2)} + y_3 b^{(3)}.$$

(b) Es sei nun  $v \in \mathbb{R}^3$  der Vektor mit Koordinaten  $(1, -2, 2)^\top$  in der Basis  $\mathcal{B}$ . Bestimmen Sie die Koordinaten von  $v$  bezüglich der Standardbasis  $\mathcal{E} = \{e^{(1)}, e^{(2)}, e^{(3)}\}$ .

7. Sei

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & -2 & -3 \\ 1 & 4 & 3 & -1 & -4 \\ 2 & 3 & -4 & -7 & -3 \\ 3 & 8 & 1 & -7 & -8 \end{pmatrix}.$$

(a) Bestimmen Sie den Rang von  $A$ .

(b) Ermitteln Sie eine Basis für den von den Spaltenvektoren erzeugten Unterraum von  $\mathbb{R}^4$ . Bestimmen Sie die Koordinaten der Spaltenvektoren in dieser Basis.

8. Durch die Polynome

$$p_1(t) = t^3 - 2t^2 + 4t + 1,$$

$$p_2(t) = t^3 + 6t - 5,$$

$$p_3(t) = 2t^3 - 3t^2 + 9t - 1,$$

$$p_4(t) = 2t^3 - 5t^2 + 7t + 5$$

wird ein Vektorraum  $V$  erzeugt. Bestimmen Sie  $\dim(V)$  und eine Basis von  $V$ .

9.

(a) Berechnen Sie die Determinante der Matrix

$$A := \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & 2 \\ 4 & 7 & -3 & 9 \\ 6 & 8 & -1 & 9 \\ -2 & -11 & 3 - 6a & -6 + 5a \end{pmatrix}.$$

(b) Für welche Werte des Parameters  $a$  besitzt die Matrix eine Inverse  $A^{-1}$ ?

10. Gegeben sei das folgende Gleichungssystem mit dem reellen Parameter  $\alpha$ :

$$\begin{aligned}(2 - \alpha)x_1 + x_2 + x_3 &= 1 \\ -4x_2 - (2 - \alpha)x_3 &= -4 \\ (3 - \alpha)x_2 + x_3 &= 1.\end{aligned}$$

Für welche  $\alpha$  besitzt dieses Gleichungssystem genau eine, unendlich viele, keine Lösung? Zu denjenigen  $\alpha$ , für die das Gleichungssystem lösbar ist, bestimme man die Lösungsmenge.

11. Für welche reellen Werte von  $s$  und  $t$  hat das Gleichungssystem

$$\begin{aligned}x + sy + s^2z &= 1 \\ s^2x + y + 2tz &= 1 \\ sx + s^2y + z &= t\end{aligned}$$

keine, genau eine oder unendlich viele Lösungen? Bestimmen Sie jeweils auch die Lösungsmenge.

12. Lösen Sie das Gleichungssystem

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 + x_3 &= 4 \\ x_1 - 2x_2 + 4x_3 &= -2 \\ -7x_1 - 3x_2 + x_3 &= 7\end{aligned}$$

mit Hilfe des Gauss-Algorithmus.

13. Welche Beziehungen zwischen  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  müssen erfüllt sein, damit das folgende System lösbar ist?

$$\begin{aligned}x_1 + 2x_2 + 3x_3 &= b_1 \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 &= b_2 \\ x_2 + 2x_3 &= b_3 \\ x_1 + x_2 + x_3 &= b_4 \\ x_1 + x_3 &= b_5\end{aligned}$$

14. Auf einem geschlossenen Metalldraht werden an 4 Punkten die Temperaturen  $x_1, x_2, x_3, x_4$  gemessen. Dabei ist die Temperatur in einem der Punkte jeweils gleich dem arithmetischen Mittel der Temperaturen der beiden benachbarten Punkte.

(a) Stellen Sie ein Gleichungssystem für  $x_1, x_2, x_3, x_4$  auf.

(b) Bestimmen Sie die Lösungsmenge davon.

15. Geben Sie für  $s$  und  $t$  Bedingungen an, so dass das Gleichungssystem

$$\begin{aligned} x_1 + sx_2 &= 2 \\ x_2 + x_3 &= 0 \\ x_1 + 2x_2 + sx_3 &= t \end{aligned}$$

- (a) keine Lösung,
- (b) genau eine Lösung,
- (c) unendlich viele Lösungen

besitzt. Bestimmen Sie die entsprechenden Lösungsmengen.

16. Der sogenannte **Massenausgleich zweiter Ordnung** ([Link zu Animationen](#)) einer  $k$ -Zylindermaschine liefert für die Impulse  $(I_1)$ ,  $(I_2)$  und die Momente  $(M_1)$ ,  $(M_2)$  der ersten und zweiten Ordnung folgende Bedingungen:

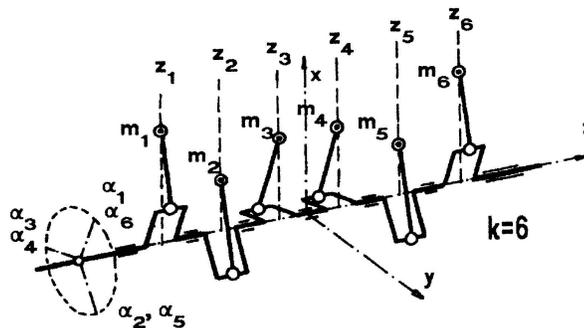
$$\sum_{i=1}^k m_i \sin(\alpha_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^k m_i \cos(\alpha_i) = 0 \quad (I_1)$$

$$\sum_{i=1}^k m_i \sin(2\alpha_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^k m_i \cos(2\alpha_i) = 0 \quad (I_2)$$

$$\sum_{i=1}^k m_i z_i \sin(\alpha_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^k m_i z_i \cos(\alpha_i) = 0 \quad (M_1)$$

$$\sum_{i=1}^k m_i z_i \sin(2\alpha_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^k m_i z_i \cos(2\alpha_i) = 0 \quad (M_2)$$

Dabei bezeichnen  $\alpha_i$  die Kurbelwinkel und  $m_i > 0$  die Massen. Wir nehmen weiter an, dass der Massenschwerpunkt in  $z = 0$  liegt, dass  $z_i \neq z_j$  für  $i \neq j$  und dass  $k > 1$ .



- (a) Wie lautet die Matrix  $A$  des homogenen linearen Gleichungssystems, das die Vektoren  $\vec{m} = (m_1, \dots, m_k)^T$  und  $\vec{M} = (z_1 m_1, \dots, z_k m_k)^T$  erfüllen müssen? Warum ist  $\vec{M}$  nie ein Vielfaches von  $\vec{m}$ ? Welchen Rang darf  $A$  bei Massenausgleich höchstens haben?
- (b) Bestimmen Sie  $A$  und  $\text{Rang}(A)$  und lösen Sie  $Ax = 0$  für die zwei Fälle:
- (i) 4-Zylinder mit Zündfolge 1-3-4-2,  $\alpha_1 = \alpha_4 = 0$ ,  $\alpha_2 = \alpha_3 = 180^\circ$ .
  - (ii) 6-Zylinder mit Zündfolge 1-5-3-6-2-4,  $\alpha_1 = \alpha_6 = 0$ ,  $\alpha_2 = \alpha_5 = 120^\circ$ ,  $\alpha_3 = \alpha_4 = 240^\circ$ .

Ist in beiden Fällen Massenausgleich möglich?

- (c) Gibt es für den üblichen Aufbau einer 4-Zylindermaschine

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m, \quad z_1 = -z_4 = 3z_2 = -3z_3$$

Kurbelwinkel  $\alpha_i$ , so dass Massenausgleich zweiter Ordnung vorliegt?