

# LA2 Vektorraum

John Truninger

LaTeX

## Vektorraum

Enthält folgende Regeln:

- Addition  $\vec{a}, \vec{b} \in V \rightarrow \vec{a} + \vec{b} \in V$
- Skalare  $\vec{a} \in V \rightarrow \alpha \cdot \vec{a} \in V$
- Existenz  $\vec{0}$   $\vec{a} + (-\vec{a}) = \vec{0}$

Beispiel:

$$V = \left\{ \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \mid x_k \in \mathbb{R}, k = 1, \dots, n \right\} = \mathbb{R}^n$$

## Untervektorraum

Enthält folgende Regeln:

- Addition  $\vec{a}, \vec{b} \in V \rightarrow \vec{a} + \vec{b} \in V$
- Skalare  $\vec{a} \in V \rightarrow \alpha \cdot \vec{a} \in V$
- Existenz  $\vec{0}$   $\vec{a} + (-\vec{a}) = \vec{0}$

Affiner Unterraum:

Untervektorraum ohne  $\vec{0}$

Beispiel:

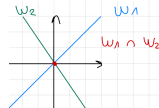
Ebene ist UVR von  $\mathbb{R}^3$  wenn  $\vec{0} \in$  Ebene

## Raum Kombinationen

Schnittmenge ( $\cap$ ):

$$w_1, \dots, w_n \in V$$

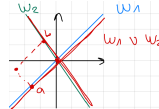
$$w = w_1 \cap \dots \cap w_n$$



Vereinigungsmenge ( $\cup$ ):

$$w_1, \dots, w_n \in V$$

$$w = w_1 \cup \dots \cup w_n$$

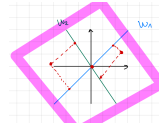


Nur wenn evtl.  $w_1$  oder  $w_2$  Teilmenge von anderen ist könnte  $w_1 \cup w_2 \rightarrow$  UVR

Summe:

$$w_1, \dots, w_n \in V$$

$$w = w_1 + \dots + w_n$$



## Lineare Hülle / Erzeugendensysteme

Lineare Hülle: (alle Vektor Kombinationen):

$$\text{Lin}_k(v_1, \dots, v_n) = k \cdot v_1 + \dots + k \cdot v_n$$

aufgespannter Span:

Erzeugendensystem:

$$\text{Span}_k(v_1, \dots, v_n) \quad \{v_1, \dots, v_n\}$$

Beispiel: (Horizontale Ebene in  $\mathbb{R}^3$ )

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \vec{b} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{Erzeugendensystem}$$

$$\text{Hülle: } \text{Lin}(\vec{a}, \vec{b}) = \{ \vec{x} \in \mathbb{R}^3 \mid \vec{x} = \lambda \cdot \vec{a} + \mu \cdot \vec{b} \}$$

Tricks:

- $\text{Lin}(\vec{v}_1) \rightarrow$  beschreibt Gerade mit Richtungsvektor
- $\text{Lin}(\vec{v}_1, \vec{v}_2) \rightarrow$  beschreibt aufgespannte Ebene
- $\text{Lin}(\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3) \rightarrow$  beschreibt aufgespanntes Volumen

Dimension beeinflusst Objekt

## Lineare Abhängigkeit

Tupel  $(v_1, \dots, v_n) \in V^n$  ist linear unabhängig:

- $0 = \lambda \cdot v_1 + \dots + \mu \cdot v_n \rightarrow$  eindeutig
- $v_1 \in \text{Span}_k(v_1, \dots, v_n) \rightarrow$  muss enthalten

Vorgehen:

- Vektoren in lin. Kombination  $\lambda_1 \cdot v_1 + \dots + \lambda_n \cdot v_n = \vec{0}$
- LGS aufstellen lösen lin. unabhängig:  $\lambda_1, \dots, \lambda_n = 0$
- LGS:  $x^0 : x^0(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$
- $x^1 : x^1(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$
- LGS  $= 0$  nicht lin. abhängig
- LGS  $\neq 0$  lin. abhängig (zb. unendliche Lösungen)

Note: Matrizen:  $\rightarrow \lambda_1 \cdot A + \dots + \lambda_n \cdot N = \vec{0}$

$$\text{LGS} = \begin{pmatrix} \lambda_1 A_{11} & \dots & \lambda_n N_{11} & 0 \\ \lambda_1 A_{12} & \dots & \lambda_n N_{12} & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \lambda_1 A_{nn} & \dots & \lambda_n N_{nn} & 0 \end{pmatrix}$$

Beispiel:

$x^2 + 1, x + 1, 1 \rightarrow$  linear unabhängig?

$$\lambda_1 \cdot (x^2 + 1) + \lambda_2 \cdot (x + 1) + \lambda_3 \cdot 1 = 0 \rightarrow \text{LGS}$$

$$\begin{matrix} x^0 : \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0 \\ x^1 : \lambda_2 = 0 \\ x^2 : \lambda_1 = 0 \end{matrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0 \rightarrow \text{linear unabhängig}$$

## Basis

min. Menge von Erzeugendensystem welche

lin. unabhängig sind

Vorgehen Verkürzung:

- Ist lin. unabhängig?
- Ja:  $\rightarrow$  Basis
- Nein: Erzeugendensystem verkleinern

Vorgehen Erweiterung:

- Teilmenge Erzeugendensystem von  $V$ ?
- Ja:  $\rightarrow$  Basis
- Nein: Elemente von  $V$  hinzufügen nur lin. unabhängig

Matrizen:

$$\begin{pmatrix} * & * & * & * \\ 0 & * & * & * \\ 0 & 0 & * & * \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{matrix} \text{Führende Variablen bilden Basis} \\ \text{Dim = Anzahl führende Variablen} \\ \text{Erweitern: ZS fortsetzen} \\ \text{Kürzen: lin. Kombination kürzen} \end{matrix}$$

Basis Dimensionen:

- Polynome:  $\dim(P) = \text{Grad} + 1$
- Matrizen:  $\dim(M^{n \times m}) = n \times m$
- Vektoren:  $\dim(V) = \text{Anzahl Vektoren}$

## Koordinaten

Skalare  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  von geordnetem Tuple

Beispiel Vektoren:

Basis  $(\vec{v}_1, \vec{v}_2)$

$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{b} = \begin{pmatrix} -2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_1 \cdot \vec{v}_1 + \lambda_2 \cdot \vec{v}_2 = \vec{b}$$

$$\lambda_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda_2 \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 2 \end{pmatrix} \rightarrow \text{LGS}$$

Beispiel Polynome:

Basis  $(p_0, p_1, p_2)$

$$p_0 = 1, p_1 = 1 + x, p_2 = x + x^2, p_3 = 2 - 7x + 3x^2$$

$$\lambda_1 \cdot p_0 + \lambda_2 \cdot p_1 + \lambda_3 \cdot p_2 = p_3$$

$\rightarrow$  LGS aufstellen nach  $x^0, x^1, x^2$  und für  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  einsetzen

Koordinatenvektor:

Ist Vektor aus  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  Resultate von LGS

$$\rightarrow \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{pmatrix}$$

## Dimension

$$\dim_k(V) = \text{len}(\text{Basis}(v_1, \dots, v_n))$$

Jedes Element in  $V$  lässt sich eindeutig mit Basen darstellen

$V$  nicht endlich:  $\dim_k(V) = \infty$

## Lineare Abbildung (Aufgabe)

$$\begin{matrix} A_3 : & q_0(x) = 1 & q_1(x) = x+1 & q_2(x) = x^2 & q_3(x) = x^3 \\ A_2 : & p_0(x) = 1 & p_1(x) = x+1 & p_2(x) = x+x^2 \end{matrix}$$

$$f: P_3 \rightarrow P_2 \quad p(x) \rightarrow f(p(x)) = \frac{1}{3} p'(x)$$

$$\begin{matrix} f(1) = \frac{1}{3} \cdot 0 = 0 \\ f(x+1) = \frac{1}{3} \cdot 1 = \frac{1}{3} \\ f(x^2) = \frac{1}{3} \cdot 2x = \frac{2}{3}x \\ f(x^3) = \frac{1}{3} \cdot 3x^2 = x^2 \end{matrix}$$

Nach  $A_2$ :

$$\begin{matrix} 0 = 0 p_0(x) + 0 p_1(x) + 0 p_2(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \frac{1}{3} = \frac{1}{3} p_0(x) + 0 p_1(x) + 0 p_2(x) = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \frac{2}{3}x = -\frac{2}{3} p_0(x) + \frac{2}{3} p_1(x) + 0 p_2(x) = \begin{pmatrix} -\frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} \\ 0 \end{pmatrix} \\ x^2 = 1 p_0(x) - 1 p_1(x) + 1 p_2(x) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$