

# LA1 Lineare Gleichungssysteme

John Truninger

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

## Definition

**DEF:** LGS besteht ausschliesslich aus Linearkombination der Unbekannten

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b$$

$$\begin{cases} x + 2z + 2y = 22 \\ 2x + 5z + 3y = 43 \\ 4x + z - 10y = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 5 \\ 4 & -10 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 22 \\ 43 \\ -5 \end{pmatrix}$$

LGS  $\Rightarrow$  Koeffizientenmatrix  $\cdot$  Variabelvektor = Ergebnisvektor

### Begriffe:

- linearität:  $ax = b \Rightarrow a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0, x = \frac{b}{a}$
- homogenes LGS:  $b_1, b_2, \dots, b_n = 0$
- inhomogenes LGS:  $b_1, b_2, \dots, b_n \neq 0$
- äquivalent: wenn zwei LGS die gleiche Lösungsmenge haben

## Formen

### erweiterte Koeffizientenmatrix:

$$(A | \vec{b}) = \left( \begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} & b_n \end{array} \right)$$

### allgemeine Zeilenstufenform:

Wie Zeilenstufenform, führende Elemente müssen nicht 1 sein.

### Zeilenstufenform:

- Alle Nullzeilen sind zu unterst
- Erste Zahl wenn nicht Nullzeile ist 1 (führende Eins)
- **nachfolgend dürfen versch. Zahlen kommen**
- Führende Eins der unteren ist rechts von der oberen

$$A = \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ 0 & 1 & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & b_n \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{array} \right)$$

### reduzierte Zeilenstufenform:

Ist in Zeilenstufenform und Spalte mit führender 1 hat nur 0 Einträge

$$A = \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & \dots & 0 & b_1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & b_n \end{array} \right)$$

### Begriffe:

- führende Variablen: Spalten Variabel mit führender 1
- freie Variablen: der Rest
  - 1. freie Variabel, Lösungsmenge: Gerade
  - 2. freie Variabel, Lösungsmenge: Ebene
  - 3. freie Variabel, Lösungsmenge: Raum

## Gauss-Jordan-Verfahren

1. Definiere am weitesten Links stehende Spalte
2. Falls oberste Zeile in führender Spalte 0 ist, austauschen
3. Division erste Spalte um führende 1 zu erhalten
4. Addition Vielfache der ersten Zeile um führende 0 zu erhalten
5. Wiederholen für nächste Spalte, bis fertig
6. Letzte Spalte vielfache addieren zur letzten -1, wiederholen

$$\left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 2 & 3 & 5 & 8 \\ 4 & 0 & 5 & 2 \end{array} \right] \xrightarrow{R_2 - 2R_1} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & -2 \\ 4 & 0 & 5 & 2 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{R_3 - 4R_1} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & -2 \\ 0 & -4 & 1 & -18 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{R_3 + 4R_2} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & 13 & -26 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{\frac{1}{13}R_3} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -2 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{R_2 - 3R_3} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & -2 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{R_1 - R_2} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 0 & 7 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & -2 \end{array} \right]$$

$$\xrightarrow{R_1 - R_2} \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & -2 \end{array} \right]$$

## Invertierbarkeit

- Determinante berechnen  $\det(A) \neq 0 \rightarrow$  invertierbar
  - Saurus Regel ( $A^{2 \times 2}, A^{3 \times 3}$ )
  - Laplace'scher Entwicklungssatz ( $A^{n \times n}$ )
- Matrizen aufstellen und nach Gauss-Jordan lösen (links und rechts Schritte anwenden)

$$\left( \begin{array}{ccc|ccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 1 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \rightarrow \left( \begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 0 & x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ 0 & 1 & 0 & x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ 0 & 0 & 1 & x_{31} & x_{32} & x_{33} \end{array} \right)$$

## Lösbarkeit

- $r = \text{Rang} \rightarrow$  Anzahl Zeilen  $\neq 0$ , Resultat ignorieren
- $n =$  Anzahl Unbekannten
- $m =$  Anzahl Gleichungen

### Lösungen:

- $r < m \wedge \exists k = r + 1, \dots, m : b_k \neq 0 \rightarrow$  nicht lösbar
- $r \leq m \wedge \forall k = r + 1, \dots, m : b_k = 0$ 
  - $r = n \rightarrow$  eindeutig lösbar
  - $r < n \rightarrow$  unendlich viele Lösungen

$$\mathbb{L}(A|b) = \begin{cases} \emptyset \\ \{\vec{x}\} \\ \infty, \rightarrow \text{führend durch frei} \end{cases}$$

**Führend durch frei** (wenn zb.  $0x_3 = 0 \rightarrow x_3 = t$ ):

$$\mathbb{L} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 - t \\ 2 + t \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

**Note:** wenn LGS  $m=2, n=3$  und  $r=2 \rightarrow 1$ . freie Variabel:

$$\mathbb{L} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + x_3 \cdot \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{freie Variabel ist 3. Zeile}$$

### LGS mit Variablen:

- In Zeilenstufenform bringen
- Letzte Row Gleichung auswerten  $a = 0$
- Letzte Row Lösung auswerten  $b = 0$

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & a & 0 \\ 0 & 1 & 3 - 2a & 1 \\ 0 & 0 & 1 - a^2 & b \end{array} \right) \begin{cases} a = \{-1, 1\}, b = 0 & \rightarrow \infty \\ a = \{-1, 1\}, b \neq 0 & \rightarrow \emptyset \\ a \in \mathbb{R} \setminus \{-1, 1\}, b \in \mathbb{R} & \text{1. Lösung} \end{cases}$$

## Cramer'sche Regel

### Grundsatz:

LGS mit  $n$  Unbekannten und  $m$  Gleichungen muss genau  $n = m$  sein für Cramer'sche Regel.

Für theoretische Betrachtung LGS hilfreich, für Berechnung oft zu hoher Rechenaufwand.

### LGS 2. Ordnung:

Ist  $\det(A) \neq 0$  dann ist das LGS  $A\vec{x} = \vec{b}$  eindeutig lösbar:

$$x_1 = \frac{\det(A_1)}{\det(A)} \text{ und } x_2 = \frac{\det(A_2)}{\det(A)}$$

mit den Determinanten:

$$\det(A) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, \det(A_1) = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} \\ b_2 & a_{22} \end{vmatrix}, \det(A_2) = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 \\ a_{21} & b_2 \end{vmatrix}$$

$\det(A), \det(A_1), \det(A_2) = 0 \rightarrow$  LGS hat  $\infty$  Lösungen

### LGS 3. Ordnung:

$$(A | b) = \left( \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & b_3 \end{array} \right) = \det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$$x_1 = \frac{\det(A_1)}{\det(A)} = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}}{\det(A)}$$

$$x_2 = \frac{\det(A_2)}{\det(A)} = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}}{\det(A)}$$

$$x_3 = \frac{\det(A_3)}{\det(A)} = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}}{\det(A)}$$