

# Übungsaufgaben mit Lösungen zu Lineargleichungssystemen

Wolfgang Kippels

22. Mai 2024

## Inhaltsverzeichnis

|          |                       |          |
|----------|-----------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Vorwort</b>        | <b>4</b> |
| <b>2</b> | <b>Einleitung</b>     | <b>5</b> |
| <b>3</b> | <b>Übungsaufgaben</b> | <b>6</b> |
| 3.1      | Aufgabe 1 . . . . .   | 6        |
| 3.2      | Aufgabe 2 . . . . .   | 6        |
| 3.3      | Aufgabe 3 . . . . .   | 6        |
| 3.4      | Aufgabe 4 . . . . .   | 6        |
| 3.5      | Aufgabe 5 . . . . .   | 6        |
| 3.6      | Aufgabe 6 . . . . .   | 6        |
| 3.7      | Aufgabe 7 . . . . .   | 6        |
| 3.8      | Aufgabe 8 . . . . .   | 6        |
| 3.9      | Aufgabe 9 . . . . .   | 6        |
| 3.10     | Aufgabe 10 . . . . .  | 7        |
| 3.11     | Aufgabe 11 . . . . .  | 7        |
| 3.12     | Aufgabe 12 . . . . .  | 7        |
| 3.13     | Aufgabe 13 . . . . .  | 7        |
| 3.14     | Aufgabe 14 . . . . .  | 7        |
| 3.15     | Aufgabe 15 . . . . .  | 7        |
| 3.16     | Aufgabe 16 . . . . .  | 7        |
| 3.17     | Aufgabe 17 . . . . .  | 7        |
| 3.18     | Aufgabe 18 . . . . .  | 8        |
| 3.19     | Aufgabe 19 . . . . .  | 8        |
| 3.20     | Aufgabe 20 . . . . .  | 8        |
| 3.21     | Aufgabe 21 . . . . .  | 8        |
| 3.22     | Aufgabe 22 . . . . .  | 8        |

|          |                              |           |
|----------|------------------------------|-----------|
| 3.23     | Aufgabe 23                   | 8         |
| 3.24     | Aufgabe 24                   | 8         |
| 3.25     | Aufgabe 25                   | 8         |
| 3.26     | Aufgabe 26                   | 9         |
| 3.27     | Aufgabe 27                   | 9         |
| 3.28     | Aufgabe 28                   | 9         |
| <b>4</b> | <b>Lösungen</b>              | <b>10</b> |
| 4.1      | Aufgabe 1                    | 10        |
| 4.2      | Aufgabe 2                    | 10        |
| 4.3      | Aufgabe 3                    | 10        |
| 4.4      | Aufgabe 4                    | 10        |
| 4.5      | Aufgabe 5                    | 10        |
| 4.6      | Aufgabe 6                    | 10        |
| 4.7      | Aufgabe 7                    | 10        |
| 4.8      | Aufgabe 8                    | 10        |
| 4.9      | Aufgabe 9                    | 10        |
| 4.10     | Aufgabe 10                   | 10        |
| 4.11     | Aufgabe 11                   | 10        |
| 4.12     | Aufgabe 12                   | 11        |
| 4.13     | Aufgabe 13                   | 11        |
| 4.14     | Aufgabe 14                   | 11        |
| 4.15     | Aufgabe 15                   | 11        |
| 4.16     | Aufgabe 16                   | 11        |
| 4.17     | Aufgabe 17                   | 11        |
| 4.18     | Aufgabe 18                   | 11        |
| 4.19     | Aufgabe 19                   | 11        |
| 4.20     | Aufgabe 20                   | 11        |
| 4.21     | Aufgabe 21                   | 11        |
| 4.22     | Aufgabe 22                   | 11        |
| 4.23     | Aufgabe 23                   | 12        |
| 4.24     | Aufgabe 24                   | 12        |
| 4.25     | Aufgabe 25                   | 12        |
| 4.26     | Aufgabe 26                   | 12        |
| 4.27     | Aufgabe 27                   | 12        |
| 4.28     | Aufgabe 28                   | 12        |
| <b>5</b> | <b>Komplette Lösungswege</b> | <b>13</b> |
| 5.1      | Aufgabe 1                    | 13        |
| 5.2      | Aufgabe 2                    | 14        |
| 5.3      | Aufgabe 3                    | 14        |
| 5.4      | Aufgabe 4                    | 15        |
| 5.5      | Aufgabe 5                    | 16        |
| 5.6      | Aufgabe 6                    | 17        |

|      |            |    |
|------|------------|----|
| 5.7  | Aufgabe 7  | 18 |
| 5.8  | Aufgabe 8  | 19 |
| 5.9  | Aufgabe 9  | 21 |
| 5.10 | Aufgabe 10 | 23 |
| 5.11 | Aufgabe 11 | 24 |
| 5.12 | Aufgabe 12 | 26 |
| 5.13 | Aufgabe 13 | 27 |
| 5.14 | Aufgabe 14 | 28 |
| 5.15 | Aufgabe 15 | 30 |
| 5.16 | Aufgabe 16 | 31 |
| 5.17 | Aufgabe 17 | 32 |
| 5.18 | Aufgabe 18 | 33 |
| 5.19 | Aufgabe 19 | 34 |
| 5.20 | Aufgabe 20 | 36 |
| 5.21 | Aufgabe 21 | 37 |
| 5.22 | Aufgabe 22 | 38 |
| 5.23 | Aufgabe 23 | 39 |
| 5.24 | Aufgabe 24 | 41 |
| 5.25 | Aufgabe 25 | 42 |
| 5.26 | Aufgabe 26 | 45 |
| 5.27 | Aufgabe 27 | 46 |
| 5.28 | Aufgabe 28 | 48 |

# 1 Vorwort

Diese und ähnliche Anleitungen zu erstellen erfordert sehr viel Zeit und Mühe. Trotzdem stelle ich alles kostenfrei der Allgemeinheit zur Verfügung. Wenn Sie diese Datei hilfreich finden, dann bitte ich Sie um Erfüllung des nachfolgend beschriebenen „Generationenvertrages“:

*Wenn Sie später einmal Ihre Ausbildungsphase beendet haben und im Beruf stehen (oder auch noch danach), geben Sie bitte Ihr Wissen in geeigneter Form an die nachfolgende Generation weiter.*

Wenn Sie mir eine Freude machen wollen, dann schreiben Sie mir bitte eine kleine Email an die folgende Adresse: [mail@dk4ek.de](mailto:mail@dk4ek.de)

Vielen Dank!

## 2 Einleitung

Zur Lösung von Lineargleichungssystemen können unterschiedliche Lösungsverfahren verwendet werden. In den Musterlösungen am Schluss werden folgende Verfahren verwendet:

- Das Einsetzungsverfahren
- Das Additions-/Subtraktionsverfahren
- Die Cramersche Regel

Einzelheiten zu den Verfahren sind hier zu finden:

**Einsetzungsverfahren:** <https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/einsetz.pdf>

**Additions-/Subtr.-Verfahren:** <https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/add.pdf>

**Cramersche Regel:** <https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/cramer.pdf>

Darüber hinaus existieren auch noch andere Verfahren wie das Gleichsetzungsverfahren<sup>1</sup> oder das Gauß-Jordan-Verfahren<sup>2</sup>, die hier aber nicht angewendet wurden.

**Anmerkung:** Es gibt eine schöne interaktive Webseite, auf der man sich die Lösung eines beliebigen Lineargleichungssystems mit unterschiedlichen Lösungsverfahren mit allen Zwischenschritten anzeigen lassen kann:

<https://matrixcalc.org/de/slu.html>

---

<sup>1</sup>Näheres zum Gleichsetzungsverfahren siehe hier:

<https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/ling1.pdf>

<sup>2</sup>Näheres zum Gauß-Jordan-Verfahren siehe hier:

<https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/gauss.pdf>

## 3 Übungsaufgaben

### 3.1 Aufgabe 1

$$\begin{aligned}(1) \quad 2x - 3y &= 12 \\(2) \quad 5x + 2y &= 11\end{aligned}$$

### 3.2 Aufgabe 2

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 5y &= 5 \\(2) \quad 5x + 4y &= -22\end{aligned}$$

### 3.3 Aufgabe 3

$$\begin{aligned}(1) \quad -2x + 5y &= -2 \\(2) \quad 4x - 9y &= 4\end{aligned}$$

### 3.4 Aufgabe 4

$$\begin{aligned}(1) \quad -3x + 5y &= -16 \\(2) \quad 3x - 9y &= 24\end{aligned}$$

### 3.5 Aufgabe 5

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x + 4y &= 14 \\(2) \quad 5x - 4y &= -30\end{aligned}$$

### 3.6 Aufgabe 6

$$\begin{aligned}(1) \quad 8x + y &= 53 \\(2) \quad 4x - 3y &= 37\end{aligned}$$

### 3.7 Aufgabe 7

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 2y &= 3 \\(2) \quad 5x + 3y &= -17\end{aligned}$$

### 3.8 Aufgabe 8

$$\begin{aligned}(1) \quad 2x - 6y &= -6 \\(2) \quad 5x - 3y &= -15\end{aligned}$$

### 3.9 Aufgabe 9

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 3y &= -3 \\(2) \quad 2x - 4y &= 10\end{aligned}$$

### 3.10 Aufgabe 10

$$\begin{aligned}(1) \quad x + 3y &= 10 \\(2) \quad 4y - 5x &= 26\end{aligned}$$

### 3.11 Aufgabe 11

$$\begin{aligned}(1) \quad 4x + 7 &= 3y - 12 \\(2) \quad 6x + 10 &= 1 - 2y\end{aligned}$$

### 3.12 Aufgabe 12

$$\begin{aligned}(1) \quad 2 \cdot (2x + y) - 3 \cdot (y - 4) &= 20 \\(2) \quad 5 - 3 \cdot (x - 3) + 5 \cdot (4x - 3y) &= 5\end{aligned}$$

### 3.13 Aufgabe 13

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 2y + 3z &= 19 \\(2) \quad 2x + 2y - 4z &= -6 \\(3) \quad -2x + 3y + z &= -12\end{aligned}$$

### 3.14 Aufgabe 14

$$\begin{aligned}(1) \quad \frac{3}{2}x + \frac{2}{3}y - \frac{1}{3}z &= -5 \\(2) \quad \frac{3}{4}x - \frac{3}{2}y - \frac{1}{2}z &= -\frac{45}{2} \\(3) \quad -\frac{5}{2}x + \frac{5}{4}y - \frac{1}{9}z &= \frac{43}{2}\end{aligned}$$

### 3.15 Aufgabe 15

$$\begin{aligned}(1) \quad 0,5x + 3z - 4y &= -15 \\(2) \quad 2y - z + 3x &= 14 \\(3) \quad 0,7z + 8,8x - 2,6y &= 7,2\end{aligned}$$

### 3.16 Aufgabe 16

$$\begin{aligned}(1) \quad 2,3x + z &= -6,6 \\(2) \quad 5,8y + x &= -13,6 \\(3) \quad 2,3z + y &= -6,6\end{aligned}$$

### 3.17 Aufgabe 17

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x - 2y + 4z &= 6 \\(2) \quad 5x + 2y - 3z &= 4 \\(3) \quad 3x + 4y - 7z &= -2\end{aligned}$$

### 3.18 Aufgabe 18

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x - 5z &= 1 \\(2) \quad 3x - 4y &= 3 \\(3) \quad z - 2y &= 4\end{aligned}$$

### 3.19 Aufgabe 19

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 4y + 6z &= 7 \\(2) \quad 2x + 3y - 2z &= 4 \\(3) \quad 9x + 2y + 2z &= 12\end{aligned}$$

### 3.20 Aufgabe 20

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x - z + 2y &= -4 \\(2) \quad 3z - 2x + 5y &= 12 \\(3) \quad 5y - 5z + 3x &= -20\end{aligned}$$

### 3.21 Aufgabe 21

$$\begin{aligned}(1) \quad -5x + 3z &= -14 \\(2) \quad -4z + 2x + 3y &= 13 \\(3) \quad 3y + 5z &= -12\end{aligned}$$

### 3.22 Aufgabe 22

$$\begin{aligned}(1) \quad 4x + 3y + z &= 0 \\(2) \quad 3x + 4y + 5z &= 0 \\(3) \quad x - 2y + z &= 0\end{aligned}$$

### 3.23 Aufgabe 23

$$\begin{aligned}(1) \quad 2ax + ay + z &= a \\(2) \quad ax + 0,5by + bz &= b^2 \\(3) \quad ax + 2ay - 2bz &= ab\end{aligned}$$

### 3.24 Aufgabe 24

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 3y + 4z &= 1 \\(2) \quad 2x + 4y - 2z &= -14 \\(3) \quad 3x - 5y + 3z &= 3\end{aligned}$$

### 3.25 Aufgabe 25

$$\begin{aligned}(1) \quad abx - 2aby + 2bz &= 3ab \\(2) \quad -2ax + 4by + 10z &= a - 4b \\(3) \quad 3bx - 6ay &= 0\end{aligned}$$



### 3.26 Aufgabe 26

$$\begin{aligned}(1) \quad & 2ax - by = 4a^2 + b^2 \\(2) \quad & 2b(x + y) - a(x - y) = 6ab\end{aligned}$$

### 3.27 Aufgabe 27

$$\begin{aligned}(1) \quad & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\(2) \quad & 3x_1 - 2x_3 - 4x_4 = 3 \\(3) \quad & 4x_2 - x_3 + 4x_4 = -3 \\(4) \quad & 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 2\end{aligned}$$

### 3.28 Aufgabe 28

$$\begin{aligned}(1) \quad & 5x_1 + 3x_2 - 4x_3 + x_4 = 3 \\(2) \quad & x_1 - 2x_2 - 2x_3 + 3x_4 = 3 \\(3) \quad & 2x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 8 \\(4) \quad & 6x_1 - 5x_2 - 8x_3 + 2x_4 = 20\end{aligned}$$

## **4 Lösungen**

### **4.1 Aufgabe 1**

$$L = \{(3|-2)\}$$

### **4.2 Aufgabe 2**

$$L = \{(-2|-3)\}$$

### **4.3 Aufgabe 3**

$$L = \{(1|0)\}$$

### **4.4 Aufgabe 4**

$$L = \{(2|-2)\}$$

### **4.5 Aufgabe 5**

$$L = \{(-2|5)\}$$

### **4.6 Aufgabe 6**

$$L = \{(7|-3)\}$$

### **4.7 Aufgabe 7**

$$L = \{(-1|-4)\}$$

### **4.8 Aufgabe 8**

$$L = \{(-3|0)\}$$

### **4.9 Aufgabe 9**

$$L = \{(-3|-4)\}$$

### **4.10 Aufgabe 10**

$$L = \{(-2|4)\}$$

### **4.11 Aufgabe 11**

$$L = \{(-2,5|3)\}$$

#### **4.12 Aufgabe 12**

$$L = \{(3|4)\}$$

#### **4.13 Aufgabe 13**

$$L = \{(2| - 3|1)\}$$

#### **4.14 Aufgabe 14**

$$L = \{(-4|10|9)\}$$

#### **4.15 Aufgabe 15**

$$L = \{(2|4|0)\}$$

#### **4.16 Aufgabe 16**

$$L = \{(-2| - 2| - 2)\}$$

#### **4.17 Aufgabe 17**

$$L = \{(0|17|10)\}$$

#### **4.18 Aufgabe 18**

$$L = \{(-3| - 3| - 2)\}$$

#### **4.19 Aufgabe 19**

Das Gleichungssystem ist unstimmg, also *nicht* lösbar. Es gibt *keine einzige* Lösung.

#### **4.20 Aufgabe 20**

$$L = \{(0|0|4)\}$$

#### **4.21 Aufgabe 21**

$$L = \{(1|1| - 3)\}$$

#### **4.22 Aufgabe 22**

$$L = \{(0|0|0)\}$$

### 4.23 Aufgabe 23

$$L = \{(-b|2b|a)\}$$

### 4.24 Aufgabe 24

$$L = \{(-3|0|4)\}$$

### 4.25 Aufgabe 25

$$L = \left\{ \left( \frac{2a}{a-b} \mid \frac{b}{a-b} \mid \frac{a}{2} \right) \right\}$$

### 4.26 Aufgabe 26

$$L = \{(2a + b|2a - b)\}$$

### 4.27 Aufgabe 27

$$L = \{(3| - 3| - 1|2)\}$$

### 4.28 Aufgabe 28

$$L = \{(2| - 2|0| - 1)\}$$

## 5 Komplette Lösungswege

Im Folgenden werden die Gleichungssysteme beispielhaft mit unterschiedlichen Lösungsmethoden gelöst. Im Prinzip ist aber **jede** Aufgabe mit **jedem** Lösungsverfahren lösbar.

### 5.1 Aufgabe 1

$$\begin{array}{l} (1) \quad 2x - 3y = 12 \\ (2) \quad 5x + 2y = 11 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^2$$

Hier drängt sich einem kein bestimmtes Lösungsverfahren auf. Willkürlich wähle ich das Additions-/Subtraktionsverfahren.

Ich möchte  $y$  eliminieren. Daher multipliziere ich die erste Gleichung mit 2 und die zweite mit 3.

$$\begin{array}{r} (1) \quad 2x - 3y = 12 \quad | \cdot 2 \\ (2) \quad 5x + 2y = 11 \quad | \cdot 3 \\ \hline (1) \quad 4x - 6y = 24 \quad | \\ (2) \quad 15x + 6y = 33 \quad | + \\ \hline 19x \quad \quad = 57 \quad | : 19 \\ x = 3 \end{array}$$

Das Ergebnis setze ich in die erste Gleichung ein, um  $y$  zu bestimmen.

$$\begin{array}{r} 2x - 3y = 12 \\ 2 \cdot 3 - 3y = 12 \\ 6 - 3y = 12 \quad | - 6 \\ -3y = 6 \quad | : (-3) \\ y = -2 \end{array}$$

$$L = \{(3 | -2)\}$$

## 5.2 Aufgabe 2

$$\begin{array}{l} (1) \quad 5x - 5y = 5 \\ (2) \quad 5x + 4y = -22 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^2$$

Bei diesem Gleichungssystem muss man nicht lange nachdenken. Die Koeffizienten (Vorzeichen) von  $x$  sind gleich, daher bietet sich das Additions-/Subtraktionsverfahren an. Da die Vorzeichen gleich sind (positiv), muss subtrahiert werden. Ich subtrahiere die obere von der unteren Gleichung, damit  $y$  positiv bleibt.

$$\begin{array}{r} (1) \quad 5x - 5y = 5 \quad | - \\ (2) \quad 5x + 4y = -22 \quad | \\ \hline \quad \quad 9y = -27 \quad | : 9 \\ \quad \quad y = -3 \end{array}$$

Zur Bestimmung von  $x$  setze ich den Wert in die erste Gleichung ein.

$$\begin{array}{r} 5x - 5y = 5 \\ 5x - 5 \cdot (-3) = 5 \\ 5x + 15 = 5 \quad | - 15 \\ 5x = -10 \\ x = -2 \end{array}$$

$$L = \{(-3 | -2)\}$$

## 5.3 Aufgabe 3

$$\begin{array}{l} (1) \quad -2x + 5y = -2 \\ (2) \quad 4x - 9y = 4 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^2$$

Auch hier bietet sich das Additions-/Subtraktionsverfahren an, denn es muss nur die erste Gleichung mit 2 multipliziert werden, damit die Vorzeichen von  $x$  gleich sind.

$$\begin{array}{r} (1) \quad -2x + 5y = -2 \quad | \cdot 2 \\ (2) \quad 4x - 9y = 4 \\ \hline \quad -4x + 10y = -4 \quad | \\ \quad 4x - 9y = 4 \quad | + \\ \hline \quad \quad y = 0 \end{array}$$

Das ging flott. Zur Bestimmung von  $y$  setze ich den Wert in die erste Gleichung ein.

$$\begin{array}{r} -2x + 5y = -2 \\ -2x + 5 \cdot 0 = -2 \\ -2x = -2 \quad | : (-2) \\ x = 1 \end{array}$$

$$L = \{(1|0)\}$$

## 5.4 Aufgabe 4

$$\begin{array}{l} (1) \quad -3x + 5y = -16 \\ (2) \quad 3x - 9y = 24 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^2$$

Auch bei diesem Gleichungssystem muss man nicht lange nachdenken. Die Koeffizienten (Vorzeichen) von  $x$  sind gleich, daher bietet sich das Additions-/Subtraktionsverfahren an. Da die Vorzeichen unterschiedlich sind, muss addiert werden. Ich subtrahiere die obere von der unteren Gleichung, damit  $y$  positiv bleibt.

$$\begin{array}{r} (1) \quad -3x + 5y = -16 \quad | \\ (2) \quad 3x - 9y = 24 \quad | + \\ \hline \quad \quad -4y = 8 \quad | : (-4) \\ \quad \quad y = -2 \end{array}$$

Das Ergebnis kann beispielsweise in Gleichung (2) eingesetzt werden.

$$\begin{array}{r} 3x - 9y = 24 \\ 3x - 9 \cdot (-2) = 24 \\ 3x + 18 = 24 \quad | - 18 \\ 3x = 6 \quad | : 3 \\ x = 2 \end{array}$$

$$L = \{(2 | -2)\}$$

## 5.5 Aufgabe 5

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x + 4y &= 14 \\(2) \quad 5x - 4y &= -30\end{aligned}$$

Hier bietet sich das **Additions-/Subtraktionsverfahren** an, weil die Koeffizienten (die Vorzahlen) von  $y$  übereinstimmen. Da die Vorzeichen unterschiedlich sind, muss **addiert** werden.

$$\begin{array}{rcll} (1) & 3x & +4y & = 14 & | \\ (2) & 5x & -4y & = -30 & | + \\ \hline & 8x & & = -16 & | : 8 \\ & x & & = -2 & \end{array}$$

Das Ergebnis kann in (1) oder in (2) eingesetzt werden, um  $y$  zu bestimmen. Willkürlich wähle ich Gleichung (1) für die Lösung.

$$\begin{aligned} 3x + 4y &= 14 & |x\text{-Wert einsetzen} \\ 3 \cdot (-2) + 4y &= 14 \\ -6 + 4y &= 14 & | + 6 \\ 4y &= 20 & | : 4 \\ y &= 5 \end{aligned}$$

$$L = \{(-2|5)\}$$



## 5.6 Aufgabe 6

$$\begin{aligned}(1) \quad 8x + y &= 53 \\(2) \quad 4x - 3y &= 37\end{aligned}$$

Hier bietet sich das **Einsetzungsverfahren** an, weil der Koeffizient (die Vorzahl) von  $y$  nicht vorhanden bzw. gleich 1 ist. Gleichung (1) kann daher sehr bequem nach  $y$  umgestellt werden.

$$\begin{aligned}8x + y &= 53 && | - 8x \\y &= 53 - 8x\end{aligned}$$

Dieser Term wird in die **andere** Gleichung, also in (2) für  $y$  eingesetzt.

$$\begin{aligned}4x - 3y &= 37 && | \text{ Term für } y \text{ einsetzen} \\4x - 3 \cdot (53 - 8x) &= 37 \\4x - 159 + 24x &= 37 \\28x - 159 &= 37 && | + 159 \\28x &= 196 && | : 28 \\x &= 7\end{aligned}$$

Zur Bestimmung von  $y$  wird sinnvollerweise die umgestellte Gleichung (1) verwendet.

$$\begin{aligned}y &= 53 - 8x && | 7 \text{ für } x \text{ einsetzen} \\&= 53 - 8 \cdot 7 \\&= 53 - 56 \\y &= -3\end{aligned}$$

$$L = \{(7 | -3)\}$$

## 5.7 Aufgabe 7

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 2y &= 3 \\(2) \quad 5x + 3y &= -17\end{aligned}$$

Es fällt auf, dass die Koeffizienten von  $x$  übereinstimmen. Daher bietet sich sofort das **Additions-/Subtraktionsverfahren** an. Weil die Vorzeichen **gleich** sind, muss **subtrahiert** werden.

$$\begin{array}{rcll} (1) & 5x & -2y & = 3 & | \\ (2) & 5x & +3y & = -17 & | - \\ \hline & & -5y & = 20 & | : (-5) \\ & & y & = -4 & \end{array}$$

Dieses Ergebnis kann in (1) oder in (2) eingesetzt werden, um  $x$  zu bestimmen. Weil in (1) die Zahlen etwas kleiner sind, wähle ich diese Gleichung.

$$\begin{aligned} 5x - 2y &= 3 & |y\text{-Wert einsetzen} \\ 5x - 2 \cdot (-4) &= 3 \\ 5x + 8 &= 3 & | - 8 \\ 5x &= -5 & | : 5 \\ x &= -1 \end{aligned}$$

$$L = \{(-1 | -4)\}$$

## 5.8 Aufgabe 8

$$\begin{aligned}(1) \quad 2x - 6y &= -6 \\(2) \quad 5x - 3y &= -15\end{aligned}$$

Hier gibt es keine Übereinstimmung zwischen irgendwelchen Koeffizienten. Auch ist keiner gleich 1. Damit bietet sich kein Verfahren zwingend an. Deswegen stelle ich hier zwei Lösungswege vor.

**Lösung mit Einsetzungsverfahren:** Gleichung (1) lässt sich relativ bequem nach  $x$  umstellen, da alle Koeffizienten in (1) durch 2 (dem Koeffizienten von  $x$ ) teilbar sind.

$$\begin{aligned}2x - 6y &= -6 && | + 6y \\2x &= -6 + 6y && | : 2 \\x &= -3 + 3y\end{aligned}$$

Dieser Term wird in die **andere** Gleichung, also in (2) für  $x$  eingesetzt.

$$\begin{aligned}5x - 3y &= -15 \\5 \cdot (-3 + 3y) - 3y &= -15 \\-15 + 15y - 3y &= -15 \\-15 + 12y &= -15 && | + 15 \\12y &= 0 && | : 12 \\y &= 0\end{aligned}$$

Dieses Ergebnis wird in die umgestellte Gleichung (1) eingesetzt.

$$\begin{aligned}x &= -3 + 3y \\&= -3 + 3 \cdot 0 \\x &= -3 + 0 \\x &= -3\end{aligned}$$

**Lösung mit Additions-/Subtraktionsverfahren:** Wenn man dieses Verfahren verwenden möchte, dann müssen bei  $x$  oder bei  $y$  die Koeffizienten gleichgemacht werden. Hier bietet es sich an, die Koeffizienten von  $y$  gleich zu machen, weil einer genau das Doppelte des anderen ist.

$$\begin{array}{rcll}
 (1) & 2x & -6y & = -6 \\
 (2) & 5x & -3y & = -15 \quad | \cdot 2 \\
 \hline
 (1) & 2x & -6y & = -6 \quad | \\
 (2) & 10x & -6y & = -30 \quad | - \\
 \hline
 & -8x & & = 24 \quad | : (-8) \\
 & x & & = -3
 \end{array}$$

Das Ergebnis kann beispielsweise in (1) eingesetzt werden, um  $y$  zu bestimmen.

$$\begin{array}{rcll}
 2x - 6y & = & -6 \\
 2 \cdot (-3) - 6y & = & -6 \\
 -6 - 6y & = & -6 \quad | + 6 \\
 -6y & = & 0 \quad | : (-6) \\
 y & = & 0
 \end{array}$$

$$L = \{(-3|0)\}$$

## 5.9 Aufgabe 9

$$(1) \quad 5x - 3y = -3$$

$$(2) \quad 2x - 4y = 10$$

Auch hier bietet sich kein Verfahren zwingend an. Daher zeige ich wieder zwei verschiedene Lösungswege auf.

**Lösung mit Einsetzungsverfahren:** Ich stelle Gleichung (2) nach  $x$  um, weil ich dann nur durch 2 dividieren muss.

$$\begin{aligned} 2x - 4y &= 10 && | + 4y \\ 2x &= 10 + 4y && | : 2 \\ x &= 5 + 2y \end{aligned}$$

Dieser Term wird in die **andere** Gleichung, also in (1) für  $x$  eingesetzt.

$$\begin{aligned} 5x - 3y &= -3 \\ 5 \cdot (5 + 2y) - 3y &= -3 \\ 25 + 10y - 3y &= -3 \\ 25 + 7y &= -3 && | - 25 \\ 7y &= -28 && | : 7 \\ y &= -4 \end{aligned}$$

Das Ergebnis wird in der umgestellten Gleichung (2) für  $y$  eingesetzt.

$$\begin{aligned} x &= 5 + 2y \\ &= 5 + 2 \cdot (-4) \\ &= 5 - 8 \\ x &= -3 \end{aligned}$$

**Lösung mit Additions-/Subtraktionsverfahren:** Eine bestimmte Variable zum Eliminieren bietet sich nicht an. Willkürlich wähle ich dafür  $x$  aus. Dazu muss ich beide Gleichungen mit dem jeweils anderen Koeffizienten multiplizieren.

$$\begin{array}{rcll}
 (1) & 5x & -3y & = -3 & | \cdot 2 \\
 (2) & 2x & -4y & = 10 & | \cdot 5 \\
 \hline
 (1) & 10x & -6y & = -6 & | \\
 (2) & 10x & -20y & = 50 & | - \\
 \hline
 & & 14y & = -56 & | : 14 \\
 & & y & = -4 & 
 \end{array}$$

Das Ergebnis wird beispielsweise in Gleichung (1) eingesetzt.

$$\begin{array}{rcll}
 & 5x - 3y & = & -3 \\
 & 5x - 3 \cdot (-4) & = & -3 \\
 & 5x + 12 & = & -3 & | - 12 \\
 & 5x & = & -15 & | : 5 \\
 & x & = & -3 & 
 \end{array}$$

$$L = \{(-3 | -4)\}$$

## 5.10 Aufgabe 10

$$\begin{aligned}(1) \quad x + 3y &= 10 \\(2) \quad 4y - 5x &= 26\end{aligned}$$

Zunächst einmal gilt es aufzupassen, weil die Variablen in den beiden Gleichungen unterschiedlich sortiert sind!

Hier bietet sich ganz klar das Einsetzungsverfahren an, weil vor dem  $x$  in (1) keine Zahl steht, der Koeffizient von  $x$  somit 1 ist. Lösen wir also Gleichung (1) nach  $x$  auf.

$$\begin{aligned}x + 3y &= 10 && | - 3y \\x &= 10 - 3y\end{aligned}$$

Dieser Term wird in die **andere** Gleichung, also in (2) eingesetzt.

$$\begin{aligned}4y - 5x &= 26 \\4x - 5 \cdot (10 - 3y) &= 26 \\4x - 50 + 15y &= 26 \\19y - 50 &= 26 && | + 50 \\19y &= 76 && | : 19 \\y &= 4\end{aligned}$$

Dieses Ergebnis wird in die **umgestellte** Gleichung (1) eingesetzt, um  $x$  zu bestimmen.

$$\begin{aligned}x &= 10 - 3y \\&= 10 - 3 \cdot 4 \\&= 10 - 12 \\x &= -2\end{aligned}$$

$$L = \{(-2|4)\}$$

## 5.11 Aufgabe 11

$$\begin{aligned}(1) \quad 4x + 7 &= 3y - 12 \\(2) \quad 6x + 10 &= 1 - 2y\end{aligned}$$

Dieses Gleichungssystem sollte zunächst in die **Normalform** gebracht werden.

$$\begin{array}{r} (1) \quad 4x + 7 = 3y - 12 \quad | -7 - 3y \\ (2) \quad 6x + 10 = 1 - 2y \quad | -10 + 2y \\ \hline (1) \quad 4x - 3y = -19 \\ (2) \quad 6x + 2y = -9\end{array}$$

Ein bestimmtes Lösungsverfahren bietet sich hier nicht bevorzugt an. Deshalb möchte ich auch hier wieder beide Lösungsverfahren vorstellen.

**Lösung mit Einsetzungsverfahren:** Weil der Koeffizient von  $y$  in der zweiten Gleichung mit 2 der kleinste ist und man zudem durch 2 auch gut dividieren kann, stelle ich Gleichung (2) nach  $y$  um. In diesem Fall muss man nicht mit Brüchen arbeiten, das Dividieren durch 2 ergibt ungerundete Dezimalzahlen. Vielen ist das angenehmer, als die Verwendung von Brüchen.

$$\begin{aligned}6x + 2y &= -9 && | -6x \\2y &= -9 - 6x && | :2 \\y &= -4,5 - 3x\end{aligned}$$

Dieser Term wird nun in die **andere** Gleichung eingesetzt, also in (1).

$$\begin{aligned}4x - 3y &= -19 \\4x - 3 \cdot (-4,5 - 3x) &= -19 \\4x + 13,5 + 9x &= -19 \\13x + 13,5 &= -19 && | -13,5 \\13x &= -32,5 && | :13 \\x &= -2,5\end{aligned}$$

Dieses Ergebnis wird in die **umgestellte** Gleichung (2) eingesetzt.

$$\begin{aligned}y &= -4,5 - 3x \\&= -4,5 - 3 \cdot (-2,5) \\&= -4,5 + 7,5 \\y &= 3\end{aligned}$$



**Lösung mit Additions-/Subtraktionsverfahren:** Weil die Koeffizienten von  $y$  die kleineren Zahlen darstellen, möchte ich diese gleich machen. Deshalb multipliziere ich jede Gleichung mit dem jeweils anderen Koeffizienten. Weil die Vorzeichen der Koeffizienten von  $y$  **verschieden** sind, werden anschließend die Gleichungen **addiert**.

$$\begin{array}{rcll}
 (1) & 4x & -3y & = -19 & | \cdot 2 \\
 (2) & 6x & +2y & = -9 & | \cdot 3 \\
 \hline
 (1) & 8x & -6y & = -38 & | \\
 (2) & 18x & +6y & = -27 & | + \\
 \hline
 & 26x & & = -65 & | : 26 \\
 & x & & = -2,5 & 
 \end{array}$$

Dieses Ergebnis setze ich in eine beliebige Gleichung ein. Weil in (2) die Zahlen etwas kleiner sind, nehme ich diese.

$$\begin{array}{rcll}
 & 6x + 2y & = & -27 \\
 6 \cdot (-2,5) + 2y & = & -27 & \\
 -15 + 2y & = & -27 & | + 15 \\
 2y & = & 6 & | : 2 \\
 y & = & 3 & 
 \end{array}$$

$$L = \{(-2,5|3)\}$$

## 5.12 Aufgabe 12

$$\begin{array}{l} (1) \quad 2 \cdot (2x + y) - 3 \cdot (y - 4) = 20 \\ (2) \quad 5 - 3 \cdot (x - 3) + 5 \cdot (4x - 3y) = 5 \end{array}$$

Auch dieses Gleichungssystem ist nicht in **Normalform** gegeben und muss daher zunächst in diese umgeformt werden.

$$\begin{array}{l} (1) \quad 2 \cdot (2x + y) - 3 \cdot (y - 4) = 20 \\ (2) \quad 5 - 3 \cdot (x - 3) + 5 \cdot (4x - 3y) = 5 \\ \hline (1) \quad 4x + 2y - 3y + 12 = 20 \\ (2) \quad 5 - 3x + 9 + 20x - 15y = 5 \\ \hline (1) \quad 4x - y + 12 = 20 \quad | -12 \\ (2) \quad 14 + 17x - 15y = 5 \quad | -14 \\ \hline (1) \quad 4x - y = 8 \\ (2) \quad 17x - 15y = -9 \end{array}$$

Hier haben wir wieder den Fall, dass eine Variable ( $y$  in der ersten Gleichung) keinen Koeffizienten, bzw. den Koeffizienten 1 hat. Das bedeutet, dass das **Einsetzungsverfahren** hier günstig ist. Gleichung (1) wird nach  $y$  aufgelöst.

$$\begin{array}{l} 4x - y = 8 \quad | -4x \\ -y = 8 - 4x \quad | \cdot (-1) \\ y = -8 + 4x \end{array}$$

Dieser Term wird nun die **andere** Gleichung, also in (2) für  $y$  eingesetzt.

$$\begin{array}{l} 17x - 15y = -9 \\ 17x - 15 \cdot (-8 + 4x) = -9 \\ 17x + 120 - 60x = -9 \\ -43x + 120 = -9 \quad | -120 \\ -43x = -129 \quad | : (-43) \\ x = 3 \end{array}$$

Dieses Ergebnis wird in die **umgestellte** Gleichung (1) eingesetzt.

$$\begin{array}{l} y = -8 + 4x \\ = -8 + 4 \cdot 3 \\ = -8 + 12 \\ y = 4 \end{array}$$

$$\boxed{x = 3 \quad y = 4}$$

### 5.13 Aufgabe 13

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 5x - 2y + 3z = 19 \\
 (2) \quad & 2x + 2y - 4z = -6 \\
 (3) \quad & -2x + 3y + z = -12 \qquad D = \mathbb{R}^3
 \end{aligned}$$

Da in Gleichung (3) die Variable  $z$  allein steht, wähle ich das Einsetzungsverfahren aus. Gleichung (3) wird nach  $z$  aufgelöst.

$$\begin{aligned}
 (3) \quad & -2x + 3y + z = -12 \qquad | + 2x - 3y \\
 (4) \quad & \qquad \qquad z = -12 + 2x - 3y
 \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis wird in Gleichung (1) und Gleichung (2) eingesetzt.

$$\begin{array}{r}
 (1) \qquad \qquad \qquad 5x - 2y + 3z = 19 \\
 (2) \qquad \qquad \qquad 2x + 2y - 4z = -6 \\
 \hline
 (1a) \quad 5x - 2y + 3 \cdot (-12 + 2x - 3y) = 19 \\
 (2a) \quad 2x + 2y - 4 \cdot (-12 + 2x - 3y) = -6 \\
 \hline
 (1a) \qquad \qquad 5x - 2y - 36 + 6x - 9y = 19 \quad | + 36 \\
 (2a) \qquad \qquad 2x + 2y + 48 - 8x + 12y = -6 \quad | - 48 \\
 \hline
 (1a) \qquad \qquad \qquad 11x - 11y = 55 \\
 (2a) \qquad \qquad \qquad -6x + 14y = -54
 \end{array}$$

Damit haben wir das Gleichungssystem auf ein System 2. Ordnung reduziert. Für den nächsten Reduktionsschritt verwende ich erneut das Einsetzungsverfahren, da Gleichung (1a) gut durch 11 dividiert werden kann.

$$\begin{aligned}
 (1a) \quad & 11x - 11y = 55 \quad | : 11 \\
 & \qquad \qquad x - y = 5 \quad | + y \\
 (5) \quad & \qquad \qquad x = 5 + y
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (2a) eingesetzt.

$$\begin{aligned}
 (2a) \quad & -6x + 14y = -54 \\
 & -6 \cdot (5 + y) + 14y = -54 \\
 & -30 - 6y + 14y = -54 \quad | + 30 \\
 & \qquad \qquad 8y = -24 \quad | : 8 \\
 & \qquad \qquad y = -3
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (5) eingesetzt.

$$\begin{aligned}
 x &= 5 + y \\
 x &= 5 - 3 \\
 x &= 2
 \end{aligned}$$

Beide Ergebnisse werden in Gleichung (4) eingesetzt.

$$\begin{aligned}
 z &= -12 + 2x - 3y \\
 z &= -12 + 2 \cdot 2 - 3 \cdot (-3) \\
 z &= -12 + 4 + 9 \\
 z &= 1
 \end{aligned}$$

$$L = \{(2 | -3 | 1)\}$$

## 5.14 Aufgabe 14

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{3}{2}x + \frac{2}{5}y - \frac{1}{3}z = -5 \\
 (2) \quad & \frac{3}{4}x - \frac{3}{2}y - \frac{1}{2}z = -\frac{45}{2} \\
 (3) \quad & -\frac{5}{2}x + \frac{5}{4}y - \frac{1}{9}z = \frac{43}{2} \qquad D = \mathbb{R}^3
 \end{aligned}$$

Mit diesen Brüchen lässt sich schlecht rechnen. Daher wird jede Gleichung zunächst mit ihrem Hauptnenner multipliziert.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{3}{2}x + \frac{2}{5}y - \frac{1}{3}z = -5 \quad | \cdot 30 \\
 (2) \quad & \frac{3}{4}x - \frac{3}{2}y - \frac{1}{2}z = -\frac{45}{2} \quad | \cdot 4 \\
 (3) \quad & -\frac{5}{2}x + \frac{5}{4}y - \frac{1}{9}z = \frac{43}{2} \quad | \cdot 36 \\
 \hline
 (1a) \quad & 45x + 12y - 10z = -150 \\
 (2a) \quad & 3x - 6y - 2z = -90 \\
 (3a) \quad & -90x + 45y - 4z = 774
 \end{aligned}$$

Dieses Gleichungssystem löse ich mit der **Cramerschen Regel**.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\begin{vmatrix} -150 & 12 & -10 \\ -90 & -6 & -2 \\ 774 & 45 & -4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 45 & 12 & -10 \\ 3 & -6 & -2 \\ -90 & 45 & -4 \end{vmatrix}} \\
 &= \frac{-3\,600 - 18\,576 + 40\,500 - 46\,440 - 13\,500 - 4\,320}{1\,080 + 2\,160 - 1\,350 + 5\,400 + 4\,050 + 144 - 45\,936} \\
 &= \frac{11\,484}{-4} \\
 x &= -4
 \end{aligned}$$

Da bei der Berechnung von  $y$  der gleiche Nenner auftritt, kann dort sofort der Zahlenwert 11 484 eingesetzt werden.

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{\begin{vmatrix} 45 & -150 & -10 \\ 3 & -90 & -2 \\ -90 & 774 & -4 \end{vmatrix}}{11\,484} \\
 &= \frac{16\,200 - 27\,000 - 23\,220 + 81\,000 + 69\,660 - 1\,800}{11\,484} \\
 &= \frac{114\,840}{11\,484} \\
 y &= 10
 \end{aligned}$$

Die Variable  $z$  wird am besten durch Einsetzen der ersten beiden Lösungen in eine der Gleichung bestimmt. Hierzu wähle ich Gleichung (2a) aus.

$$\begin{array}{rcl} 3x - 6y - 2z & = & -90 & | - 3x + 6y \\ -2z & = & -90 - 3x + 6y \\ -2z & = & -90 - 3 \cdot (-4) + 6 \cdot 10 \\ -2z & = & -90 + 12 + 60 \\ -2z & = & -18 & | : (-2) \\ z & = & 9 \end{array}$$

$$L = \{(-4|10|9)\}$$

## 5.15 Aufgabe 15

$$\begin{array}{l}
 (1) \quad 0,5x + 3z - 4y = -15 \\
 (2) \quad 2y - z + 3x = 14 \\
 (3) \quad 0,7z + 8,8x - 2,6y = 7,2 \quad D = \mathbb{R}^3
 \end{array}$$

Zur Abwechslung nehme ich für den ersten Reduktionsschritt das Einsetzungsverfahren, da sich Gleichung (2) leicht nach  $z$  umstellen lässt.

$$\begin{array}{l}
 (2) \quad 2y - z + 3x = 14 \quad | -2y - 3x \\
 \quad \quad -z = 14 - 2y - 3x \quad | : (-1) \\
 (4) \quad \quad \quad z = -14 + 2y + 3x
 \end{array}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (1) und in Gleichung (3) eingesetzt.

$$\begin{array}{l}
 (1) \quad \quad \quad 0,5x + 3z - 4y = -15 \\
 (3) \quad \quad \quad 0,7z + 8,8x - 2,6y = 7,2 \\
 \hline
 (1a) \quad 0,5x + 3 \cdot (-14 + 2y + 3x) - 4y = -15 \\
 (3a) \quad 0,7 \cdot (-14 + 2y + 3x) + 8,8x - 2,6y = 7,2 \\
 \hline
 (1a) \quad \quad 0,5x - 42 + 6y + 9x - 4y = -15 \quad | +42 \\
 (3a) \quad -9,8 + 1,4y + 2,1x + 8,8x - 2,6y = 7,2 \quad | +9,8 \\
 \hline
 (1a) \quad \quad \quad 9,5x + 2y = 27 \\
 (3a) \quad \quad \quad 10,9x - 1,2y = 17
 \end{array}$$

Damit ist der erste Reduktionsschritt fertig, wir haben ein Gleichungssystem von nur noch 2. Ordnung erhalten. Für die weitere Lösung verwende ich die Cramersche Regel.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\begin{vmatrix} 27 & 2 \\ 17 & -1,2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 9,5 & 2 \\ 10,9 & -1,2 \end{vmatrix}} \\
 &= \frac{-32,4 - 34}{-11,4 - 21,8} \\
 &= \frac{-66,4}{-33,2} \\
 x &= 2
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (1a) eingesetzt.

$$\begin{array}{l}
 9,5x + 2y = 27 \\
 9,5 \cdot 2 + 2y = 27 \\
 19 + 2y = 27 \quad | -19 \\
 2y = 8 \quad | :2 \\
 y = 4
 \end{array}$$

Beide Ergebnisse werden in Gleichung (4) eingesetzt.

$$\begin{array}{l}
 z = -14 + 2y + 3x \\
 z = -14 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 2 \\
 z = 0
 \end{array}$$

$$L = \{(2|4|0)\}$$

## 5.16 Aufgabe 16

$$\begin{aligned}(1) \quad & 2,3x + z = -6,6 \\(2) \quad & 5,8y + x = -13,6 \\(3) \quad & 2,3z + y = -6,6 \quad D = \mathbb{R}^3\end{aligned}$$

Zunächst bringe ich das Gleichungssystem in die Normalform.

$$\begin{aligned}(1) \quad & 2,3x \quad \quad \quad +z = -6,6 \\(2) \quad & \quad x + 5,8y \quad \quad = -13,6 \\(3) \quad & \quad \quad y + 2,3z = -6,6\end{aligned}$$

Wegen der vielen Lücken bietet sich die Cramersche Regel zur Lösung an.

$$\begin{aligned}x &= \frac{\begin{vmatrix} -6,6 & 0 & 1 \\ -13,6 & 5,8 & 0 \\ -6,6 & 1 & 2,3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2,3 & 0 & 1 \\ 1 & 5,8 & 0 \\ 0 & 1 & 2,3 \end{vmatrix}} \\ &= \frac{-88,044 + 0 - 13,6 + 38,28 - 0 - 0}{30,682 + 0 + 1 - 0 - 0 - 0} \\ &= \frac{-63,364}{31,682} \\ x &= -2\end{aligned}$$

Das Ergebnis kann zur Bestimmung von  $z$  in Gleichung (1) eingesetzt werden.

$$\begin{aligned}2,3x + z &= -6,6 \\ 2,3 \cdot (-2) + z &= -6,6 \\ -4,6 + z &= -6,6 \quad | + 4,6 \\ z &= -2\end{aligned}$$

Das Ergebnis kann zur Bestimmung von  $y$  in Gleichung (3) eingesetzt werden.

$$\begin{aligned}2,3z + y &= -6,6 \\ 2,3 \cdot (-2) + y &= -6,6 \\ -4,6 + y &= -6,6 \quad | + 4,6 \\ y &= -2\end{aligned}$$

$$L = \{(-2 | -2 | -2)\}$$

## 5.17 Aufgabe 17

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x - 2y + 4z &= 6 \\(2) \quad 5x + 2y - 3z &= 4 \\(3) \quad 3x + 4y - 7z &= -2 \quad D = \mathbb{R}^3\end{aligned}$$

Zur Abwechslung verwende ich hier das Additions-/Subtraktionsverfahren. Ich will im ersten Reduktionsschritt die Variable  $y$  eliminieren. Dazu addiere ich zunächst Gleichung (1) mit (2).

$$\begin{array}{r} (1) \quad 3x \quad -2y \quad +4z = 6 \quad | \\ (2) \quad 5x \quad +2y \quad -3z = 4 \quad | + \\ \hline (4) \quad 8x \quad \quad \quad +z = 10 \end{array}$$

Anschließend verdopple ich Gleichung (1), damit ich sie zu Gleichung (3) addieren kann.

$$\begin{array}{r} (1) \quad 3x \quad -2y \quad +4z = 6 \quad | \cdot 2 \\ (3) \quad 3x \quad +4y \quad -7z = -2 \\ \hline (1) \quad 6x \quad -4y \quad +8z = 12 \quad | \\ (3) \quad 3x \quad +4y \quad -7z = -2 \quad | + \\ \hline (5) \quad 9x \quad \quad \quad +z = 10 \end{array}$$

Mit Gleichung (4) und (5) haben wir nun ein Gleichungssystem von nur noch 2. Ordnung. Es bietet sich an, die Gleichungen voneinander zu subtrahieren.

$$\begin{array}{r} (4) \quad 8x \quad +z = 10 \quad | - \\ (5) \quad 9x \quad +z = 10 \quad | \\ \hline \quad \quad x \quad \quad = 0 \end{array}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (4) eingesetzt, um  $y$  zu bestimmen.

$$\begin{aligned}8x + z &= 10 \\ 8 \cdot 0 + z &= 10 \\ z &= 10\end{aligned}$$

Beide Ergebnisse werden in Gleichung (1) eingesetzt.

$$\begin{aligned}3x - 2y + 4z &= 6 \\ 3 \cdot 0 - 2y + 4 \cdot 10 &= 6 \\ -2y + 40 &= 6 \quad | - 40 \\ -2y &= -34 \quad | : (-2) \\ y &= 17\end{aligned}$$

$$L = \{(0|17|10)\}$$



## 5.18 Aufgabe 18

$$\begin{array}{l} (1) \quad 3x - 5z = 1 \\ (2) \quad 3x - 4y = 3 \\ (3) \quad z - 2y = 4 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^3$$

Dieses Gleichungssystem sollte zunächst in die Normalform gebracht werden, damit es übersichtlicher wird.

$$\begin{array}{l} (1) \quad 3x \quad \quad -5z = 1 \\ (2) \quad 3x \quad -4y \quad \quad = 3 \\ (3) \quad \quad -2y \quad +z = 4 \end{array}$$

Es bietet sich das Additions-/Subtraktionsverfahren an. Man kann Gleichung (3) mit 2 multiplizieren und von Gleichung (2) subtrahieren, damit  $y$  wegfällt.

$$\begin{array}{r} (2) \quad 3x \quad -4y \quad \quad = 3 \\ (3) \quad \quad -2y \quad +z = 4 \quad | \cdot 2 \\ \hline (2) \quad 3x \quad -4y \quad \quad = 3 \quad | \\ (3) \quad \quad -4y \quad +2z = 8 \quad | - \\ \hline (4) \quad 3x \quad \quad -2z = -5 \end{array}$$

Übrig bleiben zwei Gleichungen mit nur noch zwei Variablen. Es ist zweckmäßig, die Gleichungen sofort voneinander zu subtrahieren.

$$\begin{array}{r} (1) \quad 3x \quad -5z = 1 \quad | \\ (4) \quad 3x \quad -2z = -5 \quad | - \\ \hline (5) \quad \quad -3z = 6 \quad | : (-3) \\ \quad \quad \quad z = -2 \end{array}$$

Das Ergebnis setze ich in (1) ein.

$$\begin{array}{r} 3x - 5z = 1 \\ 3x - 5 \cdot (-2) = 1 \\ 3x + 10 = 1 \quad | - 10 \\ \quad 3x = -9 \quad | : 3 \\ \quad \quad x = -3 \end{array}$$

Dieses Ergebnis kann in (2) eingesetzt werden.

$$\begin{array}{r} 3x - 4y = 3 \\ 3 \cdot (-3) - 4y = 3 \\ -9 - 4y = 3 \quad | + 9 \\ \quad -4y = 12 \quad | : (-4) \\ \quad \quad y = -3 \end{array}$$

$$L = \{(-3 | -3 | -2)\}$$

## 5.19 Aufgabe 19

$$\begin{aligned} (1) \quad 5x - 4y + 6z &= 7 \\ (2) \quad 2x + 3y - 2z &= 4 \\ (3) \quad 9x + 2y + 2z &= 12 \end{aligned} \quad D = \mathbb{R}^3$$

**Lösungsvariante 1:** Es liegen keinerlei Besonderheiten vor und das Gleichungssystem ist schon in Normalform angegeben. Daher verwende ich die **Cramersche Regel** zur Lösung.

$$\begin{aligned} x &= \frac{\begin{vmatrix} 7 & -4 & 6 \\ 4 & 3 & -2 \\ 12 & 2 & 2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & -4 & 6 \\ 2 & 3 & -2 \\ 9 & 2 & 2 \end{vmatrix}} \\ &= \frac{42 + 96 + 48 - 216 + 28 + 32}{30 + 72 + 24 - 162 + 20 + 16} \\ &= \frac{30}{0} \end{aligned}$$

Die Nennerdeterminante ist Null! Das bedeutet, das Gleichungssystem ist **unterbestimmt**, es gibt daher keine Lösung.

**Lösungsvariante 2:** Um zu zeigen, dass auch andere Lösungsverfahren nicht zu einem Ergebnis führen, verwende ich für einen zweiten Lösungsversuch das Additions-/Subtraktionsverfahren.

Zunächst fasse ich Gleichung (2) und (3) zu einer Gleichung zusammen, die ich (4) nenne.

$$\begin{array}{r} (2) \quad 2x + 3y - 2z = 4 \quad | \\ (3) \quad 9x + 2y + 2z = 12 \quad | + \\ \hline (4) \quad 11x + 5y = 16 \end{array}$$

Aus Gleichung (1) und (2) mache ich eine Gleichung (5).

$$\begin{array}{r} (1) \quad 5x - 4y + 6z = 7 \\ (2) \quad 2x + 3y - 2z = 4 \quad | \cdot 3 \\ \hline (1) \quad 5x - 4y + 6z = 7 \quad | \\ (2) \quad 6x + 9y - 6z = 12 \quad | + \\ \hline (5) \quad 11x + 5y = 19 \end{array}$$

Vergleicht man nun diese beiden Gleichungen, dann fällt sofort auf, dass die linken Seiten identisch sind, auf der rechten Seite aber eine andere Zahl steht. Damit ist das Gleichungssystem **nicht lösbar**.

**Lösungsvariante 3:** Um zu zeigen, wie sich die Unlösbarkeit bei anderen Verfahren darstellt, setze ich jetzt eine Lösung mit dem **Einsetzungsverfahren** an.

$$\begin{aligned} (1) \quad & 5x - 4y + 6z = 7 \\ (2) \quad & 2x + 3y - 2z = 4 \\ (3) \quad & 9x + 2y + 2z = 12 \end{aligned}$$

Ich löse Gleichung (2) nach  $x$  auf und setze das Ergebnis in die anderen Gleichungen ein.

$$\begin{array}{rcl} 2x + 3y - 2z & = & 4 \qquad \qquad \qquad | -3y + 2z \\ 2x & = & 4 - 3y + 2z \quad | :2 \\ x & = & 2 - \frac{3}{2}y + z \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{in (1)} & 5 \cdot \left(2 - \frac{3}{2}y + z\right) - 4y + 6z & = 7 \\ \text{in (3)} & 9 \cdot \left(2 - \frac{3}{2}y + z\right) + 2y + 2z & = 12 \\ \hline (1) & 10 - \frac{15}{2}y + 5z - 4y + 6z & = 7 \quad | -10 \\ (3) & 18 - \frac{27}{2}y + 9z + 2y + 2z & = 12 \quad | -18 \\ \hline (1) & & -\frac{23}{2}y + 11z = -3 \\ (3) & & -\frac{23}{2}y + 11z = -6 \end{array}$$

Auch hier haben wir wieder zwei Gleichungen erhalten, die auf der linken Seite identisch sind, auf der rechten Seite aber unterschiedliche Ergebnisse liefern sollen. Da das nicht sein kann, ist das Gleichungssystem **unlösbar**.

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{ \}$  oder:  $L = \emptyset$

## 5.20 Aufgabe 20

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x - z + 2y &= -4 \\(2) \quad 3z - 2x + 5y &= 12 \\(3) \quad 5y - 5z + 3x &= -20 \quad D = \mathbb{R}^3\end{aligned}$$

Zunächst sollte das Gleichungssystem durch Sortieren in die Normalform gebracht werden.

$$\begin{aligned}(1) \quad 3x + 2y - z &= -4 \\(2) \quad -2x + 5y + 3z &= 12 \\(3) \quad 3x + 5y - 5z &= -20\end{aligned}$$

Zur Abwechslung verwende ich hier das Einsetzungsverfahren. Gleichung (1) kann gut nach  $z$  umgestellt werden.

$$\begin{array}{rcl}3x + 2y - z &= & -4 \quad | -3x - 3y \\-z &= & -4 - 3x - 3y \quad | \cdot (-1) \\z &= & 4 + 3x + 3y\end{array}$$

Das Ergebnis wird in (2) und in (3) eingesetzt.

$$\begin{array}{rcl}(2) \quad -2x + 5y + 3 \cdot (4 + 3x + 3y) &= & 12 \\(3) \quad 3x + 5y - 5 \cdot (4 + 3x + 3y) &= & -20 \\ \hline(2) \quad -2x + 5y + 12 + 9x + 9y &= & 12 \quad | -12 \\(3) \quad 3x + 5y - 20 - 15x - 15y &= & -20 \quad | +20 \\ \hline(2) \quad \quad \quad 7x + 14y &= & 0 \\(3) \quad \quad \quad -12x - 10y &= & 0 \\ \hline\end{array}$$

Gleichung (2) kann gut nach  $x$  umgestellt werden.

$$\begin{array}{rcl}7x + 14y &= & 0 \quad | -14y \\7x &= & -14y \quad | :7 \\x &= & -2y\end{array}$$

Das Ergebnis wird in (3) eingesetzt.

$$\begin{array}{rcl}-12x - 10y &= & 0 \\-12 \cdot (-2y) - 10y &= & 0 \\24y - 10y &= & 0 \\14y &= & 0 \quad | :14 \\y &= & 0\end{array}$$

Das Ergebnis wird in die umgestellte Gleichung (2) eingesetzt.

$$x = -2y = -2 \cdot 0 = 0$$

Beide Ergebnisse werden in die umgestellte Gleichung (1) eingesetzt.

$$z = 4 + 3x + 3y = z = 4 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0 = 4$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(0|0|4)\}$

## 5.21 Aufgabe 21

$$\begin{array}{l} (1) \quad -5x + 3z = -19 \\ (2) \quad -4z + 2x + 3y = 19 \\ (3) \quad 3y + 5z = -12 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^3$$

Auch dieses Gleichungssystem sollte zunächst „geordnet“ werden, damit man es besser überblickt.

$$\begin{array}{l} (1) \quad -5x \quad \quad + 3z = -14 \\ (2) \quad -2x \quad + 3y \quad - 4z = 13 \\ (3) \quad \quad \quad 3y \quad + 5z = -12 \end{array}$$

Es fällt auf, dass die Koeffizienten von  $y$  in Gleichung (2) und (3) übereinstimmen. Zudem fehlt in Gleichung (1)  $y$  ganz. Daher bietet es sich an, die Gleichungen (2) und (3) voneinander zu subtrahieren.

$$\begin{array}{l} (2) \quad -2x \quad + 3y \quad - 4z = 13 \quad | \\ (3) \quad \quad \quad 3y \quad + 5z = -12 \quad | - \\ \hline (4) \quad -2x \quad \quad \quad - 9z = 25 \end{array}$$

Übrig bleiben Gleichung (1) und (4) als Lineargleichungssystem 2. Ordnung.

$$\begin{array}{l} (1) \quad -5x \quad + 3z = -14 \\ (4) \quad -2x \quad - 9z = 25 \end{array}$$

Auch für den nächsten Reduktionsschritt bietet sich das Additionsverfahren an. Wenn vor dem Addieren (1) mit 3 multipliziert wird, fällt  $z$  weg.

$$\begin{array}{l} (1) \quad -5x \quad + 3z = -14 \quad | \cdot 3 \\ (4) \quad -2x \quad - 9z = 25 \\ \hline (1) \quad -15x \quad + 9z = -42 \quad | \\ (4) \quad -2x \quad - 9z = 25 \quad | + \\ \hline \quad \quad -17x \quad \quad = -17 \quad | : (-17) \\ \quad \quad \quad x \quad \quad = 1 \end{array}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (1) eingesetzt.

$$\begin{array}{l} -5x + 3z = -14 \\ -5 \cdot 1 + 3z = -14 \quad | + 5 \\ \quad \quad 3z = -9 \quad | : 3 \\ \quad \quad \quad z = -3 \end{array}$$

Das Ergebnis wird in Gleichung (3) eingesetzt.

$$\begin{array}{l} 3y + 5z = -12 \\ 3y + 5 \cdot (-3) = -12 \\ 3y - 15 = -12 \quad | + 15 \\ \quad \quad 3y = 3 \quad | : 3 \\ \quad \quad \quad y = 1 \end{array}$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(1|1|-3)\}$

## 5.22 Aufgabe 22

$$\begin{aligned}(1) \quad 4x + 3y + z &= 0 \\(2) \quad 3x + 4y + 5z &= 0 \\(3) \quad x - 2y + z &= 0\end{aligned} \quad D = \mathbb{R}^3$$

Da sich kein Verfahren besonders „aufdrängt“, verwende ich die Cramersche Regel.

$$\begin{aligned}x &= \frac{\begin{vmatrix} 0 & 3 & 1 \\ 0 & 4 & 5 \\ 0 & -2 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 4 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 5 \\ 1 & -2 & 1 \end{vmatrix}} \\ &= \frac{0+0+0-0-0-0}{16+15-6-4+40-9} \\ &= \frac{0}{52} \\ x &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= \frac{\begin{vmatrix} 4 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 5 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}}{52} \\ &= \frac{0+0+0-0-0-0}{52} \\ &= \frac{0}{52} \\ y &= 0\end{aligned}$$

Eingesetzt in (1):

$$\begin{aligned}4x + 3y + z &= 0 \\ 4 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + z &= 0 \\ z &= 0\end{aligned}$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(0|0|0)\}$

## 5.23 Aufgabe 23

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 2ax + ay + z = a \\
 (2) \quad & ax + 0,5by + bz = b^2 \\
 (3) \quad & ax + 2ay - 2bz = ab \qquad D = \mathbb{R}^3
 \end{aligned}$$

Eine Besonderheit liegt hier darin, dass die Gleichungen neben den **Variablen**  $x$ ,  $y$  und  $z$  auch die **Parameter**  $a$ ,  $b$  und  $c$  enthalten.

Zur Lösung möchte ich das Additions-/Subtraktionsverfahren verwenden. Dazu multipliziere ich die Gleichungen (2) und (3) jeweils mit 2.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 2ax + ay + z = a \\
 (2) \quad & 2ax + by + 2bz = 2b^2 \\
 (3) \quad & 2ax + 4ay - 4bz = 2ab
 \end{aligned}$$

Gleichung (2) wird von Gleichung (1) subtrahiert:

$$\begin{array}{rcll}
 (1) & 2ax & +ay & +z & = & a & | \\
 (2) & 2ax & +by & +2bz & = & 2b^2 & | - \\
 \hline
 (4) & & ay - by & +z - 2bz & = & a - 2b^2 & \\
 (4) & & (a - b) \cdot y & +(1 - 2b) \cdot z & = & a - 2b^2 & 
 \end{array}$$

Als nächstes muss auch noch Gleichung (3) mitverwendet werden. Ich subtrahiere daher Gleichung (3) von (1).

$$\begin{array}{rcll}
 (1) & 2ax & +ay & +z & = & a & | \\
 (3) & 2ax & +4ay & -4bz & = & 2ab & | - \\
 \hline
 (5) & & ay - 4ay & +z + 4bz & = & a - 2ab & \\
 (5) & & -3a \cdot y & +(1 + 4b) \cdot z & = & a - 2ab & 
 \end{array}$$

Damit ist das Gleichungssystem 3. Ordnung reduziert auf ein Gleichungssystem 2. Ordnung.

$$\begin{aligned}
 (4) \quad & (a - b) \cdot y + (1 - 2b) \cdot z = a - 2b^2 \\
 (5) \quad & -3a \cdot y + (1 + 4b) \cdot z = a - 2ab
 \end{aligned}$$

Es steht uns für den nächsten Reduktionsschritt wieder frei, welches Verfahren wir anwenden wollen. Ich entscheide mich für das Einsetzungsverfahren und löse Gleichung (5) nach  $y$  auf.

$$\begin{aligned}
 -3a \cdot y + (1 + 4b) \cdot z &= a - 2ab & | - (1 + 4b) \cdot z \\
 -3a \cdot y &= a - 2ab - (1 + 4b) \cdot z & | : (-3a) \\
 y &= -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{(1 + 4b) \cdot z}{3a}
 \end{aligned}$$

Dieser Term wird für  $y$  in Gleichung (4) eingesetzt:

$$(a - b) \cdot \left( -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{(1 + 4b) \cdot z}{3a} \right) + (1 - 2b) \cdot z = a - 2b^2$$

Hat man Brüche in einer Gleichung, empfiehlt es sich immer, die Gleichung **sofort** mit dem Hauptnenner zu multiplizieren. Dann verschwinden alle Brüche. Hier ist er Hauptnenner  $3a$ .

$$\begin{aligned}
 (a-b) \cdot \left( -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{(1+4b) \cdot z}{3a} \right) + (1-2b) \cdot z &= a - 2b^2 & | \cdot 3a \\
 (a-b) \cdot (-a + 2ab + (1+4b) \cdot z) + (1-2b) \cdot 3az &= 3a^2 - 6ab^2 \\
 (a-b) \cdot (-a + 2ab + z + 4bz) + 3az - 6abz &= 3a^2 - 6ab^2 \\
 -a^2 + 2a^2b + az + 4abz + ab - 2ab^2 - bz + 4b^2z + 3az - 6abz &= 3a^2 - 6ab^2
 \end{aligned}$$

Nun werden alle Terme, die  $z$  enthalten, auf die linke Seite sortiert (da sind sie schon), und alle Terme, die **kein**  $z$  enthalten, auf die rechte Seite.

$$\begin{aligned}
 -a^2 + 2a^2b + az + 4abz + ab - 2ab^2 - bz + 4b^2z + 3az - 6abz &= 3a^2 - 6ab^2 \\
 4az - 2abz - bz - 4b^2z &= 4a^2 - 2a^2b - ab - 4ab^2 \\
 (4a - 2ab - b - 4b^2) \cdot z &= 4a^2 - 2a^2b - ab - 4ab^2 \\
 z &= \frac{4a^2 - 2a^2b - ab - 4ab^2}{4a - 2ab - b - 4b^2} \\
 z &= \frac{a \cdot (4a - 2ab - b - 4b^2)}{4a - 2ab - b - 4b^2} \\
 z &= a
 \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis kann nun in die umgestellte Gleichung (5) eingesetzt werden, um  $y$  zu erhalten.

$$\begin{aligned}
 y &= -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{(1+4b) \cdot z}{3a} \\
 &= -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{(1+4b) \cdot a}{3a} \\
 &= -\frac{1}{3} + \frac{2b}{3} + \frac{1+4b}{3} \\
 &= \frac{-1 + 2b + 1 + 4b}{3} \\
 &= \frac{6b}{3} \\
 y &= 2b
 \end{aligned}$$

Jetzt fehlt nur noch  $x$ . Das kann durch Einsetzen der bekannten Werte in (1), (2) oder (3) bestimmt werden. Willkürlich wähle ich dazu Gleichung (3) aus.

$$\begin{aligned}
 ax + 2ay - 2bz &= ab \\
 ax + 2a \cdot 2b - 2b \cdot a &= ab \\
 ax + 4ab - 2ab &= ab \\
 ax + 2ab &= ab & | - 2ab \\
 ax &= -ab & | : a \\
 x &= -b
 \end{aligned}$$

Hiermit kann die Lösungsmenge angegeben werden:  $L = \{(-b|2b|a)\}$



## 5.24 Aufgabe 24

$$\begin{aligned}(1) \quad 5x - 3y + 4z &= 1 \\(2) \quad 2x + 4y - 2z &= -14 \\(3) \quad 3x - 5y + 3z &= 3\end{aligned} \quad D = \mathbb{R}^3$$

Hier haben wir wieder keine Besonderheit, die für Einsetz- oder Additions-/Subtraktionsverfahren spricht. Deshalb verwende ich der Einfachheit halber die Cramersche Regel.

$$\begin{aligned}x &= \frac{\begin{vmatrix} 1 & -3 & 4 \\ -14 & 4 & -2 \\ 3 & -5 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & -3 & 4 \\ 2 & 4 & -2 \\ 3 & -5 & 3 \end{vmatrix}} \\ &= \frac{12 + 18 + 280 - 48 - 10 - 126}{60 + 18 - 40 - 48 - 50 + 18} \\ &= \frac{126}{-42} \\ x &= -3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= \frac{\begin{vmatrix} 5 & 1 & 4 \\ 2 & -14 & -2 \\ 3 & 3 & 3 \end{vmatrix}}{52} \\ &= \frac{-210 - 6 + 24 + 168 + 30 - 6}{-42} \\ &= \frac{0}{-42} \\ y &= 0\end{aligned}$$

Eingesetzt in (1):

$$\begin{aligned}5x - 3y + 4z &= 1 \\ 5 \cdot (-3) - 3 \cdot 0 + 4z &= 1 \\ -15 + 4z &= 1 \quad | +15 \\ 4z &= 16 \quad | :4 \\ z &= 4\end{aligned}$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(-3|0|4)\}$

## 5.25 Aufgabe 25

$$\begin{array}{l} (1) \quad abx - 2aby + 2bz = 3ab \\ (2) \quad -2ax + 4by + 10z = a - 4b \\ (3) \quad \quad \quad 3bx - 6ay = 0 \end{array} \quad D = \mathbb{R}^3$$

Bei diesem Gleichungssystem fällt auf, dass Gleichung (3) kein  $z$  enthält. Also sollte man Gleichung (1) und (2) so kombinieren, dass dort auch  $z$  wegfällt. Das geht am besten mit dem Additions-/Subtraktionsverfahren.

$$\begin{array}{r} (1) \quad abx \quad \quad -2aby \quad +2bz = 3ab \quad | \cdot 5 \\ (2) \quad -2ax \quad \quad +4by \quad +10z = a - 4b \quad | \cdot b \\ \hline (1) \quad 5abx \quad \quad -10aby \quad +10bz = 15ab \quad | \\ (2) \quad -2abx \quad \quad +4b^2y \quad +10bz = ab - 4b^2 \quad | - \\ \hline (4) \quad 7abx \quad -10aby - 4b^2y \quad \quad = 14ab + 4b^2 \end{array}$$

Wir haben die Gleichungen (3) und (4) zur Weiterbearbeitung, die jetzt nur noch die Variablen  $x$  und  $y$  enthalten.

$$\boxed{\begin{array}{l} (3) \quad 3bx \quad \quad -6ay = 0 \\ (4) \quad 7abx \quad -10aby - 4b^2y = 14ab + 4b^2 \end{array}}$$

Für den nächsten Reduktionsschritt verwende ich wieder das Additions-/Subtraktionsverfahren, da die Parameter von  $x$  relativ einfach gleich gemacht werden können.

$$\begin{array}{r} (3) \quad 3bx \quad \quad -6ay = 0 \quad | \cdot 7a \\ (4) \quad 7abx \quad \quad -10aby - 4b^2y = 14ab + 4b^2 \quad | \cdot 3 \\ \hline (3) \quad 21abx \quad \quad -42a^2y = 0 \quad | \\ (4) \quad 21abx \quad \quad -30aby - 12b^2y = 42ab + 12b^2 \quad | - \\ \hline \quad \quad \quad -42a^2y + 30aby + 12b^2y = -42ab - 12b^2 \end{array}$$

Diese Gleichung muss nun nach  $y$  umgestellt werden.

$$\begin{aligned} -42a^2y + 30aby + 12b^2y &= -42ab - 12b^2 \\ (-42a^2 + 30ab + 12b^2) \cdot y &= -42ab - 12b^2 \quad | : (-42a^2 + 30ab + 12b^2) \\ y &= \frac{-42ab - 12b^2}{-42a^2 + 30ab + 12b^2} \end{aligned}$$

Man kann nun versuchen, im Zähler und Nenner möglichst viel auszuklammern, damit ein Kürzen möglich wird.

$$\begin{aligned} y &= \frac{-42ab - 12b^2}{-42a^2 + 30ab + 12b^2} \\ y &= \frac{(-7a - 2b) \cdot 6b}{(-7a^2 + 5ab + 2b^2) \cdot 6} \\ y &= \frac{(-7a - 2b) \cdot b}{-7a^2 + 5ab + 2b^2} \end{aligned}$$

Auf den ersten Blick geht es hier nicht weiter. Mit Hilfe einer Polynomdivision<sup>3</sup> kann man prüfen, ob eventuell der Faktor  $(-7a - 2b)$  des Zählers auch als Faktor im Nenner enthalten ist.

$$\begin{array}{r} (-7a^2 + 5ab + 2b^2) : (-7a - 2b) = a - b \\ -(-7a^2 - 2ab) \\ \hline 7ab + 2b^2 \\ - (7ab + 2b^2) \\ \hline 0 \end{array}$$

Hiermit kann der Nenner faktorisiert werden, man kann kürzen.

$$\begin{aligned} y &= \frac{(-7a - 2b) \cdot b}{-7a^2 + 5ab + 2b^2} \\ &= \frac{(-7a - 2b) \cdot b}{(-7a - 2b) \cdot (a - b)} \\ y &= \frac{b}{a - b} \end{aligned}$$

Durch Einsetzen in Gleichung (3) kann nun  $x$  bestimmt werden.

$$\begin{aligned} 3bx - 6ay &= 0 \\ 3bx - 6a \cdot \frac{b}{a - b} &= 0 \\ 3bx - \frac{6ab}{a - b} &= 0 \quad \left| + \frac{6ab}{a - b} \right. \\ 3bx &= \frac{6ab}{a - b} \quad \left| : 3b \right. \\ x &= \frac{2a}{a - b} \end{aligned}$$

---

<sup>3</sup>Einzelheiten zur Polynomdivision siehe hier:

<https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/polynomd.pdf>

Zur Bestimmung von  $z$  setze ich die gefundenen Werte in Gleichung (1) ein.

$$\begin{aligned}
 abx - 2aby + 2bz &= 3ab \\
 ab \cdot \frac{2a}{a-b} - 2ab \cdot \frac{b}{a-b} + 2bz &= 3ab \\
 \frac{2a^2b}{a-b} - \frac{2ab^2}{a-b} + 2bz &= 3ab && | \cdot (a-b) \\
 2a^2b - 2ab^2 + 2abz - 2b^2z &= 3a^2b - 3ab^2 && | - 2a^2b + 2ab^2 \\
 2abz - 2b^2z &= a^2b - ab^2 \\
 (2ab - 2b^2) \cdot z &= a^2b - ab^2 && | : (2ab - 2b^2) \\
 z &= \frac{a^2b - ab^2}{2ab - 2b^2} \\
 z &= \frac{a \cdot (ab - b^2)}{2 \cdot (ab - b^2)} \\
 z &= \frac{a}{2}
 \end{aligned}$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \left\{ \left( \frac{2a}{a-b} \mid \frac{b}{a-b} \mid \frac{a}{2} \right) \right\}$

## 5.26 Aufgabe 26

$$\begin{aligned} (1) \quad & 2ax - by = 4a^2 + b^2 \\ (2) \quad & 2b(x + y) - a(x - y) = 6ab \end{aligned}$$

**Lösung:** Zuerst muss noch Gleichung (2) in die Normalform gebracht werden.

$$\begin{aligned} 2b(x + y) - a(x - y) &= 6ab \\ 2bx + 2by - ax + ay &= 6ab \\ (2b - a) \cdot x + (a + 2b) \cdot y &= 6ab \end{aligned}$$

Hiermit sieht das Gleichungssystem wie folgt aus:

$$\boxed{\begin{aligned} (1) \quad & 2a \cdot x \quad -b \cdot y = 4a^2 + b^2 \\ (2) \quad & (2b - a) \cdot x + (a + 2b) \cdot y = 6ab \end{aligned}}$$

Für die Lösung möchte ich das Additions-Subtraktionsverfahren verwenden. Um  $y$  zu eliminieren multipliziere ich Gleichung (1) mit  $(a + 2b)$  und Gleichung (2) mit  $b$ .

$$\begin{array}{r} (1) \quad 2a \cdot x \quad -b \cdot y = 4a^2 + b^2 \quad | \cdot (a + 2b) \\ (2) \quad (2b - a) \cdot x + (a + 2b) \cdot y = 6ab \quad | \cdot b \\ \hline (1) \quad (2a^2 + 4ab) \cdot x - b \cdot (a + 2b) \cdot y = 4a^3 + 8a^2b + ab^2 + 2b^3 \quad | \\ (2) \quad (2b^2 - ab) \cdot x + b \cdot (a + 2b) \cdot y = 6ab^2 \quad | + \\ \hline (2a^2 + 3ab + 2b^2) \cdot x = 4a^3 + 8a^2b + 7ab^2 + 2b^3 \quad | : (2a^2 + 3ab + 2b^2) \\ x = \frac{4a^3 + 8a^2b + 7ab^2 + 2b^3}{2a^2 + 3ab + 2b^2} \end{array}$$

Dieser Bruch kann mit Hilfe einer Polynomdivision<sup>4</sup> aufgelöst werden.

$$\begin{array}{r} (4a^3 + 8a^2b + 7ab^2 + 2b^3) : (2a^2 + 3ab + 2b^2) = 2a + b \\ -(4a^3 + 6a^2b + 4ab^2) \\ \hline 2a^2b + 3ab^2 + 2b^3 \\ - (2a^2b + 3ab^2 + 2b^3) \\ \hline 0 \end{array}$$

Damit erhalten wir das Ergebnis:

$$x = 2a + b$$

Das Ergebnis wird in (1) eingesetzt, um  $y$  zu erhalten:

$$\begin{aligned} 2a \cdot x - b \cdot y &= 4a^2 + b^2 \\ 2a \cdot (2a + b) - b \cdot y &= 4a^2 + b^2 \\ 4a^2 + 2ab - b \cdot y &= 4a^2 + b^2 \quad | - 4a^2 - 2ab \\ -b \cdot y &= -2ab + b^2 \quad | : (-b) \\ y &= 2a - b \end{aligned}$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(2a + b | 2a - b)\}$

<sup>4</sup>Einzelheiten zur Polynomdivision siehe hier:

<https://dk4ek.de/lib/exe/fetch.php/polynomd.pdf>

## 5.27 Aufgabe 27

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\
 (2) \quad & 3x_1 - 2x_3 - 4x_4 = 3 \\
 (3) \quad & 4x_2 - x_3 + 4x_4 = -3 \\
 (4) \quad & 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 2
 \end{aligned}$$

Nicht in jeder Gleichung dieses Lineargleichungssystems 4. Grades kommen alle Variablen vor. Daher ist es sinnvoll, zunächst eine Struktur in das System zu bringen.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\
 (2) \quad & 3x_1 - 2x_3 - 4x_4 = 3 \\
 (3) \quad & 4x_2 - x_3 + 4x_4 = -3 \\
 (4) \quad & 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 2
 \end{aligned}$$

Für den ersten Reduktionsschritt wähle ich das Einsetzungsverfahren. Ich löse Gleichung (4) nach  $x_3$  auf.

$$\begin{array}{rcl}
 3x_1 + 2x_2 + x_3 & = & 2 \\
 x_3 & = & 2 - 3x_1 - 2x_2
 \end{array} \quad | - 3x_1 - 2x_2$$

Diesen Term setze ich in (2) und (3) ein. Gleichung (1) bleibt, wie sie ist, da hier  $x_3$  nicht vorkommt.

$$\begin{array}{rcl}
 (1) & & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\
 (2) & 3x_1 - 2 \cdot (2 - 3x_1 - 2x_2) - 4x_4 & = 3 \\
 (3) & 4x_2 - (2 - 3x_1 - 2x_2) + 4x_4 & = -3 \\
 \hline
 (1) & & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\
 (2) & 3x_1 - 4 + 6x_1 + 4x_2 - 4x_4 & = 3 \\
 (3) & 4x_2 - 2 + 3x_1 + 2x_2 + 4x_4 & = -3 \\
 \hline
 (1) & & 2x_1 + 3x_2 + 3x_4 = 3 \\
 (2) & & 9x_1 + 4x_2 - 4x_4 = 7 \\
 (3) & & 3x_1 + 6x_2 + 4x_4 = -1
 \end{array}$$

Da keine Besonderheiten vorliegen verwende ich für die weitere Lösung die Cramersche Regel. Beginnen wir mit  $x_1$ .

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{\begin{vmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 7 & 4 & -4 \\ -1 & 6 & 4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 9 & 4 & -4 \\ 3 & 6 & 4 \end{vmatrix}} \\
 &= \frac{48 + 12 + 126 + 12 + 72 - 84}{32 - 36 + 162 - 36 + 48 - 108} \\
 &= \frac{62}{62} \\
 x_1 &= 3
 \end{aligned}$$

Es geht weiter mit  $x_2$ .

$$\begin{aligned}x_2 &= \frac{\begin{vmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 9 & 7 & -4 \\ 3 & -1 & 4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 9 & 4 & -4 \\ 3 & 6 & 4 \end{vmatrix}} \\ &= \frac{56 - 36 - 27 - 63 - 8 - 108}{62} \\ &= \frac{-186}{62} \\ x_2 &= -3\end{aligned}$$

Die Variable  $x_4$  kann am einfachsten durch Einsetzen der Werte für  $x_1$  und  $x_2$  in eine der drei zuletzt verwendeten Gleichungen bestimmt werden. Ich verwende dazu Gleichung (1).

$$\begin{aligned}2x_1 + 3x_2 + 3x_4 &= 3 \\ 2 \cdot 3 + 3 \cdot (-3) + 3x_4 &= 3 \\ 6 - 9 + 3x_4 &= 3 \quad | +3 \\ 3x_4 &= 6 \quad | :3 \\ x_4 &= 2\end{aligned}$$

Da wir mit dem Einsetzungsverfahren begonnen haben, können wir alle bekannten Werte in die umgestellte Gleichung (4) einsetzen, um  $x_3$  zu bestimmen.

$$x_3 = 2 - 3x_1 - 2x_2 = 2 - 3 \cdot 3 - 2 \cdot (-3) = 2 - 9 + 6 = -1$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(3 | -3 | -1 | 2)\}$

## 5.28 Aufgabe 28

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 5x_1 + 3x_2 - 4x_3 + x_4 = 3 \\
 (2) \quad & x_1 - 2x_2 - 2x_3 + 3x_4 = 3 \\
 (3) \quad & 2x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 8 \\
 (4) \quad & 6x_1 - 5x_2 - 8x_3 + 2x_4 = 20
 \end{aligned}$$

In Gleichung (3) kommt die Variable  $x_4$  nicht vor. Deshalb stelle ich diese Gleichung nach  $x_1$  um und verwende das Einsetzungsverfahren.

$$\begin{array}{rcl}
 2x_1 - 2x_2 + 2x_3 & = & 8 \qquad \qquad \qquad | + 2x_2 - 2x_3 \\
 2x_1 & = & 8 + 2x_2 - 2x_3 \quad | : 2 \\
 x_1 & = & 4 + x_2 - x_3
 \end{array}$$

Das Ergebnis wird in (1), (2) und (4) eingesetzt.

$$\begin{array}{rcl}
 (1) \quad & 5 \cdot (4 + x_2 - x_3) + 3x_2 - 4x_3 + x_4 & = & 3 \\
 (2) \quad & (4 + x_2 - x_3) - 2x_2 - 2x_3 + 3x_4 & = & 3 \\
 (4) \quad & 6 \cdot (4 + x_2 - x_3) - 5x_2 - 8x_3 + 2x_4 & = & 20 \\
 \hline
 (1) \quad & 20 + 5x_2 - 5x_3 + 3x_2 - 4x_3 + x_4 & = & 3 \\
 (2) \quad & 4 + x_2 - x_3 - 2x_2 - 2x_3 + 3x_4 & = & 3 \\
 (4) \quad & 24 + 6x_2 - 6x_3 - 5x_2 - 8x_3 + 2x_4 & = & 20 \\
 \hline
 (1) \quad & & 8x_2 - 9x_3 + x_4 & = & -17 \\
 (2) \quad & & -x_2 - 3x_3 + 3x_4 & = & -1 \\
 (4) \quad & & x_2 - 14x_3 + 2x_4 & = & -4
 \end{array}$$

Dieses Gleichungssystem kann nun gut mit der Cramerschen Regel gelöst werden.

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \frac{\begin{vmatrix} -17 & -9 & 1 \\ -1 & -3 & 3 \\ -4 & -14 & 2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 8 & -9 & 1 \\ -1 & -3 & 3 \\ 1 & -14 & 2 \end{vmatrix}} \\
 &= \frac{102 + 108 + 14 - 12 - 714 - 18}{-48 - 27 + 14 + 3 + 336 - 18} \\
 &= \frac{260}{-520} \\
 x_2 &= -2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= \frac{\begin{vmatrix} 8 & -17 & 1 \\ -1 & -1 & 3 \\ 1 & -4 & 2 \end{vmatrix}}{260} \\
 &= \frac{-16 - 51 + 4 + 1 + 96 - 34}{260} \\
 &= \frac{0}{260} \\
 x_3 &= 0
 \end{aligned}$$



Die nächste Variable kann z.B. durch Einsetzen der bekannten Werte in die umgestellte Gleichung (2) bestimmt werden.

$$\begin{aligned} -x_2 - 3x_3 + 3x_4 &= -1 \\ -(-2) - 3 \cdot 0 + 3x_4 &= -1 \quad | -2 \\ 3x_4 &= -3 \quad | :3 \\ x_4 &= -1 \end{aligned}$$

Fehlt nur noch  $x_1$ . Zur Berechnung wird die umgestellte Gleichung (3) verwendet.

$$x_1 = 4 + x_2 - x_3 = 4 + (-2) - 0 = 2$$

Die Lösungsmenge lautet:  $L = \{(2 | -2 | 0 | -1)\}$