

Aufgaben zum Aufstellen von Ebenen

1.0 Geben Sie eine Parameterdarstellung und die Normalenform einer Ebene E an, die durch die Punkte A, B und C festgelegt ist.

1.1 $A(0/1/2), B(1/0/2), C(3/6/0)$

1.2 $A(4/3/1), B(5/1/4), C(6/3/2)$

2.0 Stellen Sie eine Parameterdarstellung der Ebene E auf, die durch eine Gerade g und einen Punkt P festgelegt ist.

2.1 $g: \vec{x} = \begin{pmatrix} 7 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 3 \\ -1 \\ 3 \end{pmatrix}$ und $P(1/4/-2)$

2.2 $g: \vec{x} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ -3 \end{pmatrix}$ und $P(0/-4/6)$

3.0 Stellen Sie eine Parameterdarstellung der Ebene E auf, die durch zwei Geraden g und h festgelegt ist.

Hinweis: Prüfen Sie zuerst, ob die Geraden parallel sind oder sich schneiden.

3.1 $g: \vec{x} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 4 \end{pmatrix}$ und $h: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 4 \end{pmatrix}$

3.2 $g: \vec{x} = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} -2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix}$ und $h: \vec{x} = \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \\ 2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$

4.0 Überprüfen Sie, ob durch folgende Parametergleichungen eine Ebene im Raum beschrieben wird.

4.1 $\vec{x} = k \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

4.2 $\vec{x} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$

4.3 $\vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} + r \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

5 Bestimmen Sie eine Parametergleichung der Ebene E, die zu den Geraden g_1 und g_2 parallel ist und durch den Punkt $P(-1/0/2)$ verläuft.

$$g_1: \vec{x} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 6 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad g_2: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 6 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -4 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix}$$

6.0 Ermitteln Sie eine Gleichung der Ebene E, die durch den Punkt $P(3/4/-2)$ geht und

6.1 parallel zur x_1 - x_2 -Koordinatenebene verläuft.

6.2 parallel zur x_2 - x_3 -Koordinatenebene verläuft.

7 Gegeben ist die Ebene E: $2x_1 - 6x_2 + 12x_3 - 2 = 0$. Bestimmen Sie p_1 so, dass $P(p_1/0/1)$ in der Ebene E liegt und prüfen Sie, ob $R(-2/-1/-2)$ und $Q(-11/2/3)$ in der Ebene liegen.

8 Betrachtet wird ein Dreieck mit den Eckpunkten $A(2/-4/0)$, $B(-3/1/4)$ und $C(-1/2/0)$. Ermitteln Sie, ob der Ursprung im Inneren dieses Dreiecks liegt.

9.0 Stellen Sie die Normalenform einer Ebene E auf, die durch den Punkt $A(-4/1/3)$ geht und

9.1 senkrecht zur x_2 -Achse verläuft

9.2 parallel zur Ebene W: $2x_1 - x_2 - x_3 = 8$ verläuft

10 Gegeben sind mit $t \in \mathbb{R}$ $g_t: \vec{x} = \begin{pmatrix} -2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} -3t \\ 1 \\ 2t \end{pmatrix}$.

Zeigen Sie, dass alle Geraden der Schar g in einer Ebene liegen und geben Sie eine Normalenform dieser Ebene E an.

11.0 In einem kartesischen Koordinatensystem des \mathbb{R}^3 sind in Abhängigkeit der Variablen

$$p, q \in \mathbb{R} \setminus \{0\} \text{ die Vektoren } \vec{a} = \begin{pmatrix} p-q \\ -p \\ q \end{pmatrix} \text{ und } \vec{b} = \begin{pmatrix} p-q \\ p \\ 2p-q \end{pmatrix} \text{ gegeben. (Abitur 2011 BI)}$$

11.1 Zeigen Sie, dass unabhängig von der Wahl der Werte für p und q die Vektoren \vec{a} und \vec{b} senkrecht aufeinander stehen.

Setzen Sie nun $\underline{p} = \underline{2}$ und $\underline{q} = \underline{1}$. Daraus ergeben sich mit dem Koordinatenursprung O die Ortsvektoren $\vec{a} = \underline{OA}$ und $\vec{b} = \underline{OB}$ für die Punkte A und B.

11.2 Bestimmen Sie eine Normalengleichung der Ebene E, in der die Punkte A und B sowie der Koordinatenursprung O liegen. Geben Sie die Ebene E auch in Koordinatenform an.

12.0 In einem kartesischen Koordinatensystem des \mathbb{R}^3 sind die Punkte $P(1;0;0)$, $Q(0;1;0)$, $R(0;0;1)$ und $S_k(k;k;k)$ mit $k \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ gegeben. (Abitur 2011 BII)

12.1 Berechnen Sie die Werte des Parameters k , für die die gegebenen Punkte eine dreiseitige Pyramide aufspannen.

12.2 Bestimmen Sie, für welche Werte des Parameters k die Pyramide ein reguläres Tetraeder, also eine gleichseitige Pyramide ist.

13.0 In einem kartesischen Koordinatensystem des \mathbb{R}^3 sind die Punkte $A_k(0/k/2-2k)$ mit $k \in \mathbb{R}$ und $B(5/-3/0)$ gegeben. (Abitur 2012 BII)

13.1 Bestimmen Sie eine Gleichung der Gerade g , auf der alle Punkte A_k liegen.

(Mögliches Ergebnis: $\vec{g}: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix}, \lambda \in \mathbb{R}$)

13.2 Berechnen Sie den Parameterwert k so, dass der zugehörige Punkt A_k den kleinstmöglichen Abstand vom Koordinatenursprung hat.

13.3 Zeigen Sie, dass jeder Punkt A_k mit dem Punkt B eindeutig eine Gerade h_k festlegt, und stellen Sie eine Gleichung der Geraden h_k in Abhängigkeit von k auf.

13.4 Ermitteln Sie eine Gleichung in Normalenform für die Ebene E , die durch die Punkte A_0 , A_1 und B festgelegt ist.

(Mögliches Ergebnis: $E: 8x_1 + 10x_2 + 5x_3 - 10 = 0$)

13.5 Geben Sie eine Gleichung der Geraden r an, die in der Ebene E liegt, den Punkt B enthält und nicht zur Menge der Geraden h_k gehört. Begründen Sie Ihr Ergebnis mithilfe einer Skizze.

14.0 Geben Sie jeweils eine Ebene in Normalenform an, die die folgende besondere Lage hat.

14.1 Die Ebene enthält den Ursprung.

14.2 Die Ebene ist parallel zur x_2 - x_3 -Ebene.

14.3 Die Ebene enthält die x_3 -Achse.

14.4 Die Ebene ist die x_1 - x_3 -Ebene.

14.5 Die Ebene ist echt parallel zur x_1 -Achse.

14.6 Die Ebene enthält den Ursprung und ist parallel zur x_2 -Achse.

15.0 Im Baugebiet II steht eine alte Kirche, deren Dach im Rahmen der Sanierung abgedeckt wurde.

Leider brannte kurz darauf der Dachstuhl aufgrund eines Blitzeinschlags ab.

Mit den Aufzeichnungen im Kirchenarchiv konnte nicht ermittelt werden, wie hoch das pyramidenförmige Dach mit quadratischer Grundfläche ABCD mit den Eckpunkten $A(918|418|60)$, $B(922|418|60)$ und $C(922|422|60)$ einmal war.

(Abitur 2019 Nachtermin Teil 2)

15.1 Auf alten Fotos ist zu erkennen, dass sich die Spitze S der Pyramide senkrecht über dem Mittelpunkt der Grundfläche ABCD befindet. Außerdem scheint die Pyramide etwa um die Hälfte höher zu sein als die Kantenlänge der quadratischen Grundfläche.

Bestimmen Sie unter diesen Voraussetzungen die Ebenengleichung E , in der die Dachfläche ABS liegt, in Koordinatenform.

15.2 Aufgrund der abgedeckten Dachschindeln konnte ermittelt werden, dass die Dachseitenflächen einen Flächeninhalt von insgesamt 48 m^2 besaßen.

Berechnen Sie hiermit die Koordinaten der Spitze S . Runden Sie beim Ergebnis auf eine Nachkommastelle.

Lösungen

$$1.1 \text{ E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ -2 \end{pmatrix} \quad \text{E: } x_1 + x_2 + 4x_3 - 9 = 0$$

$$1.2 \text{ E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{E: } -2x_1 + 5x_2 + 4x_3 - 11 = 0$$

$$2.1 \text{ E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} 7 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 3 \\ -1 \\ 3 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -6 \\ 5 \\ -1 \end{pmatrix}$$

2.2 Der Punkt P liegt auf der Geraden g, also kann mit der Geraden g und P keine Ebene E festgelegt werden.

$$3.1 \text{ Geraden g und h sind parallel; E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 4 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -4 \\ 2 \\ -1 \end{pmatrix}$$

$$3.2 \text{ Geraden g und h schneiden sich in } S(-5/-5/4); \text{ E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \\ 2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} -2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

4.1 Die Richtungsvektoren sind linear unabhängig, also beschreibt die Gleichung eine Ebene durch den Nullpunkt.

4.2 Die Richtungsvektoren sind linear abhängig, also beschreibt die Gleichung eine Gerade, aber keine Ebene im Raum.

4.3 Die drei Richtungsvektoren sind linear abhängig, also beschreibt die Gleichung eine Ebene.

$$5 \text{ E: } \vec{x} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -4 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix}$$

6.1 Parallel zur x_1 - x_2 -Koordinatenebene heißt: $x_3 = p_3$; E: $x_3 = -2$;

6.2 E: $x_1 = 3$

7 P einsetzen in E und nach p_1 auflösen: $p_1 = -5$;

R \notin E; Q \in E;

8

Ebene durch die Punkte A, B und C aufstellen:

$$E: \vec{x} = \vec{a} + s \cdot \vec{AB} + t \cdot \vec{AC} \Rightarrow E: \vec{x} = \begin{pmatrix} 2 \\ -4 \\ 0 \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} -5 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -3 \\ 6 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ -4 \\ 0 \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} -5 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -3 \\ 6 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow s = 0 \text{ und } t = \frac{2}{3}$$

\Rightarrow der Ursprung liegt innerhalb des Dreiecks ABC

$$9.1 \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow E: \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 + 4 \\ x_2 - 1 \\ x_3 - 3 \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow E: x_2 - 1 = 0$$

9.2

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \Rightarrow E: \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 + 4 \\ x_2 - 1 \\ x_3 - 3 \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow E: 2(x_1 + 4) - 1(x_2 - 1) - 1(x_3 - 3) = 0$$

$$\Rightarrow E: 2x_1 - x_2 - x_3 + 12 = 0$$

10

$$g_t: \vec{x} = \begin{pmatrix} -2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda t \begin{pmatrix} -3 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} \Rightarrow E: \vec{x} = \begin{pmatrix} -2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -3 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Normalenform der Ebene E:

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -3 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix} \Rightarrow E: \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 + 2 \\ x_2 - 3 \\ x_3 - 1 \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow E: 2(x_1 + 2) + 3(x_3 - 1) = 0$$

$$\Rightarrow E: 2x_1 + 3x_3 + 1 = 0$$

11.1

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \begin{pmatrix} p - q \\ -p \\ q \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p - q \\ p \\ 2p - q \end{pmatrix} = (p - q)^2 - p^2 + q \cdot (2p - q) =$$

$$= p^2 - 2pq + q^2 - p^2 + 2pq - q^2 = 0$$

$\Rightarrow \vec{a}$ und \vec{b} stehen aufeinander senkrecht unabhängig von der Wahl von p und q .

11.2

$$\begin{aligned}
 \vec{x} &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \\
 \vec{n}_E &= \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -8 \\ -2 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \vec{n}_E^* = \begin{pmatrix} 4 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} \\
 \Rightarrow E: \begin{pmatrix} 4 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] &= 0 \Rightarrow E: 4x_1 + x_2 - 2x_3 = 0
 \end{aligned}$$

12.1

Die gegebenen Punkte spannen eine dreiseitige Pyramide auf, wenn z.B. P, Q und R eine Ebene aufspannen und S_k nicht in der Ebene liegt.

$$\begin{aligned}
 \vec{x} &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \mu \cdot \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 \vec{n}_E &= \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 \Rightarrow E: \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] &= 0 \Rightarrow E: x_1 + x_2 + x_3 - 1 = 0
 \end{aligned}$$

$$S_k \text{ einsetzen: } k+k+k-1=0 \Rightarrow k = \frac{1}{3}$$

\Rightarrow für $k \in \mathbb{R} \setminus \left\{0; \frac{1}{3}\right\}$ spannen die Punkte eine dreiseitige Pyramide auf.

12.2

$$\vec{PQ} = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{PR} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \vec{QR} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow |\vec{PQ}| = |\vec{PR}| = |\vec{QR}| = \sqrt{2}$$

$$\vec{PS}_k = \begin{pmatrix} k-1 \\ k \\ k \end{pmatrix} \quad \vec{QS}_k = \begin{pmatrix} k \\ k-1 \\ k \end{pmatrix} \quad \vec{RS}_k = \begin{pmatrix} k \\ k \\ k-1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow |\vec{PS}_k| = |\vec{QS}_k| = |\vec{RS}_k| = \sqrt{k^2 + k^2 + (k-1)^2} = \sqrt{k^2 + k^2 + k^2 - 2k + 1} = \sqrt{3k^2 - 2k + 1}$$

$$\Rightarrow \sqrt{3k^2 - 2k + 1} = \sqrt{2} \Rightarrow 3k^2 - 2k + 1 = 2 \Rightarrow 3k^2 - 2k - 1 = 0$$

$$\Rightarrow k_{1/2} = \frac{2 \pm \sqrt{4 - 4 \cdot 3 \cdot (-1)}}{6} = \frac{2 \pm \sqrt{16}}{6} = \frac{2 \pm 4}{6}$$

$$\Rightarrow k_1 = 1 \quad k_2 = -\frac{1}{3}$$

13.1 $g: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + k \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} \quad k \in \mathbb{R}$

13.2

$$\vec{OA}_k = \begin{pmatrix} 0 \\ k \\ 2-2k \end{pmatrix}$$

$$\vec{OA}_k \perp \vec{r}_g \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ k \\ 2-2k \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} = 0$$

$$\Rightarrow k + (2-2k) \cdot (-2) = 0 \Rightarrow k - 4 + 4k = 0 \Rightarrow k = 0,8$$

13.3

$$\begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + k \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{array}{l} 5 = 0(f) \\ -3 = k \\ 0 = 2 - 2k \end{array} \Rightarrow B \notin g$$

$\Rightarrow A_k$ und B legen eine Gerade h_k fest

$$\Rightarrow h_k: \vec{x} = \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} + s \cdot \left[\begin{pmatrix} 0 \\ k \\ 2-2k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} \right] \Rightarrow h_k: \vec{x} = \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} -5 \\ k+3 \\ 2-2k \end{pmatrix} \quad s \in \mathbb{R}$$

13.4

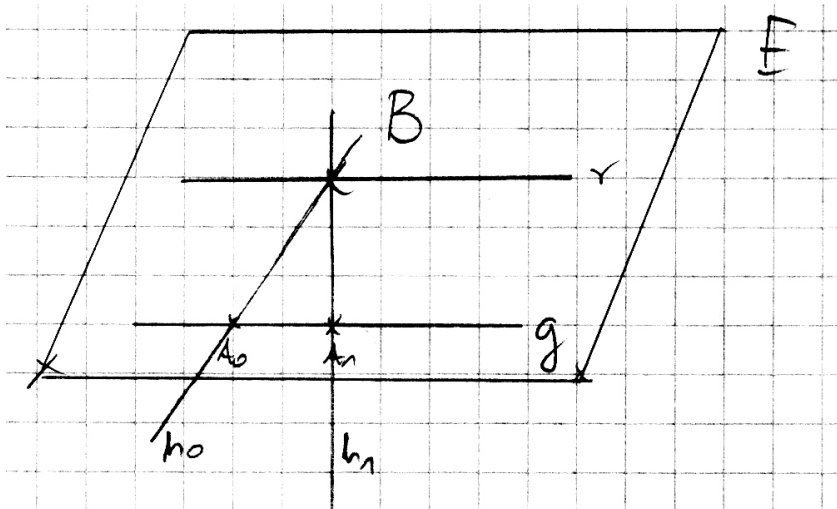
$$A_0(0/0/2) \quad A_1(0/1/0) \quad B(5/-3/0)$$

$$\vec{E}: \vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ -2 \end{pmatrix} \quad s, t \in \mathbb{R}$$

$$\vec{n}_E = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -8 \\ -10 \\ -5 \end{pmatrix}$$

$$E: \begin{pmatrix} -8 \\ -10 \\ -5 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow E: -8x_1 - 10x_2 - 5x_3 + 10 = 0$$

13.5



$$\vec{r}: \vec{x} = \begin{pmatrix} 5 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix} \quad t \in \mathbb{R}$$

14.1 $E: x_1 - 2x_2 + 3x_3 = 0$

14.2 $E: x_1 - 2 = 0$

14.3 $E: x_1 - 2x_2 = 0$

14.4 $E: x_2 = 0$

14.5 $E: 2x_2 - 3x_3 + 5 = 0$

14.6 $E: 3x_1 + x_3 = 0$

15.1

$$\vec{AB} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow |\vec{AB}| = 4 \Rightarrow \text{Die Pyramide ist etwa 6 m hoch}$$

$$\vec{m} = \frac{1}{2} \cdot (\vec{a} + \vec{c}) = \begin{pmatrix} 920 \\ 420 \\ 60 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{s} = \begin{pmatrix} 920 \\ 420 \\ 66 \end{pmatrix}$$

$$E: \vec{x} = \begin{pmatrix} 918 \\ 418 \\ 60 \end{pmatrix} + s \cdot \vec{AS} + t \cdot \vec{AB} \quad E: \vec{x} = \begin{pmatrix} 918 \\ 418 \\ 60 \end{pmatrix} + s \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 6 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{n}_E = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 6 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 24 \\ -8 \end{pmatrix}$$

$$E: \begin{pmatrix} 0 \\ 24 \\ -8 \end{pmatrix} \circ \left[\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 918 \\ 418 \\ 60 \end{pmatrix} \right] = 0 \Rightarrow E: 24x_2 - 8x_3 - 9552 = 0$$

15.2

$$A_{\text{Dachseitenfläche}} = \frac{1}{2} \cdot |\vec{AB} \times \vec{AS}| \quad \text{mit } \vec{AS} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ x \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -4x \\ 8 \end{pmatrix} \quad \left| \begin{pmatrix} 0 \\ -4x \\ 8 \end{pmatrix} \right| = \sqrt{16x^2 + 64}$$

$$\Rightarrow 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{16x^2 + 64} = 48 \Rightarrow \sqrt{16x^2 + 64} = 24 \Rightarrow 16x^2 + 64 = 576$$

$$\Rightarrow x^2 = 32 \Rightarrow (x_1 = -\sqrt{32}) \quad x_2 = \sqrt{32} \approx 5,7$$

$$\Rightarrow \vec{AS} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 5,7 \end{pmatrix} \quad \vec{s} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 5,7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 918 \\ 418 \\ 60 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 920 \\ 420 \\ 65,7 \end{pmatrix} \Rightarrow S(920 | 420 | 65,7)$$