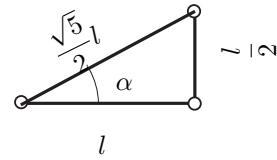


# Tutorium

## Aufgabe 55



(a)

Die notwendige Bedingung für die statische Bestimmtheit eines Fachwerks lautet:

$$2k = s + r \quad (1)$$

wobei  $k$  die Anzahl der Knoten,  $s$  die Anzahl der Stäbe und  $r$  die Anzahl der Auflagerreaktionen ist. Für das gegebene Problem findet man also:

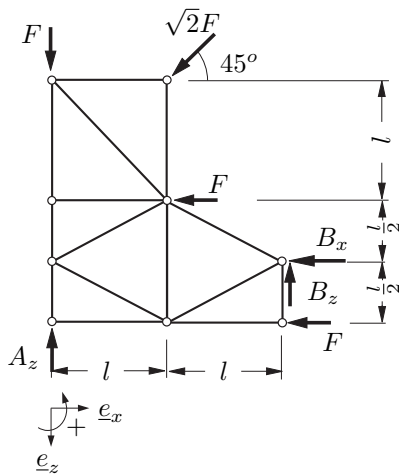
$$2 \cdot 9 = 15 + 3 \quad (2)$$

(b) Die Stäbe 4, 7 und 15 sind offensichtlich Nullstäbe:

- Nullstab 4, weil beim Lager A keine Kraft in  $x$ -Richtung
- Nullstab 7, wegen  $\Sigma F_x = 0$  (Knoten links)
- Nullstab 15, wegen  $\Sigma F_z = 0$  (Knoten unten)

(c)

Freischnittsskizze des Gesamtsystems:



Gleichgewichtsbedingung in  $x$ -Richtung:

$$\sum_i F_{i,x} = -B_x - F - F - F \stackrel{!}{=} 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow B_x = -3F \quad (4)$$

Momentengleichgewicht um A:

$$\sum_j M_j^{(A)} = B_z 2l + B_x \frac{1}{2}l + Fl + F2l - Fl \stackrel{!}{=} 0 \quad (5)$$

$$\Rightarrow B_z = -\frac{1}{4}B_x - F \quad (6)$$

$$\Rightarrow B_z = -\frac{1}{4}F \quad (7)$$

Gleichgewichtsbedingung in  $z$ -Richtung:

$$\sum_i F_{i,z} = -A_z - B_z + F + F \stackrel{!}{=} 0 \quad (8)$$

$$\Rightarrow A_z = 2F - B_z \quad (9)$$

$$\Rightarrow A_z = \frac{9}{4}F \quad (10)$$

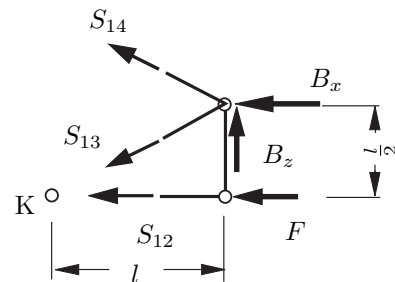
Gemäß der Skizze können die Winkelbeziehungen für  $\alpha$  wie folgt bestimmt werden:

$$\sin(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (11)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{5}} \quad (12)$$

(d)

Die Stabkräfte  $S_{12}$ ,  $S_{13}$  und  $S_{14}$  lassen sich mit Hilfe des RITTERSchen Schnitt leicht bestimmen.



Da auch dieses freigeschnittene Teilsystem in Ruhe sein soll, müssen hier drei Gleichgewichtsbedingungen formulieren lassen<sup>1</sup>.

Momentengleichgewicht um B:

$$\Sigma M^{(B)} = -F \frac{l}{2} - S_{12} \frac{l}{2} \stackrel{!}{=} 0 \quad (13)$$

$$\Rightarrow S_{12} = -F \quad (14)$$

Momentengleichgewicht um K:

$$\sum_j M_j^{(K)} = S_{14} \left( \cos(\alpha) \frac{l}{2} + \sin(\alpha)l \right) \dots \quad (15)$$

$$+ B_z l + B_x \frac{l}{2} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow S_{14} = \frac{-B_z - B_x \frac{1}{2}}{\frac{1}{2} \cos(\alpha) + \sin(\alpha)} \quad (16)$$

$$\Rightarrow S_{14} = \frac{7}{8} \sqrt{5} F \quad (17)$$

Gleichgewichtsbedingung in  $z$ -Richtung:

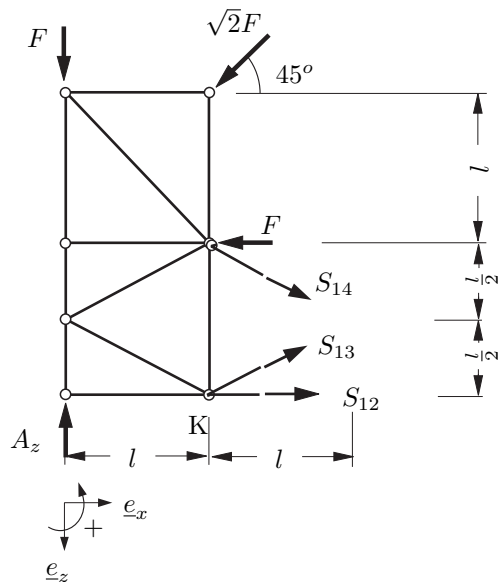
$$\sum_i F_{i,z} = -B_z + S_{13} \sin(\alpha) - S_{14} \sin(\alpha) \stackrel{!}{=} 0 \quad (18)$$

$$\Rightarrow S_{13} = \frac{B_z}{\sin(\alpha)} + S_{14} \quad (19)$$

$$\Rightarrow S_{13} = \frac{5}{8} \sqrt{5} F \quad (20)$$

Alternativ können die Gleichgewichtsbedingungen auch am linken Teilkörper angesetzt werden.

<sup>1</sup>Laut Definition des RITTERSchen Schnitts bilden die drei gesuchten Stabkräfte keine zentrale Kräftegruppe.



Momentengleichgewicht um B:

$$\sum_j M_j^{(B)} = F \frac{l}{2} + F \frac{3}{2}l + Fl \dots \quad (21)$$

$$+ F2l - A_z 2l + S_{12} \frac{l}{2} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow S_{12} = -10F + 4A_z \quad (22)$$

$$\Rightarrow S_{12} = -F \quad (23)$$

Momentengleichgewicht um K:

$$\sum_j M_j^{(K)} = -S_{14} \cos(\alpha)l + Fl \dots \quad (24)$$

$$+ F2l + Fl - A_z l \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow S_{14} = \frac{4F - A_z}{\cos(\alpha)} \quad (25)$$

$$\Rightarrow S_{14} = \frac{7}{8}\sqrt{5}F \quad (26)$$

Gleichgewichtsbedingung in z-Richtung:

$$\sum_i F_{i,z} = -A_z + F + F + S_{14} \sin(\alpha) \dots \quad (27)$$

$$- S_{13} \sin(\alpha) \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow S_{13} = \frac{-A_z + 2F + S_{14} \sin(\alpha)}{\sin(\alpha)} \quad (28)$$

$$\Rightarrow S_{13} = \frac{5}{8}\sqrt{5}F \quad (29)$$

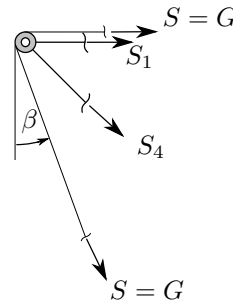
**Aufgabe 59**

(a) Notwendige Bedingung:

$$2k = s + r \quad (30)$$

Hier:  $k = 12, \quad r = 3, \quad s = 21 \quad (31)$

$$2 \cdot 12 \stackrel{?}{=} 21 + 3 \quad \checkmark \text{erfüllt.} \quad (32)$$



(b) Freischnitt des Gesamtsystem:

GGB:

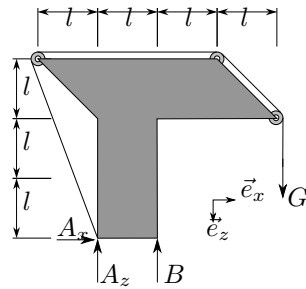
$$\sum F_x = 0 \quad (33)$$

$$\Rightarrow A_x = 0 \quad (34)$$

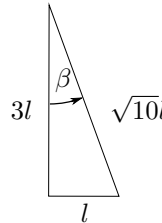
$$\sum M^{(A)} = 0 \quad (35)$$

$$\Rightarrow B_z l - G3l = 0 \quad (36)$$

$$\Rightarrow B_z = 3G \quad (37)$$



Geometrie:



$$\sin \beta = \frac{1}{\sqrt{10}} \quad (46)$$

$$\cos \beta = \frac{3}{\sqrt{10}} \quad (47)$$

GGB:

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow S_4 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + S \cos \beta = 0 \quad (48)$$

$$\Rightarrow \underline{S_4} = -\sqrt{2}G \cos \beta = -\frac{3}{\sqrt{5}}G \quad (49)$$

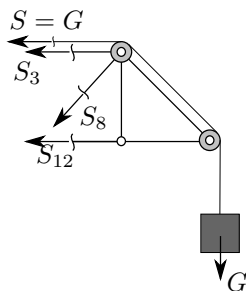
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow S_1 + G + \frac{1}{\sqrt{2}}S_4 + G \sin \beta = 0 \quad (50)$$

$$\Rightarrow S_1 = -G + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{3}{\sqrt{5}}G - G \frac{1}{\sqrt{10}} \quad (51)$$

$$\Rightarrow \underline{S_1} = G \left( \frac{2}{\sqrt{10}} - 1 \right) \quad (52)$$

(c) Ritterschnittverfahren:

Freischnitt:



GGB:

Momentengleichgewicht um den Schnittpunkt ( $S_8; S_{12}$ ):

$$\sum M^{(I)} = -G2l + S_3l + Sl = 0 \quad (40)$$

$$\Rightarrow \underline{S_3} = G \quad (\text{Zug}) \quad (41)$$

Momentengleichgewicht um den Schnittpunkt ( $S_3; S_8$ ):

$$\sum M^{(II)} = -Gl - S_{12}l = 0 \quad (42)$$

$$\Rightarrow \underline{S_{12}} = -G \quad (\text{Druck}) \quad (43)$$

Gleichgewicht der Kräfte in z-Richtung:

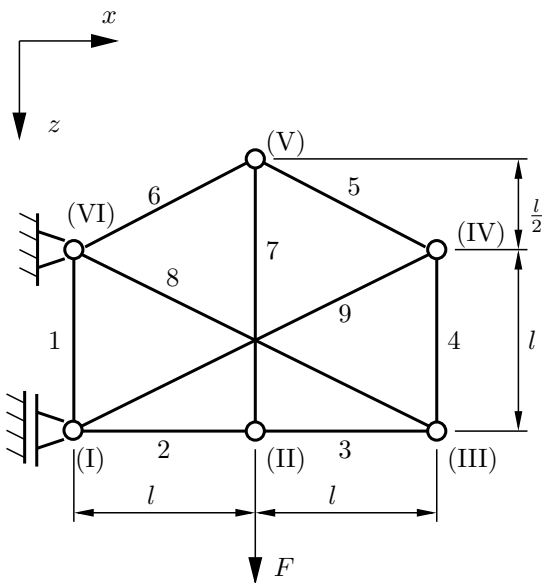
$$\sum F_z = 0 \Rightarrow G + S_8 \frac{1}{\sqrt{2}} = 0 \quad (44)$$

$$\Rightarrow \underline{S_8} = -\sqrt{2}G \quad (\text{Druck}) \quad (45)$$

(d) Modifizierter Knotenschnitt:

# Hausaufgaben

## Aufgabe 53



Fachwerk statisch bestimmt?

Anzahl der Stäbe:  $s = 9$   
 Anzahl der Knoten:  $k = 6$

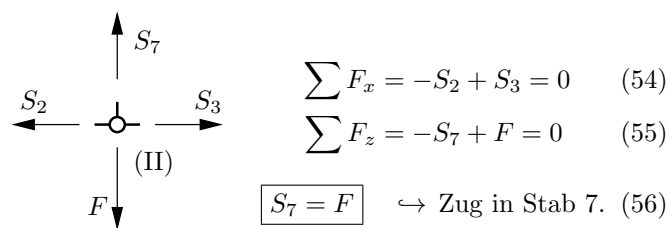
$$s \stackrel{?}{=} 2k - 3 \Rightarrow 9 = 2 \cdot 6 - 3 \quad (53)$$

Die notwendige Bedingung für statische Bestimmtheit ist erfüllt.

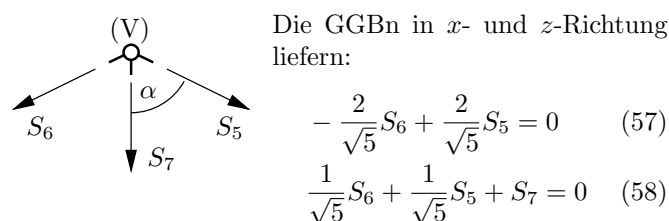
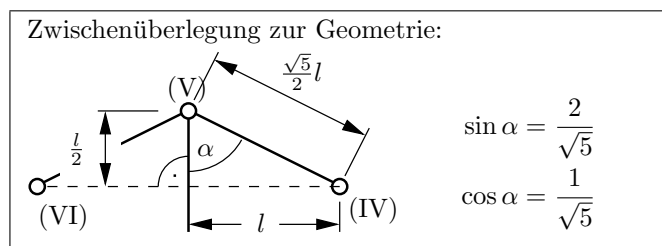
Alle Knoten liegen fest, das Fachwerk ist statisch bestimmt.

Stabkräfte mit dem Knotenschnittverfahren:

Knoten II:



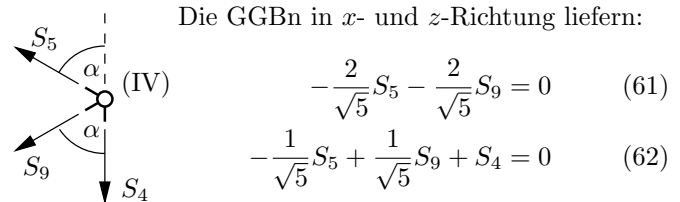
Knoten V:



$$S_5 = -\frac{\sqrt{5}}{2}F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 5.} \quad (59)$$

$$S_6 = -\frac{\sqrt{5}}{2}F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 6.} \quad (60)$$

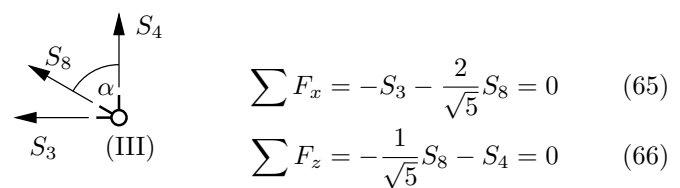
Knoten IV:



$$S_9 = -S_5 = \frac{\sqrt{5}}{2}F \quad \hookrightarrow \text{Zug in Stab 9.} \quad (63)$$

$$S_4 = -2 \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2}F = -F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 4.} \quad (64)$$

Knoten III:



$$S_8 = -\sqrt{5}S_4 = \sqrt{5}F \quad \hookrightarrow \text{Zug in Stab 8.} \quad (67)$$

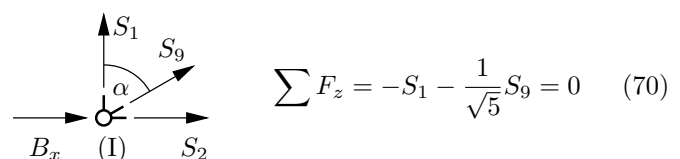
$$S_3 = -\frac{2}{\sqrt{5}}\sqrt{5}F = -2F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 3.} \quad (68)$$

Knoten II:

Aus Kräftegleichgewicht in  $x$ -Richtung:

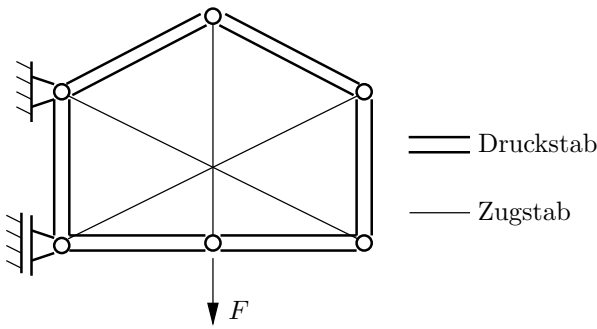
$$S_2 = S_3 = -2F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 2.} \quad (69)$$

Knoten I:



$$S_1 = -\frac{1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2}F = -\frac{1}{2}F \quad \hookrightarrow \text{Druck in Stab 1.} \quad (71)$$

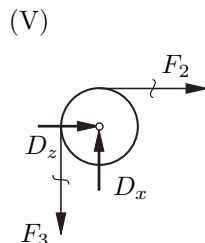
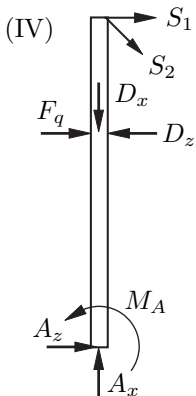
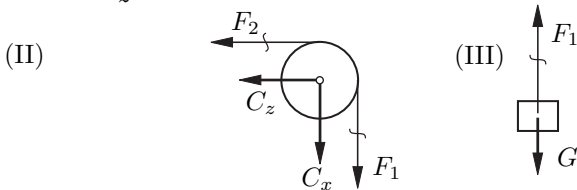
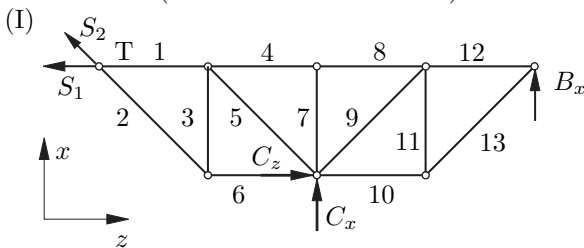
Übersicht über das ganze Fachwerk:



**Aufgabe 54**

Ein System von starren Körpern befindet sich im Gleichgewicht, wenn jeder einzelne starre Körper für sich im Gleichgewicht ist.

Freimachsskizzen (in voller Ausführlichkeit):



(a) Nullstäbe: Stab 7 ist Nullstab!

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow S_7 = 0 \quad (72)$$

(b) Auflagerreaktionen:

Resultierende der Streckenlast  $F_q$

$$F_q = \frac{q_0 \cdot 3a}{2} \quad (73)$$

Teilsystem III

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_1 = G \quad (74)$$

Teilsystem II

$$\sum M^{(C)} = 0 \Rightarrow F_2 = F_1 = G \quad (75)$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow C_x = -G \quad (76)$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow C_z = -G \quad (77)$$

Teilsystem V

$$\sum M^{(D)} = 0 \Rightarrow F_3 = F_2 = G \quad (78)$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow D_x = F_3 = G \quad (79)$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow D_z = -F_2 = -G \quad (80)$$

Teilsystem IV ( $\sum F_x = 0, \sum F_z = 0, \sum M^{(A)} = 0$ )

$$0 = A_x - D_x - \frac{1}{2}\sqrt{2}S_2 \quad (81)$$

$$0 = F_q - D_z + S_1 + A_z + \frac{1}{2}\sqrt{2}S_2 \quad (82)$$

$$0 = M_A + (D_z - F_q)2a - S_1 3a - S_2 \frac{\sqrt{2}}{2} 3a \quad (83)$$

Teilsystem I ( $\sum F_x = 0, \sum F_z = 0, \sum M^{(T)} = 0$ )

$$0 = B_x + C_x + \frac{1}{2}\sqrt{2}S_2 \quad (84)$$

$$0 = C_z - S_1 - \frac{1}{2}\sqrt{2}S_2 \quad (85)$$

$$0 = B_x 4a + C_x 2a + C_z a \quad (86)$$

Auflösen nach den gesuchten Lagerreaktionen

$$4B_x = 3G \Rightarrow B_x = \frac{3}{4}G = \frac{3}{2}q_0 a \quad (87)$$

$$\text{aus (84) mit (87): } S_2 = -\sqrt{2}\left(\frac{3}{4} - 1\right)G = \frac{\sqrt{2}}{4}G \quad (88)$$

$$(88) \text{ in (85)} \Rightarrow S_1 = -G - \frac{1}{4}G = -\frac{5}{4}G \quad (89)$$

$$(88) \text{ in (81)} \Rightarrow A_x = G + \frac{1}{2}\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{2}}{4}\right)G = \frac{5}{4}G = \frac{5}{2}q_0 a \quad (90)$$

(88) und (89) in (82)

$$\Rightarrow F_q + G - \frac{5}{4}G + \frac{1}{2}\sqrt{2}\frac{\sqrt{2}}{4}G = -A_z$$

$$A_z = -F_q = -\frac{3}{2}q_0 a \quad (91)$$

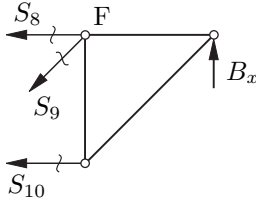
((88) und (18) in (83))

$$\Rightarrow M_A = \left(-\frac{5}{4}G + \frac{1}{4}G\right) 3a + \left(\frac{3}{2}q_0 a + G\right) 2a = q_0 a^2 \quad (92)$$

(c) Stabkräfte 8,9,10:

Ritterschnitt: Sollen gezielt nur einige Stabkräfte aus dem Stabwerk berechnet werden, kann man sich des Ritterschnitts bedienen. Dabei ist darauf zu achten, dass die

drei Stäbe, durch die geschnitten wird, nicht in einem gemeinsam Punkt zusammenlaufen.



$$\sum M^{(F)} = 0 \Rightarrow S_{10} \cdot a = B_x \cdot a \quad (93)$$

$$S_{10} = B_x = \frac{3}{2} q_0 a \quad (\text{Zug}) \quad (94)$$

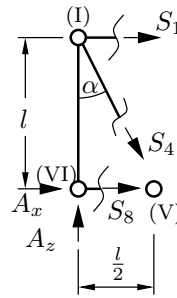
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow B_x - \frac{1}{2} \sqrt{2} S_9 = 0 \quad (95)$$

$$S_9 = \sqrt{2} B_x = \frac{3}{2} \sqrt{2} q_0 a \quad (\text{Zug}) \quad (96)$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow S_{10} + S_8 + \frac{1}{2} \sqrt{2} S_9 = 0 \quad (97)$$

$$S_8 = -\frac{3}{2} q_0 a - \frac{3}{2} q_0 a \quad (98)$$

$$S_8 = -3 q_0 a \quad (\text{Druck}) \quad (99)$$



$$\sum M^{(I)} = l S_8 = 0 \quad (108)$$

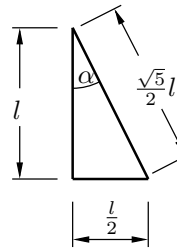
$$S_8 = 0 \quad (109)$$

$$\sum M^{(V)} = -\frac{l}{2} A_z - l S_1 = 0 \quad (110)$$

$$S_1 = F \quad (111)$$

$$\sum F_z = S_4 \cos \alpha - A_z = 0 \quad (112)$$

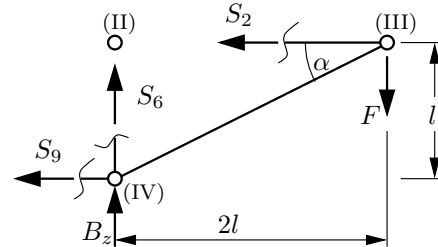
$$S_4 = -\sqrt{5} F \quad (113)$$



In Gleichung (113) ist folgende Betrachtung zur Geometrie eingegangen:

$$\cos \alpha = \frac{2}{\sqrt{5}} \quad (114)$$

Ritterschnitt durch die Stäbe 2, 6, 9:

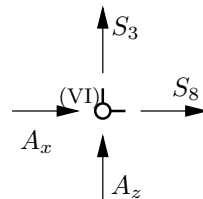


$$\sum M^{(II)} = -l S_9 - 2l F = 0 \Rightarrow S_9 = -2F \quad (115)$$

$$\sum M^{(IV)} = l S_2 - 2l F = 0 \Rightarrow S_2 = 2F \quad (116)$$

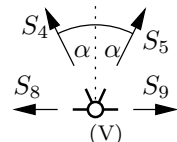
$$\sum F_z = F - B_z - S_6 = 0 \Rightarrow S_6 = -2F \quad (117)$$

Knotenschnitte für Stäbe 3, 5, 7:



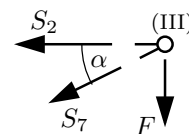
$$\sum F_z = -A_z - S_3 = 0 \quad (118)$$

$$S_3 = 2F \quad (119)$$



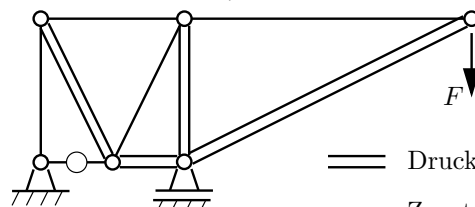
$$\sum F_z = -S_4 \cos \alpha - S_5 \cos \alpha = 0 \quad (120)$$

$$S_5 = \sqrt{5} F \quad (121)$$



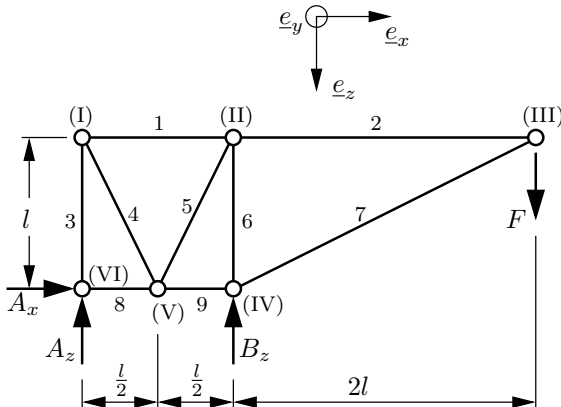
$$\sum F_x = -S_2 - S_7 \cos \alpha = 0 \quad (122)$$

$$S_7 = -\sqrt{5} F \quad (123)$$



- ==** Druckstab
- Zugstab
- Nullstab

**Aufgabe 58**



(a) Fachwerk statisch bestimmt?

$$s \stackrel{?}{=} 2k - f \quad (100)$$

$$9 \text{ Stäbe} \quad s = 9 \quad (101)$$

$$6 \text{ Knoten} \quad k = 6 \quad (102)$$

$$3 \text{ Lagerreaktionen} \quad f = 3 \quad (103)$$

$$9 = 2 \cdot 6 - 3 \quad \checkmark \quad (104)$$

... notwendige Bedingung ist erfüllt.

(b) Lagerreaktionen:

$$\sum F_x = A_x = 0 \quad A_x = 0 \quad (105)$$

$$\sum M^{(A)} = l B_z - 3l F = 0 \quad B_z = 3F \quad (106)$$

$$\sum F_z = -A_z - B_z + F = 0 \quad A_z = -2F \quad (107)$$

(c) Stabkräfte mit Ritterschnitt- und Knotenschnittverfahren.

Ritterschnitt durch die Stäbe 1, 4, 8: