

1. Stabsysteme

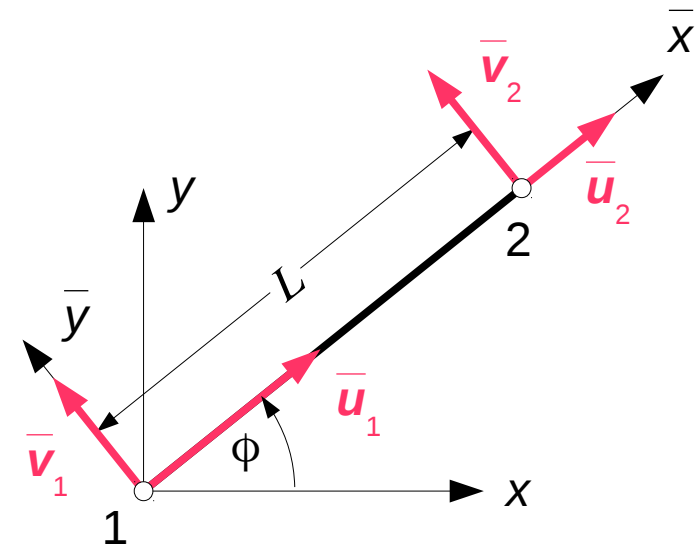
1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Längenänderung eines Stabs:
 - Die Verschiebungen der Stabknoten können in eine Komponente \bar{u} parallel zur Stabachse und eine Komponente \bar{v} senkrecht zur Stabachse aufgeteilt werden.
 - Für kleine Verschiebungen gilt:
 - Geometrische Überlegungen dürfen an der unverformten Struktur durchgeführt werden.



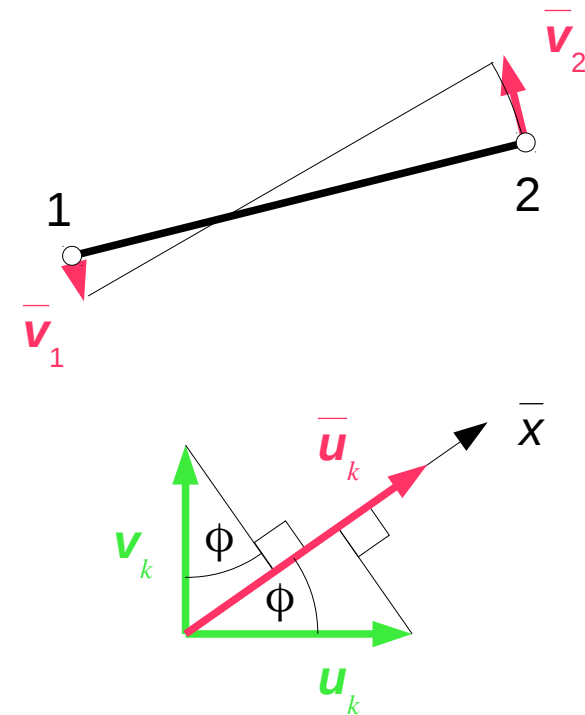
1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Die Verschiebungen senkrecht zur Stabachse beschreiben eine Drehung, bei der sich die Länge des Stabs nicht ändert.
- Nur die Verschiebungen parallel zur Stabachse führen zu einer Längenänderung des Stabs:

$$\Delta L = \bar{u}_2 - \bar{u}_1$$

- Für die Verschiebung parallel zur Stabachse gilt:

$$\bar{u}_k = u_k \cos(\phi) + v_k \sin(\phi), \quad k=1,2$$



1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Damit gilt für die Längenänderung:

$$\Delta L = (u_2 - u_1) \cos(\phi) + (v_2 - v_1) \sin(\phi)$$

- Die Längenänderung setzt sich zusammen aus
 - einer Längenänderung ΔL_N infolge der Normalkraft,
 - einer Längenänderung ΔL_T infolge einer Temperaturänderung,
 - einer Anfangsverlängerung ΔL_0 infolge einer Fertigungsunge-
nauigkeit:

$$\Delta L = \Delta L_N + \Delta L_T + \Delta L_0$$

- Für $\Delta L_0 > 0$ ist der Stab zu lang und für $\Delta L_0 < 0$ zu kurz.

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Stabgleichungen:
 - Für einen Stab mit konstanter Dehnsteifigkeit EA gilt:

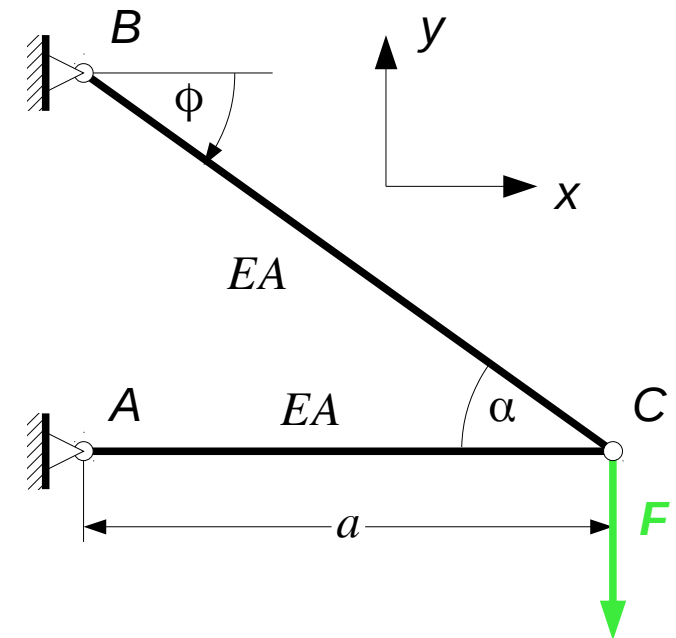
$$\Delta L = L \left(\frac{N}{EA} + \alpha_T \Delta T \right) + \Delta L_0$$

- Auflösen nach der Normalkraft ergibt:

$$N = EA \left(\frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta L_0}{L} - \alpha_T \Delta T \right)$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Beispiel:
 - Gegeben:
 - Länge a , Winkel α
 - Dehnsteifigkeit EA
 - Kraft F
 - Gesucht:
 - Verschiebungen u_C und v_C von Punkt C



1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

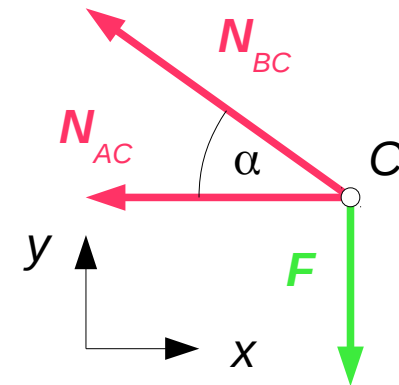
- Stabkräfte:

$$\sum F_y = 0 : N_{BC} \sin(\alpha) - F = 0$$

$$\rightarrow N_{BC} = \frac{F}{\sin(\alpha)}$$

$$\sum F_x = 0 : -N_{AC} - N_{BC} \cos(\alpha) = 0$$

$$\rightarrow N_{AC} = -N_{BC} \cos(\alpha) = -F \cot(\alpha)$$



- Längenänderungen:

$$\left. \begin{array}{l} u_A = u_B = 0 \\ v_A = v_B = 0 \\ \phi = -\alpha \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \Delta L_{AC} = u_C \\ \Delta L_{BC} = u_C \cos(\phi) + v_C \sin(\phi) \\ \quad = u_C \cos(\alpha) - v_C \sin(\alpha) \end{array}$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Stabgleichungen:
$$\Delta L_{AC} = \frac{N_{AC} a}{EA} = -\frac{F a}{EA} \cot(\alpha)$$

$$\Delta L_{BC} = \frac{N_{BC} a}{EA \cos(\alpha)} = \frac{F a}{EA \sin(\alpha) \cos(\alpha)}$$

- Für die Verschiebungen folgt:

$$u_C = \Delta L_{AC} = -\frac{F a}{EA} \cot(\alpha)$$

$$v_C = \frac{1}{\sin(\alpha)} (u_C \cos(\alpha) - \Delta L_{BC}) = -\frac{F a}{EA} \left(\cot^2(\alpha) + \frac{1}{\sin^2(\alpha) \cos(\alpha)} \right)$$

$$= -\frac{F a}{EA} \frac{\cos^3(\alpha) + 1}{\sin^2(\alpha) \cos(\alpha)}$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

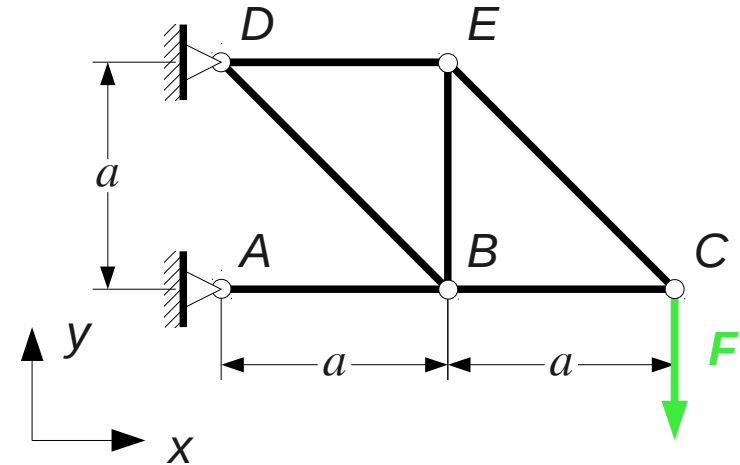
- Beispiel: Fachwerk

- Gegeben:

- Länge a
- Kraft F
- Temperaturänderung ΔT_{AB}
- Anfangsverlängerung ΔL_{0DE}
- Dehnsteifigkeit EA
- Wärmeausdehnungskoeffizient α_T

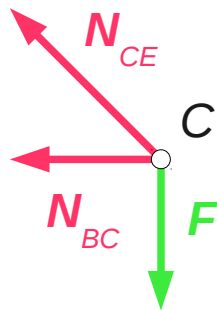
- Gesucht:

- Verschiebungen der Knoten B , C und E



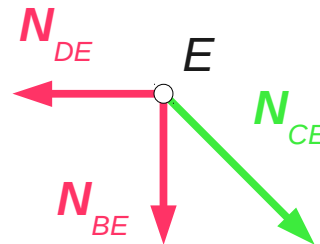
1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Stabkräfte (z. B. mit Knotenpunktverfahren):



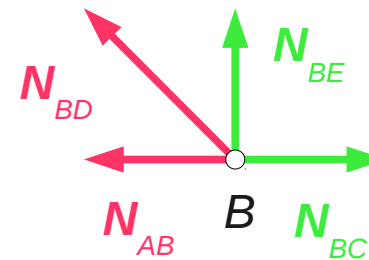
$$N_{CE} = \sqrt{2} F$$

$$N_{BC} = -F$$



$$N_{BE} = -\frac{N_{CE}}{\sqrt{2}} = -F$$

$$N_{DE} = \frac{N_{CE}}{\sqrt{2}} = F$$



$$N_{BD} = -\sqrt{2} N_{BE} = \sqrt{2} F$$

$$N_{AB} = N_{BC} - \frac{N_{BD}}{\sqrt{2}} = -2F$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Verschiebungen:

- Stab AB :
$$u_B = \Delta L_{AB} = a \left(\frac{N_{AB}}{EA} + \alpha_T \Delta T_{AB} \right) = a \left(\alpha_T \Delta T_{AB} - \frac{2F}{EA} \right)$$

- Stab DB :
$$\frac{\sqrt{2}}{2} (u_B - v_B) = \Delta L_{BD} = \sqrt{2} a \frac{N_{BD}}{EA} = \frac{2Fa}{EA}$$

($\phi = -45^\circ$)

$$\rightarrow v_B = u_B - \frac{2\sqrt{2}Fa}{EA} = a \left(\alpha_T \Delta T_{AB} - 2(1 + \sqrt{2}) \frac{F}{EA} \right)$$

- Stab DE :
$$u_E = \Delta L_{DE} = a \left(\frac{N_{DE}}{EA} + \frac{\Delta L_{0DE}}{a} \right) = a \left(\frac{F}{EA} + \frac{\Delta L_{0DE}}{a} \right)$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Stab BE :
 $(\phi = 90^\circ)$

$$v_E - v_B = \Delta L_{BE} = \frac{N_{BE} a}{E A} = -\frac{F a}{E A}$$

$$\rightarrow v_E = v_B - \frac{F a}{E A} = a \left(\alpha_T \Delta T_{AB} - (3 + 2\sqrt{2}) \frac{F}{E A} \right)$$
- Stab BC :

$$u_C - u_B = \Delta L_{BC} = \frac{N_{BC} a}{E A} = -\frac{F a}{E A}$$

$$\rightarrow u_C = u_B - \frac{F a}{E A} = a \left(\alpha_T \Delta T_{AB} - \frac{3F}{E A} \right)$$
- Stab EC :
 $(\phi = -45^\circ)$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} (u_C - u_E - v_C + v_E) = \Delta L_{CE} = \frac{\sqrt{2} a N_{CE}}{E A} = \frac{2 F a}{E A}$$

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

$$u_C - u_E + v_E - \frac{2\sqrt{2} F a}{E A} = v_C$$

$$\rightarrow v_C = a \left(2 \alpha_T \Delta T_{AB} - \frac{\Delta L_{0DE}}{a} - (7 + 4\sqrt{2}) \frac{F}{E A} \right)$$

- Bei ebenen Fachwerken gilt:
 - Es gibt zwei Verschiebungskomponenten pro Knoten und damit insgesamt $2K$ Verschiebungskomponenten.
 - Davon sind L Verschiebungskomponenten an den Lagern null.
 - Zur Ermittlung der $2K - L$ unbekanntem Verschiebungskomponenten stehen S Stabgleichungen zur Verfügung.

1.1 Statisch bestimmte Stabsysteme

- Bei statisch bestimmten Fachwerken gilt:

$$2K = L + S \rightarrow 2K - L = S$$

- Alle unbekanntes Verschiebungskomponenten können aus den Stabgleichungen bestimmt werden.
- Dabei empfiehlt es sich, nach Möglichkeit Stäbe zu betrachten, bei denen die Verschiebungen an einem Knoten bereits bekannt sind.

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

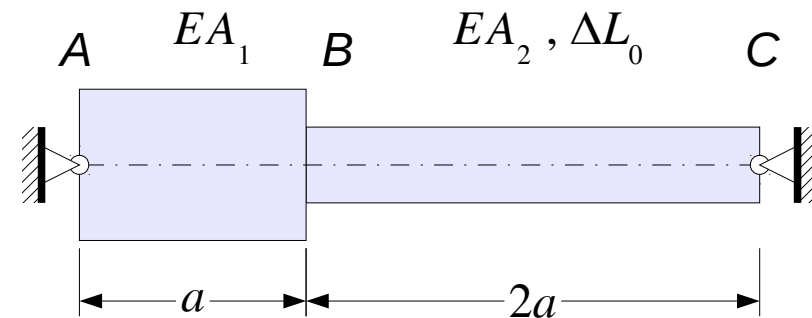
- Beispiel: Abgestufter Stab

- Gegeben:

- Abmessung a
- Dehnsteifigkeiten EA_1 und EA_2
- Anfangsverlängerung ΔL_0 von Stab BC

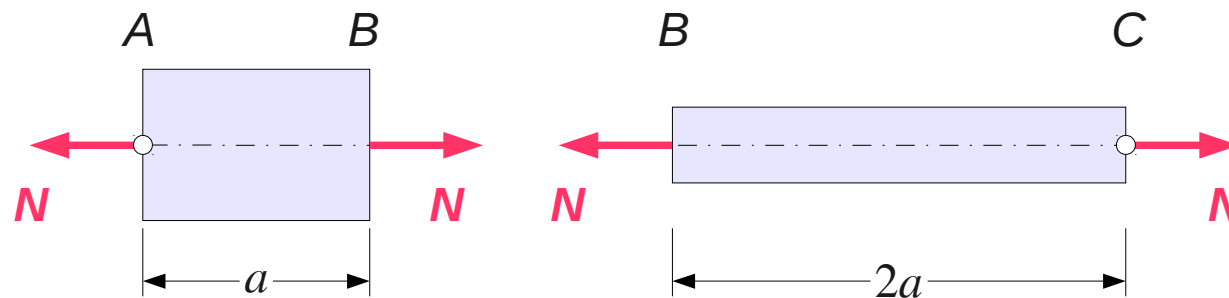
- Gesucht:

- Stabkräfte



1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Gleichgewicht: $N_{AB} = N_{BC} = N$



- Kinematik: $\Delta L = \Delta L_{AB} + \Delta L_{BC} = 0$

$$\frac{N_{AB} a}{E A_1} + \frac{2 a N_{BC}}{E A_2} + \Delta L_0 = 0 \rightarrow \frac{a}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{2}{A_2} \right) N = -\Delta L_0$$

$$\rightarrow N = -\frac{\Delta L_0}{a} \frac{E}{1/A_1 + 2/A_2} = -\frac{\Delta L_0}{a} \frac{E A_1 A_2}{A_2 + 2 A_1}$$

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Bei statisch unbestimmten Stabsystemen gilt:
 - Die Gleichgewichtsbedingungen allein reichen nicht aus, um die Stabkräfte zu ermitteln.
 - Zusätzlich müssen die kinematischen Beziehungen verwendet werden.
 - Fertigungsungenauigkeiten und Temperaturlasten führen zu Stabkräften.

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

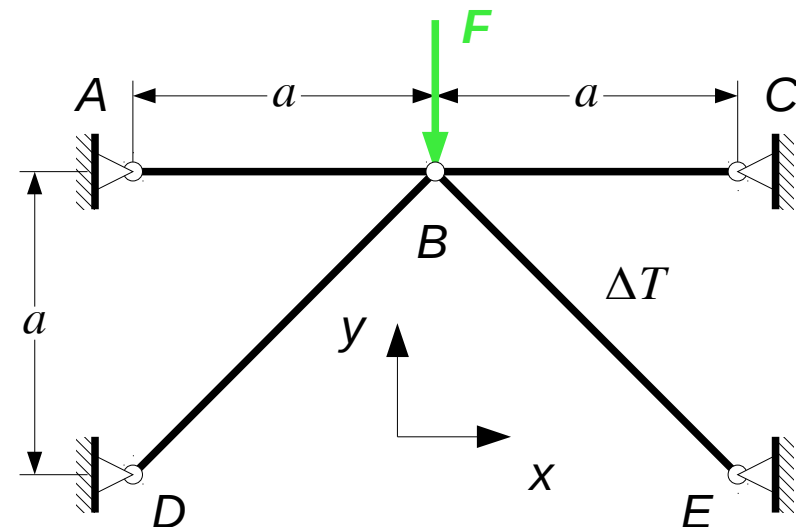
- Beispiel: Fachwerk

- Gegeben:

- Abmessung a
- Dehnsteifigkeit EA
- Wärmeausdehnungskoeffizient α_T
- Kraft F
- Temperaturlast ΔT im Stab BE

- Gesucht:

- Verschiebung von Punkt B
- Stabkräfte

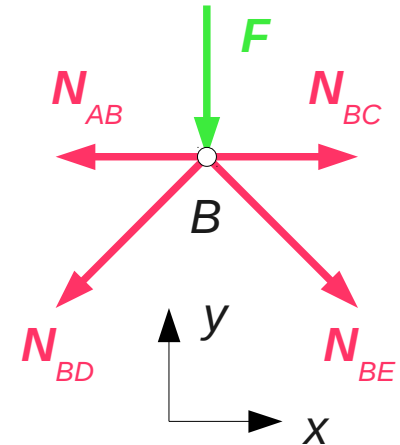


1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Gleichgewicht am Knoten B :

$$\sum F_x = 0 : N_{BC} - N_{AB} + \frac{\sqrt{2}}{2} (N_{BE} - N_{BD}) = 0$$

$$\sum F_y = 0 : -F - \frac{\sqrt{2}}{2} (N_{BD} + N_{BE}) = 0$$



- Stabgleichungen:

- Stab AB : $u_B = \Delta L_{AB} = \frac{a N_{AB}}{E A} \rightarrow N_{AB} = E A \frac{u_B}{a}$

- Stab BC : $-u_B = \Delta L_{BC} = \frac{a N_{BC}}{E A} \rightarrow N_{BC} = -E A \frac{u_B}{a}$

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Stab DB :
$$\frac{\sqrt{2}}{2} (u_B + v_B) = \Delta L_{BD} = \frac{\sqrt{2} a N_{BD}}{E A} \rightarrow N_{BD} = E A \frac{u_B + v_B}{2 a}$$

- Stab BE :
$$\frac{\sqrt{2}}{2} (-u_B + v_B) = \Delta L_{BE} = \sqrt{2} a \left(\frac{N_{BE}}{E A} + \alpha_T \Delta T \right)$$

$$\rightarrow N_{BE} = -E A \left(\frac{u_B - v_B}{2 a} + \alpha_T \Delta T \right)$$

- Einsetzen der Stabgleichungen in die Gleichgewichtsbedingungen:

$$\sum F_x = 0 : \frac{E A}{a} \left[-2 u_B - \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{u_B - v_B}{2} + a \alpha_T \Delta T + \frac{u_B + v_B}{2} \right) \right] = 0$$

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

$$\rightarrow -\frac{\sqrt{2}}{2} a \alpha_T \Delta T = \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) u_B \rightarrow u_B = -\frac{\sqrt{2} a \alpha_T \Delta T}{4 + \sqrt{2}}$$

$$\sum F_y = 0 : -F - \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{E A}{a} \left(\frac{u_B + v_B}{2} - \frac{u_B - v_B}{2} - a \alpha_T \Delta T \right) = 0$$

$$\rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} E A \alpha_T \Delta T - F = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{E A}{a} v_B$$

$$\rightarrow v_B = a \alpha_T \Delta T - \sqrt{2} \frac{F a}{E A}$$

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Stabkräfte:

$$N_{AB} = E A \frac{u_B}{a} = -\frac{\sqrt{2} E A \alpha_T \Delta T}{4 + \sqrt{2}}, \quad N_{BC} = -E A \frac{u_B}{a} = \frac{\sqrt{2} E A \alpha_T \Delta T}{4 + \sqrt{2}}$$

$$\begin{aligned} N_{BD} &= E A \frac{u_B + v_B}{2a} = \frac{E A}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4 + \sqrt{2}} \right) \alpha_T \Delta T - \frac{\sqrt{2}}{2} F \\ &= \frac{2 E A \alpha_T \Delta T}{4 + \sqrt{2}} - \frac{\sqrt{2}}{2} F \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{BE} &= -E A \left(\frac{u_B - v_B}{2a} + \alpha_T \Delta T \right) = E A \left(\frac{1}{2} \frac{\sqrt{2}}{4 + \sqrt{2}} - \frac{1}{2} \right) \alpha_T \Delta T - \frac{\sqrt{2}}{2} F \\ &= -\frac{2 E A \alpha_T \Delta T}{4 + \sqrt{2}} - \frac{\sqrt{2}}{2} F \end{aligned}$$

1.2 Statisch unbestimmte Stabsysteme

- Statisch unbestimmte Fachwerke:

Unbekannt:		Gleichungen:	
Lagerkräfte:	L	Gleichgewicht am Knoten:	$2K$
Stabkräfte:	S	Stabgleichungen:	S
Verschiebungen:	$2K - L$		
Gesamt:	$2K + S$		$2K + S$

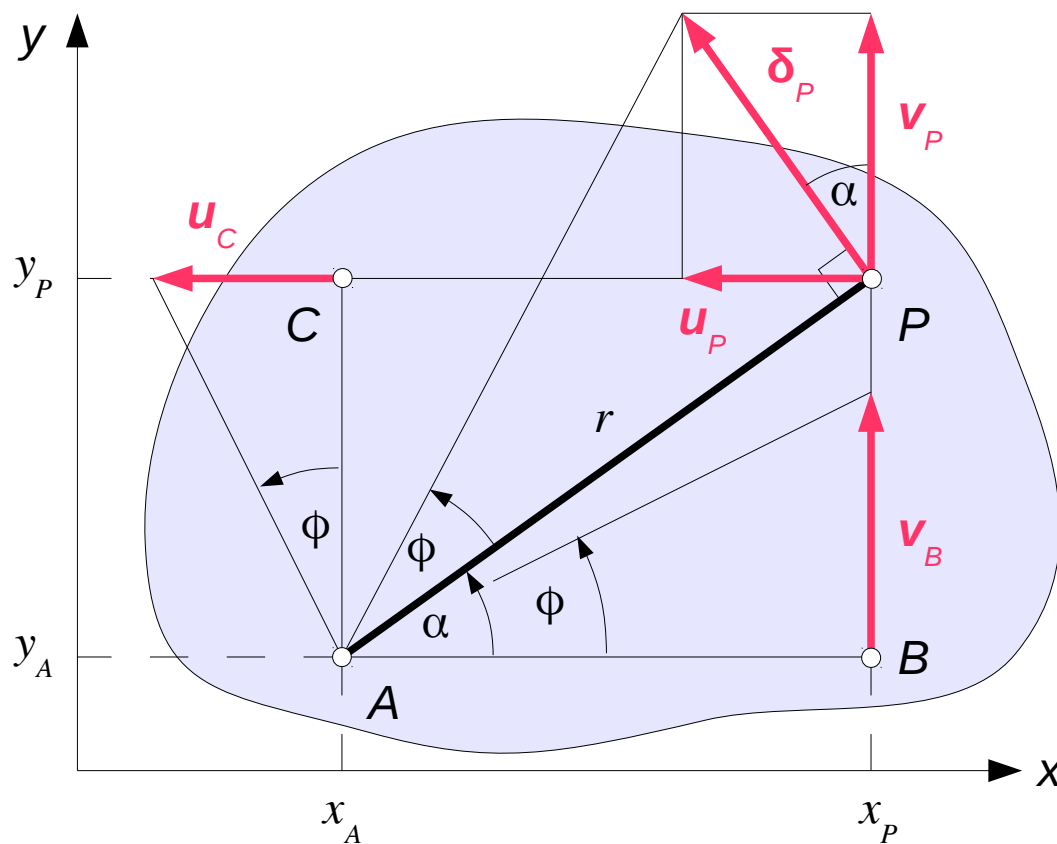
- Die Stabkräfte können nicht unabhängig von den Verschiebungen bestimmt werden.

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Bauteile, deren Verformungen klein sind im Vergleich zu den Verformungen der übrigen Bauteile, aus denen ein Tragwerk zusammengesetzt ist, können als starre Körper betrachtet werden.
- Kinematik des starren Körpers:
 - Die Bewegung eines starren Körpers setzt sich aus einer Translation und einer Rotation zusammen.
 - Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass der Winkel, um den sich der starre Körper dreht, so klein ist, dass Kreisbögen durch die Tangente ersetzt werden dürfen.

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Bei einer kleinen Drehung um einen festen Punkt A gilt:



$$x_P - x_A = r \cos(\alpha)$$

$$y_P - y_A = r \sin(\alpha)$$

$$\delta_P = r \tan(\phi) \approx r \phi$$

$$\begin{aligned} u_P &= -\delta_P \sin(\alpha) \\ &= -r \phi \sin(\alpha) \\ &= -(y_P - y_A) \phi = u_C \end{aligned}$$

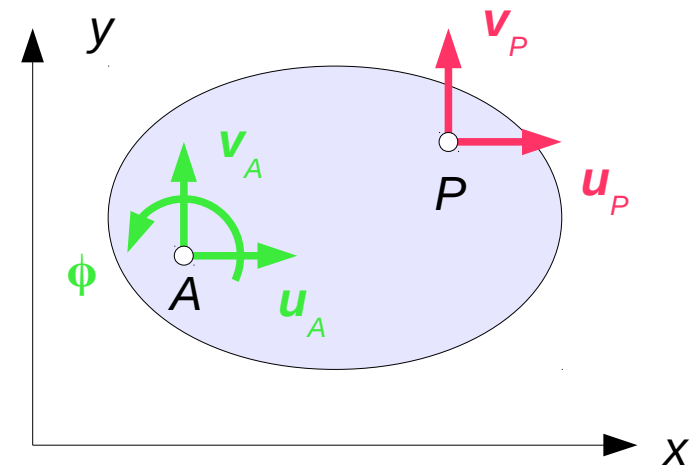
$$\begin{aligned} v_P &= \delta_P \cos(\alpha) \\ &= r \phi \cos(\alpha) \\ &= (x_P - x_A) \phi = v_B \end{aligned}$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Wenn sich der Punkt A selbst verschiebt, so muss die Verschiebung von Punkt A addiert werden.
- Damit gilt allgemein:

$$u_P = u_A - (y_P - y_A)\phi$$

$$v_P = v_A + (x_P - x_A)\phi$$



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

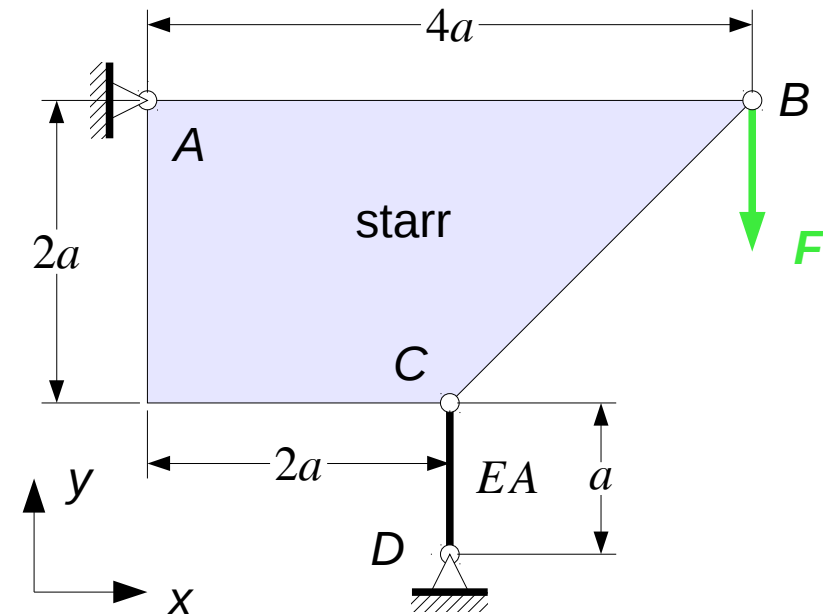
- Beispiel 1:

- Gegeben:

- Abmessung a
- Dehnsteifigkeit EA des Stabs CD
- Kraft F

- Gesucht:

- Stabkraft N_{CD}
- Kräfte im Lager A
- Verschiebungen u_B und v_B von Punkt B



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Gleichgewicht am starren Körper:

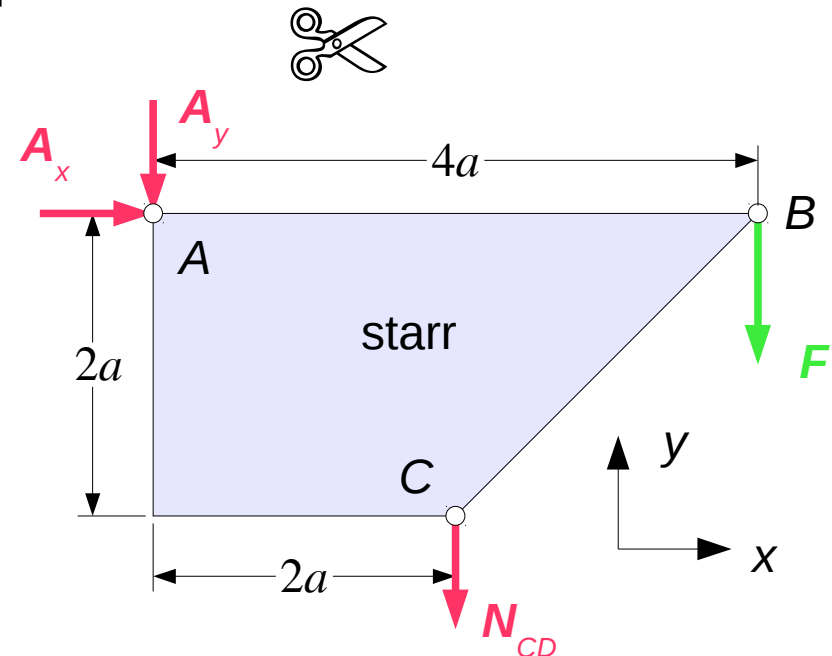
$$\sum F_x = 0 : A_x = 0$$

$$\sum M^A = 0 : \\ -2a N_{CD} - 4a F = 0$$

$$\rightarrow N_{CD} = -2F$$

$$\sum F_y = 0 : -A_y - N_{CD} - F = 0$$

$$\rightarrow A_y = -N_{CD} - F = F$$



Zugkräfte zeigen vom starren Körper weg.

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Stabgleichung:
$$v_C = \Delta L_{CD} = \frac{N_{CD} a}{E A} = -\frac{2 F a}{E A}$$

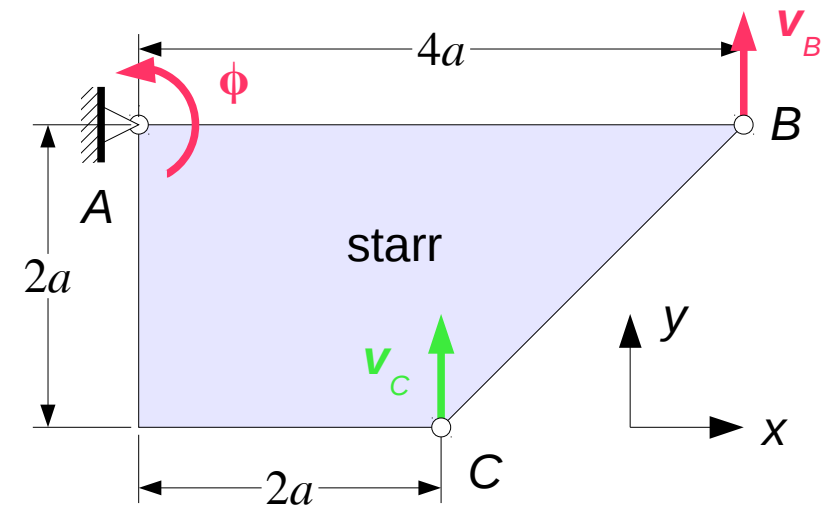
- Kinematik:
$$u_A = v_A = 0$$

$$v_C = 2 a \phi = -\frac{2 F a}{E A}$$

$$\rightarrow \phi = -\frac{F}{E A}$$

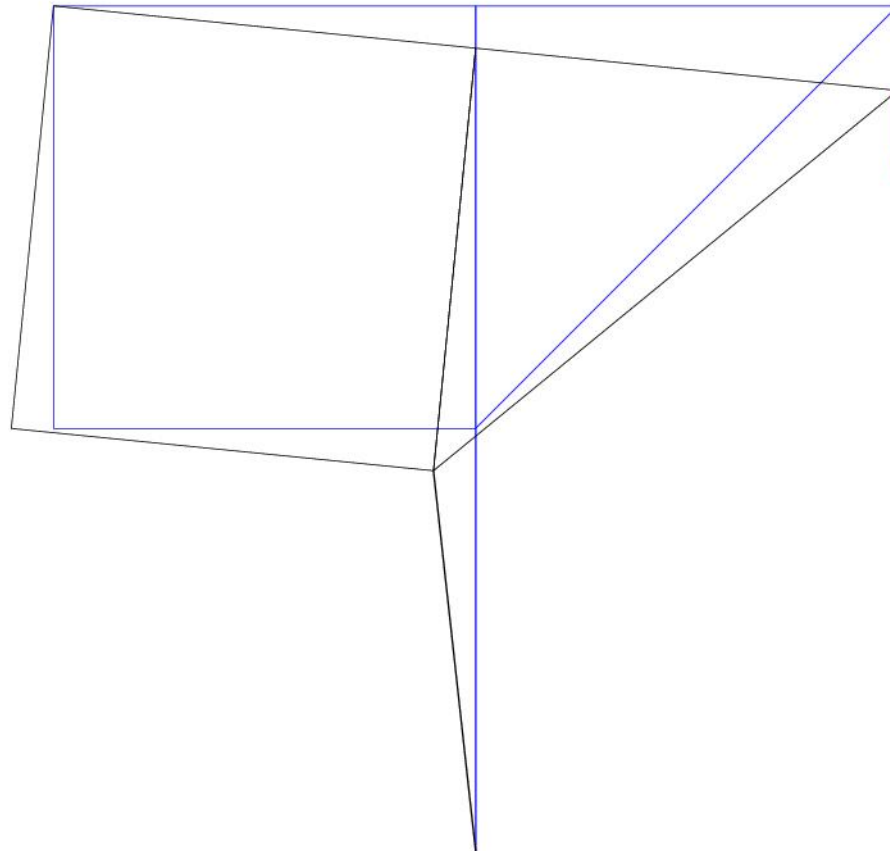
$$u_B = 0$$

$$v_B = 4 a \phi = -\frac{4 F a}{E A}$$



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

Loadcase 1:



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

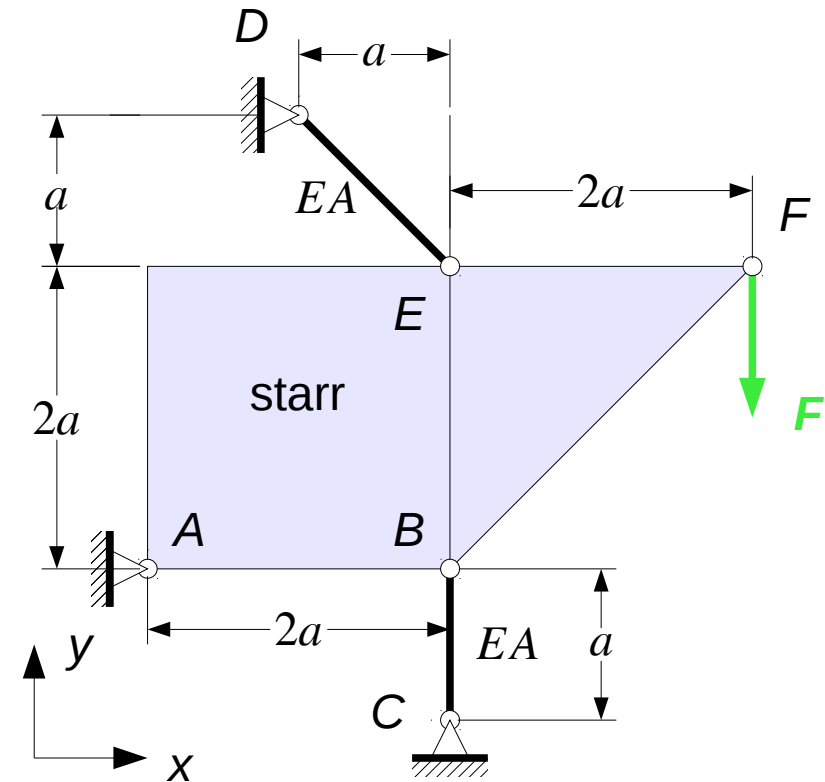
- Beispiel 2:

- Gegeben:

- Abmessung a
- Dehnsteifigkeit EA der Stäbe BC und DE
- Kraft F

- Gesucht:

- Stabkräfte N_{BC} und N_{DE}
- Verschiebungen u_F und v_F von Punkt F



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

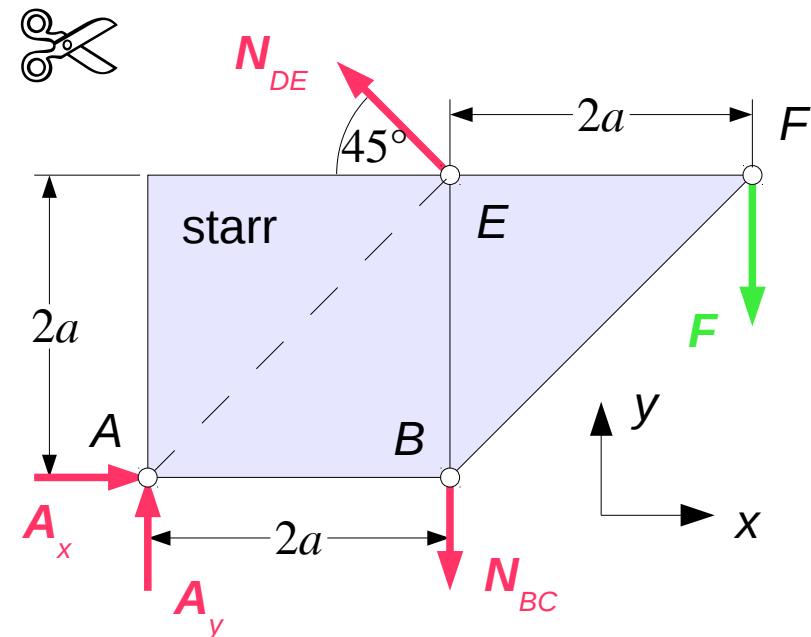
- Gleichgewicht am starren Körper:

$$\sum M^A = 0 :$$

$$2\sqrt{2}a N_{DE} - 2a N_{BC} - 4a F = 0$$

$$\rightarrow \sqrt{2} N_{DE} - N_{BC} = 2F$$

- Die Kräftegleichgewichte liefern zwei weitere Gleichungen mit zwei weiteren Unbekannten.
- Das System ist statisch unbestimmt.



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Kinematik:

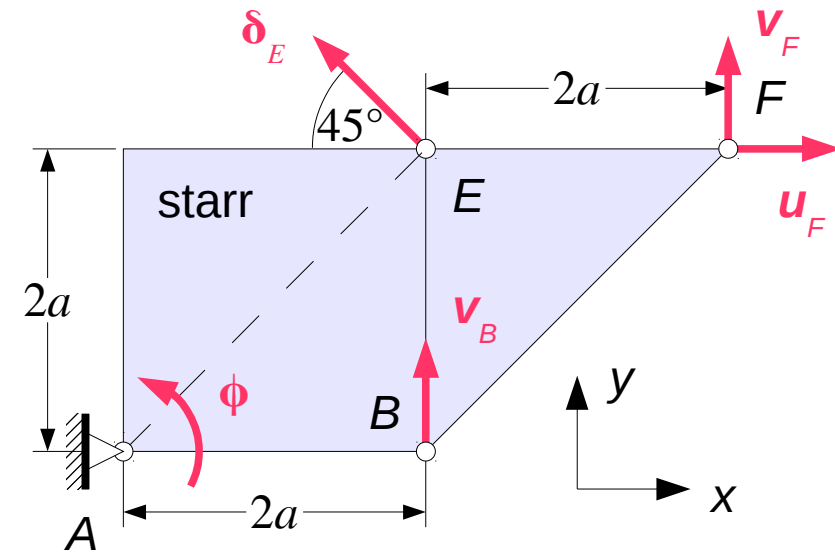
$$u_A = v_A = 0$$

$$\delta_E = 2\sqrt{2}a\phi$$

$$v_B = 2a\phi$$

$$u_F = -2a\phi$$

$$v_F = 4a\phi$$



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Stabgleichungen:

$$\delta_E = -\Delta L_{DE} = -\frac{\sqrt{2} a N_{DE}}{E A}, \quad v_B = \Delta L_{BC} = \frac{a N_{BC}}{E A}$$

- Mit den kinematischen Beziehungen folgt:

$$N_{DE} = -\frac{E A}{\sqrt{2} a} \delta_E = -2 E A \phi, \quad N_{BC} = \frac{E A}{a} v_B = 2 E A \phi$$

- Einsetzen in das Momentengleichgewicht ergibt:

$$E A (-2\sqrt{2} - 2) \phi = 2 F \rightarrow \phi = -\frac{1}{\sqrt{2} + 1} \frac{F}{E A} = -(\sqrt{2} - 1) \frac{F}{E A}$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Damit gilt für die Stabkräfte:

$$N_{DE} = 2(\sqrt{2}-1)F, \quad N_{BC} = -2(\sqrt{2}-1)F$$

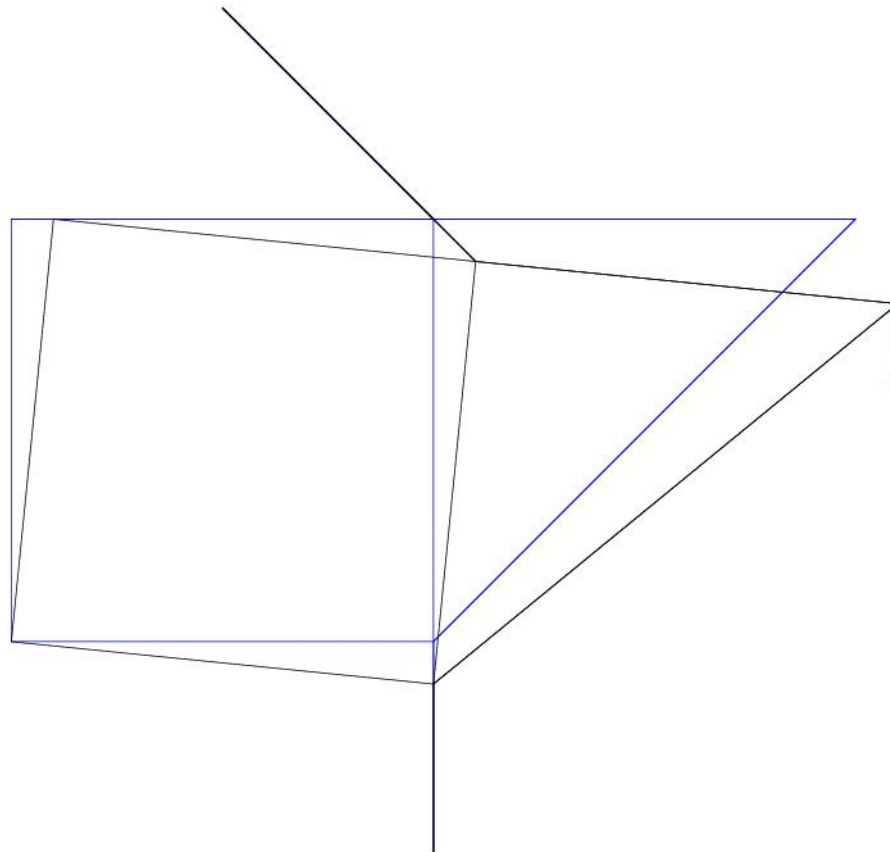
- Für die Verschiebung von Punkt F folgt:

$$u_F = 2(\sqrt{2}-1)\frac{F a}{E A}, \quad v_F = -4(\sqrt{2}-1)\frac{F a}{E A}$$

- Aus den übrigen beiden Gleichgewichtsbedingungen können die Lagerkräfte im Punkt A ermittelt werden.

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

Loadcase 1:



1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

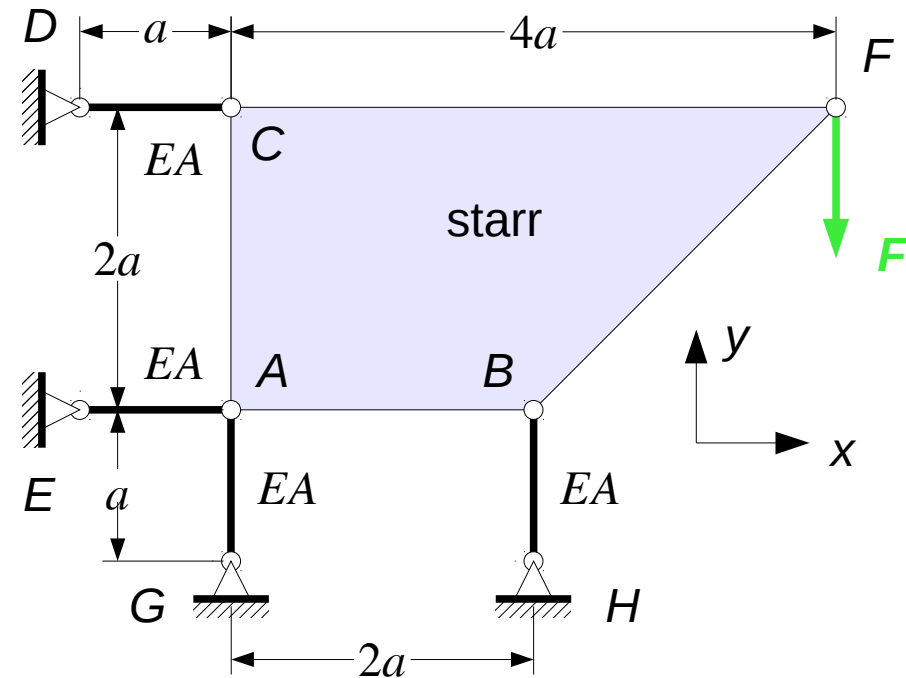
- Beispiel 3:

- Gegeben:

- Abmessung a
- Dehnsteifigkeit EA aller Stäbe
- Kraft F

- Gesucht:

- Stabkräfte
- Verschiebungen u_F und v_F von Punkt F



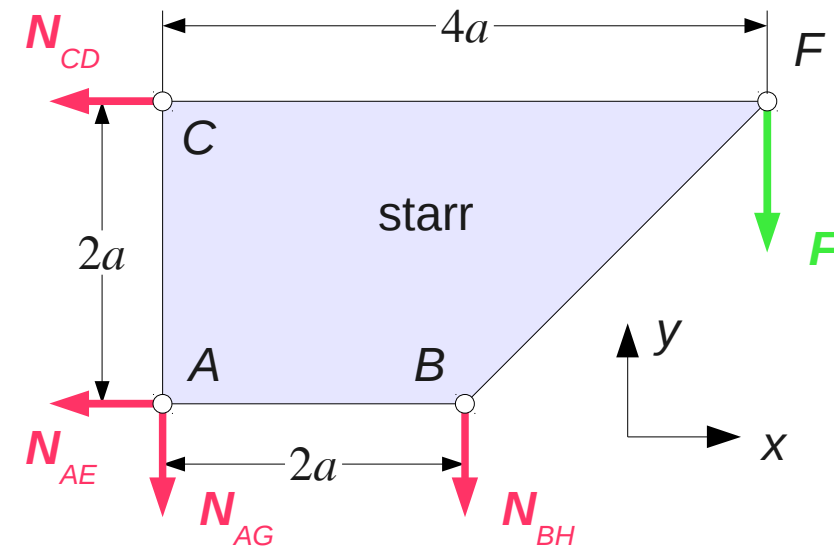
1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Gleichgewicht am starren Körper:

$$\sum F_x = 0 : -N_{CD} - N_{AE} = 0$$

$$\sum F_y = 0 : \\ -N_{AG} - N_{BH} - F = 0$$

$$\sum M^A = 0 : \\ -2a N_{BH} - 4a F + 2a N_{CD} = 0$$



- Das System ist statisch unbestimmt.

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Kinematik:

$$v_B = v_A + 2a\phi$$

$$u_C = u_A - 2a\phi$$

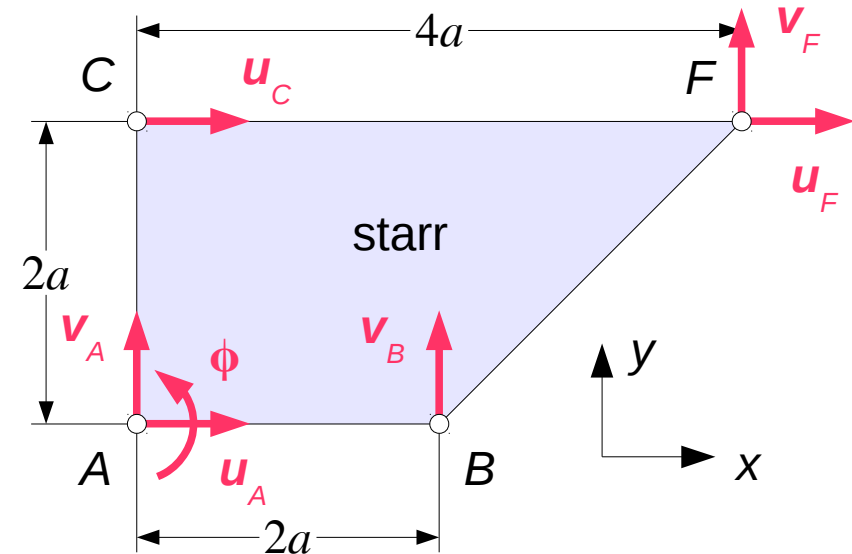
$$u_F = u_A - 2a\phi$$

$$v_F = v_A + 4a\phi$$

- Stabgleichungen:

$$u_A = \Delta L_{AE} = \frac{N_{AE} a}{EA}$$

$$v_A = \Delta L_{AG} = \frac{N_{AG} a}{EA}$$



$$v_B = \Delta L_{BH} = \frac{N_{BH} a}{EA}$$

$$u_C = \Delta L_{CD} = \frac{N_{CD} a}{EA}$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Mit der Kinematik folgt aus den Stabgleichungen:

$$N_{AE} = \frac{EA}{a} u_A, \quad N_{AG} = \frac{EA}{a} v_A$$

$$N_{BH} = \frac{EA}{a} (v_A + 2a\phi), \quad N_{CD} = \frac{EA}{a} (u_A - 2a\phi)$$

- Einsetzen in die Gleichgewichtsbedingungen ergibt:

$$\sum F_x = 0 : -\frac{EA}{a} (u_A - 2a\phi + u_A) = 0$$

$$\sum F_y = 0 : -\frac{EA}{a} (v_A + v_A + 2a\phi) = F$$

$$\sum M^A = 0 : 2EA(-v_A - 2a\phi + u_A - 2a\phi) = 4aF$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Daraus folgt: $2u_A - 2a\phi = 0 \quad (1)$

$$2v_A + 2a\phi = -\frac{Fa}{EA} \quad (2)$$

$$u_A - v_A - 4a\phi = \frac{2Fa}{EA} \quad (3)$$

- Auflösen ergibt: $(1) \rightarrow u_A = a\phi, \quad (2) \rightarrow v_A = -\frac{1}{2} \frac{Fa}{EA} - a\phi$

$$\text{in (3): } (1+1-4)a\phi = \frac{Fa}{EA} \left(2 - \frac{1}{2}\right) \rightarrow \phi = -\frac{3}{4} \frac{F}{EA}$$

$$(1) \rightarrow u_A = -\frac{3}{4} \frac{Fa}{EA}, \quad (2) \rightarrow v_A = -\left(\frac{1}{2} - \frac{3}{4}\right) \frac{Fa}{EA} = \frac{1}{4} \frac{Fa}{EA}$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

- Damit gilt für die Stabkräfte:

$$N_{AE} = -\frac{3}{4} F, \quad N_{AG} = \frac{1}{4} F$$

$$N_{BH} = \left(\frac{1}{4} - \frac{3}{2} \right) F = -\frac{5}{4} F, \quad N_{CD} = \left(-\frac{3}{4} + \frac{3}{2} \right) F = \frac{3}{4} F$$

- Für die Verschiebung von Punkt F folgt:

$$u_F = \left(-\frac{3}{4} + \frac{3}{2} \right) \frac{F a}{E A} = \frac{3}{4} \frac{F a}{E A}, \quad v_F = \left(\frac{1}{4} - 3 \right) \frac{F a}{E A} = -\frac{11}{4} \frac{F a}{E A}$$

1.3 Stabsysteme mit starren Körpern

Loadcase 1:

