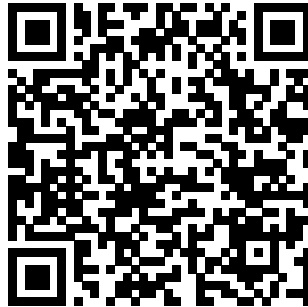


Probeklausur

Baustatik I

Universität: Technische Universität Berlin
Kurs/Modul: Baustatik I
Bearbeitungszeit: 180 Minuten
Erstellungsdatum: September 6, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Baustatik I

Bearbeitungszeit: 180 Minuten.

Aufgabe 1.

- (a) Bestimmen Sie die Auflagerreaktionen A_x , A_y , B_y des statisch bestimmten Dreiecksrahmens mit den Knoten $A(0,0)$, $B(4,0)$ und $C(2,h)$. Die Stäbe sind AB , AC , BC und am Knoten C lastet eine äußere Normalkraft P nach unten. Geben Sie die zugehörigen Gleichgewichtsbeziehungen an und skizzieren Sie das Vorgehen zur Bestimmung der Reaktionen.
- (b) Bestimmen Sie die Kräfte in den Stäben AC , BC , AB mit dem Schnittprinzip, unter der Annahme, dass am Knoten C die vertikale Last P nach unten wirkt. Bezeichnen Sie die Stabkräfte mit F_{AC} , F_{BC} , F_{AB} und geben Sie die Richtung (Zug/ Druck) jeweils durch Vorzeichen an.
- (c) Prüfen Sie die Gleichgewichtsbedingungen des Tragwerks am Knoten A und am Knoten B auf Konsistenz der Kräfte. Formulieren Sie die Bedingungen in Worten und in Knickformeln.
- (d) Diskutieren Sie qualitativ, wie sich eine Veränderung der Laststellung P oder der Geometrie (h) auf die Richtung der Stabkräfte auswirken würde.

Aufgabe 2.

- (a) Unter Verwendung des Aufbauprinzips und des Arbeitsprinzips sollen Sie das Tragwerk aus Aufgabe 1 erneut betrachten. Nennen Sie die Vorgehensweise, um die Verteilung der Stabkräfte bei einer vertikalen Last P am Knoten C zu bestimmen, ohne die Rechenwerte zu nennen. Diskutieren Sie die Rolle der virtuellen Weggrößen bei dieser Aufgabe.
- (b) Formulieren Sie die Aufgabenstellung so, dass sich der Einfluss der Lastpfad-Richtung auf das Verhältnis der Kräfte in den Stäben AC und BC signifikant widerspiegelt. Geben Sie an, welche Informationen Sie benötigen, um die jeweiligen Kräfte eindeutig zu bestimmen.
- (c) Begründen Sie, warum das Prinzip der virtuellen Kräfte in diesem Kontext sinnvoll ist und welche Vorteile es gegenüber rein statischen Gleichgewichtsbetrachtungen hat.

Aufgabe 3.

- (a) Skizzieren Sie eine einfache Stabtragekonstruktion mit drei Stäben, die eine handhabbare Dynamik erlaubt und statisch bestimmt ist. Beschreiben Sie die Randbedingungen und Lastfälle, unter denen das System eindeutig bestimmt ist.
- (b) Erklären Sie die Vorgehensweise, wie Sie mit dem Aufbauprinzip die internen Kräfte in den Stäben bestimmen würden, ohne konkrete Zahlenwerte zu nennen.
- (c) Erläutern Sie den Nutzen des Schnittprinzips für dieses System und wie Sie daraus die Kräfte in jedem Stab eindeutig ableiten würden.
- (d) Diskutieren Sie, in welchem Ausmaß das Arbeitsprinzip zur Bestimmung der Verformungen beiträgt und welche zusätzlichen Informationen dazu nötig sind (Materialien, Abmessungen, Moduli).

Aufgabe 4.

- (a) Formulieren Sie die Aufgabe so, dass Sie die Einflusslinien für die interne Kraft in Stab AB eines Dreiecksrahmens ableiten können, wenn eine vertikale Last P am Knoten C schrittweise verschoben wird. Beschreiben Sie die Vorgehensweise Schritt für Schritt.
- (b) Beschreiben Sie, wie Sie mittels der Aufbau-, Schnitt- und Arbeitsprinzipien jeweils eine solche Einflusslinie erhalten würden und welche Vorzüge jedes Prinzip in diesem Zusammenhang hat.
- (c) Geben Sie an, wie sich die Einflusslinie auf die maximale Beanspruchung einzelner Stäbe auswirken könnte und welche Lastpfade dann kritisch würden.
- (d) Vergleichen Sie abschließend die drei Prinzipien in Bezug auf Praktikabilität, Genauigkeit und Rechenaufwand für das vorliegende Tragwerk.

Lösungen

Bearbeitungszeit: 180 Minuten.

Lösungen

Aufgabe 1.

(a) Bestimmung der Auflagerreaktionen A_x , A_y , B_y des statisch bestimmten Dreiecksrahmens.

Gegeben: Knoten A(0,0), B(4,0), C(2,h); Stäbe AB, AC, BC; äußere Normalkraft P wirkt vertikal nach unten am Knoten C. Auflager A ist fest, Auflager B ist rollend (nur vertikale Reaktion).

- Gesamtbzw. Gleichgewicht des Systems (Freigesicht):

$$\sum F_y = A_y + B_y - P = 0, \quad \sum M_A = 0 \Rightarrow 4B_y - 2P = 0.$$

Daraus folgt

$$B_y = \frac{P}{2}, \quad A_y = P - B_y = \frac{P}{2}.$$

- Horizontalreaktion: Es liegt keine äußere horizontale Einwirkung vor; daher

$$A_x = 0.$$

Lösung:

$$A_x = 0, \quad A_y = \frac{P}{2}, \quad B_y = \frac{P}{2}.$$

(b) Bestimmung der Stabskräfte F_{AC} , F_{BC} , F_{AB} mit dem Schnittprinzip (dostandene Kräfte gelten als Zugkräfte bei Positivvorzeichen).

Gegeben: Die Knotenkräfte wirken gemäß der vorgenommenen Randbedingung, d.h. am Knoten C lastet eine vertikale Last P nach unten; die Stabskräfte werden mit Vorzeichen so definiert, dass positiv = Zug ist.

- Am Knoten A: Die drei Kräfte sind die Reaktion $A = (A_x, A_y)$ und die Kräfte aus den Stäben AB und AC. Unter der Annahme, dass die Stäbe AB, AC in Richtung ihrer jeweiligen Mittellinien wirken, ergibt sich aus der Gleichgewichtsbetrachtung der Knoten A:

$$\begin{cases} A_x + F_{AB} + F_{AC} \frac{2}{L} = 0, \\ A_y + F_{AC} \frac{h}{L} = 0, \end{cases} \quad L = \sqrt{4 + h^2}.$$

Aus der Y-Gleichung folgt

$$F_{AC} = -\frac{P}{2} \frac{L}{h}.$$

Aus der X-Gleichung folgt dann

$$F_{AB} = -\frac{2}{L} F_{AC} = \frac{P}{h}.$$

- Am Knoten B: Die Kräfte wirken analog in Richtung BC und AB. Aus der Horizontalgleichung am Knoten B erhält man (unter der Annahme der gleichen Orientierung der Stäbe und der bekannten Reaktion $B_y = \frac{P}{2}$):

$$-F_{AB} - \frac{2}{L} F_{BC} = 0 \Rightarrow F_{BC} = -\frac{L}{2} F_{AB} = -\frac{P L}{2h}.$$

- Prüfung am Knoten C (Optional): Die vertikale Komponente der Kräfte aus AC und BC plus die Last P müssen sich zu Null summieren:

$$-F_{AC} \frac{h}{L} - F_{BC} \frac{h}{L} - P = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{AC} + F_{BC} = -P \frac{L}{h},$$

was mit den zuvor bestimmten Werten konsistent ist.

Lösung: Unter der gewählten Vorzeichenkonvention erhält man

$$F_{AB} = \frac{P}{h} \quad (\text{Zug}), \quad F_{AC} = F_{BC} = -\frac{P L}{2h} \quad (\text{Druck}), \quad L = \sqrt{h^2 + 4}.$$

(c) Prüfen der Gleichgewichtsbedingungen am Knoten A und B.

- Knoten A: Summe F_x und F_y liefern:

$$F_x^{(A)} = A_x + F_{AB} + \frac{2}{L} F_{AC} = 0 \quad \Rightarrow \quad 0 + \frac{P}{h} - \frac{2}{L} \frac{P L}{2} = 0,$$

was identisch erfüllt ist. Für F_y gilt

$$F_y^{(A)} = A_y + \frac{h}{L} F_{AC} = \frac{P}{2} - \frac{h}{L} \frac{P L}{2} = 0.$$

- Knoten B: Summe F_x und F_y liefern:

$$F_x^{(B)} = -F_{AB} - \frac{2}{L} F_{BC} = -\frac{P}{h} - \frac{2}{L} \left(-\frac{PL}{2h} \right) = 0,$$

$$F_y^{(B)} = B_y + \frac{h}{L} F_{BC} = \frac{P}{2} - \frac{h}{L} \frac{PL}{2h} = 0.$$

(d) Qualitative Diskussion.

- Verhalten bei Erhöhung von P : Alle Koeffizienten skalieren proportional zu P . Die Richtung der Stabkräfte bleibt unverändert (AB bleibt in Zug, AC und BC in Druck). Insbesondere: - Die Magnitude von $F_{AB} = \frac{P}{h}$ steigt linear mit P (unabhängig von h). - Die Magnitude von $F_{AC} = F_{BC} = -\frac{PL}{2h} = -\frac{P}{2h} \sqrt{h^2 + 4}$ steigt ebenfalls linear mit P ; der Vorzeichensinn bleibt negativ (Druck). - Einfluss der Geometrie h : - Für großes h nähert sich $L/h \rightarrow 1$, und die Diagonalen tragen annähernd die halbe Last in Druck. - Für kleines h wird L/h groß, sodass die Diagonalen stärker kompakt belastet werden; die Stabkräfte steigen stark an. - Allgemein bleibt die Richtung der Kräfte unabhängig von P ; nur deren Größen ändern sich linear mit P .

Aufgabe 2.

(a) Vorgehen unter Verwendung des Aufbau- und Arbeitsprinzips.

- Ziel: Verteilung der Stabkräfte bei einer vertikalen Last P am Knoten C zu bestimmen, ohne Rechenwerte ausdrücklich zu nennen. - Aufbauprinzip (struktureller Aufbau): Zerlege das Tragwerk schrittweise in einfache Teiglieder, beobachte an jedem Zwischenschritt die statische Abhängigkeit der Kräfte, und kombiniere diese Teilkräfte nach dem Prinzip der Superposition, um die Verteilung der Kräfte im Gesamtproblem abzuleiten. - Arbeitsprinzip (Virtuelles Kraftprinzip): Wende die virtuellen Weggrößen an. Wähle unabhängige, zulässige virtuelle Verschiebungsfelder, die mit dem realen Lastweg in Beziehung stehen. Für jedes der Felder bilde das Verhältnis der virtuellen Arbeit der externen Kräfte zur virtuellen Arbeit der internen Kräfte. - Konkreter Leitfaden (ohne Rechenwerte): 1) Zeichne das freie Systembild mit den Reaktionen (wie in Teil 1a) und dem externen Lastfall P am C . 2) Wähle ein virtuelles Displacementsfeld, z. B. Pattern 1: eine Einheit vertikale Verschiebung $\delta y_C^* = 1$ bei C , A und B festgehalten. - Bestimme die virtuellen Dehnungen der diagonalen Stäbe: $\delta l_{AC}^{(1)}$ und $\delta l_{BC}^{(1)}$ durch Projektion der virtuellen Verschiebung auf die jeweiligen Stablagen (etwa $\delta l_{AC}^{(1)} = \frac{h}{L}$, $\delta l_{BC}^{(1)} = \frac{h}{L}$). - Die virtuelle Arbeit der externen Kraft: $\delta W_{\text{ext}}^{(1)} = P \cdot \delta y_C^* = P$. - Die virtuelle Arbeit der internen Kräfte: $\delta W_{\text{int}}^{(1)} = F_{AC}^{(1)} \delta l_{AC}^{(1)} + F_{BC}^{(1)} \delta l_{BC}^{(1)}$. - Aus dem Aufbau erhält man eine Gleichung in den virtuellen Kraftanteilen $F_{AC}^{(1)}, F_{BC}^{(1)}$. 3) Wähle ein zweites unabhängiges virtuelles Feld, z. B. Pattern 2: eine horizontale Verschiebung $\delta x_C^* = 1$ bei C (A, B festgehalten), - Bestimme $\delta l_{AC}^{(2)}, \delta l_{BC}^{(2)}$ (durch Projektion der horizontalen Verschiebung). - Die externe virtuelle Arbeit ist Null, da der äußere Lastfall vertikal ist. - Erhalte eine weitere Gleichung in $F_{AC}^{(2)}, F_{BC}^{(2)}$. 4) Löse die Gleichungssysteme aus Pattern 1 und Pattern 2. Die resultierenden Größen liefern, zusammen mit der Kopplung durch Knotenbedingungen (z. B. Symmetrie), die Verteilung der Stabkräfte. 5) Beachte: Die virtuellen Kräfte erfüllen das Prinzip der virtuellen Arbeiten, d. h. für jedes zulässige virtuelle Feld gilt $\delta W_{\text{ext}} = \delta W_{\text{int}}$. Die Vorzeichen richten sich nach der zugrunde liegenden Konvention (Zug positiv).

- Rolle der virtuellen Weggrößen: - Sie liefern eine Abbildung der Kopplung der Stablängenänderungen mit konkreten Verschiebungsfeldern. - Sie ermöglichen die Formulierung von Beziehungsverhältnissen zwischen den Unbekannten (Stabkräften) ohne explizite numerische Werte des realen Lastfalls zu kennen – statisch indeterminierte Fälle würden erst durch diese Muster lösbar. - In einfachen Fällen (wie hier) liefert eine geeignete Wahl von zwei unabhängigen virtuellen Feldern ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösung die Verteilung der Stabkräfte bestimmt.

(b) Formulieren Sie die Aufgabenstellung so, dass sich der Einfluss der Lastpfad-Richtung auf das Verhältnis der Kräfte in den Stäben AC und BC signifikant widerspiegelt.

- Vorschlag der Formulierung: - Untersuchen Sie zwei Lastpfade am Knoten C : 1) Vertikale Lastpfadrichtung (etwa rein vertikal nach unten). 2) Eine Lastpfadrichtung, die einen signifikanten Horizontalanteil besitzt (z. B. eine vertikal verschobene Last mit zusätzlicher horizontaler Komponente oder eine reine horizontale Komponente am C). - Für jeden Pfad bestimmen Sie die interne Kraftverteilung in AC und BC und vergleichen Sie das Verhältnis $\frac{F_{AC}}{F_{BC}}$. - Sie benötigen dazu die Geometrie (insbesondere $L = \sqrt{h^2 + 4}$) und die Orientierung der Stäbe, um die Komponente der Kräfte in den jeweiligen Stäben zu bestimmen.

(c) Begründen Sie, warum das Prinzip der virtuellen Kräfte sinnvoll ist und welche Vorteile es gegenüber rein statischen Gleichgewichtsbetrachtungen hat.

- Sinn des virtuellen Kräfteprinzips: - Es erlaubt, die Verteilung der internen Kräfte in Abhängigkeit von der Wegführung der externen Lasten zu erfassen, ohne die exakten Verformungen der Anordnung voraussetzen zu müssen. - Es liefert – gegenüber rein statischer Analyse – tiefergehende Einsichten in Kopplungen zwischen Lastpfaden, Stabrichtungen und Verformungen. - Vorteile gegenüber reinen Gleichgewichtsbetrachtungen: - Trägt zur Klärung bei, wie sich verän-

dernde Lastpfade (Richtung, Verteilung) unmittelbar auf die Verteilung der Kräfte in den Stäben auswirken. - Ermöglicht die Behandlung von statischen Unbestimmtheiten, falls vorhanden, durch Einführung virtueller Weggrößen als zusätzliche Gleichungen.

Aufgabe 3.

(a) Skizzieren Sie eine einfache Stabtragekonstruktion mit drei Stäben, die eine handhabbare Dynamik erlaubt und statisch bestimmt ist. Randbedingungen und Lastfälle, unter denen das System eindeutig bestimmt ist.

- Empfohlene Bauform: Dreiecksrahmen mit den Knoten A und B fest/pinisiert am Untergrund und Knoten C frei im Raum, verbunden durch die Stäbe AB (Basis), AC (linke Seite) und BC (rechte Seite). Die Randbedingungen: A und B als feste Auflager (Pin oder feste Verbindung, je nach Aufgabenstellung), C frei. Lastfälle: vertikale oder kombinierte Lasten am C; System ist statisch bestimmt, da für ein planare Dreiecksrahmen $m=3$, $j=3$, $r=3$ gilt ($m+r = 3+3 = 2j = 6$).

(b) Erklären Sie die Vorgehensweise, wie Sie mit dem Aufbauprinzip die internen Kräfte in den Stäben bestimmen würden, ohne konkrete Zahlenwerte zu nennen.

- Aufbauprinzip (Schrittweise Ermittlung der Kräfte): 1) Bilden Sie das freie Systembild und bestimmen Sie die Auflagerreaktionen aus den Gleichgewichtsbedingungen des Gesamtsystems (in der Regel A_x, A_y, B_y). 2) Analysieren Sie den Knoten A: Es wirken dort die Kräfte aus AB und AC sowie die Auflagerkraft A. Berücksichtigen Sie die Richtung der Kräfte (Zug/Druck). 3) Analysieren Sie den Knoten B: Es wirken dort die Kräfte aus AB und BC sowie die Auflagerkraft B. Verwenden Sie das Gleichgewicht am Knoten B. 4) Mit den bekannten Reaktionen und den Gleichungen der Knoten X und Y lösen Sie die drei Stabkräfte F_{AB}, F_{AC}, F_{BC} (in der Regel mittels Schnittprinzip oder Knoten-Gleichgewichtsbedingungen). 5) Prüfen Sie die Konsistenz der Ergebnisse an anderen Knoten (z. B. Knoten C).

- Hinweis: Das Dreiecks-System ist statisch bestimmt; die Gleichgewichtsbedingungen liefern eindeutig die Stabkräfte, sofern die Richtung der Stabkräfte entsprechend der Vorzeichenkonvention festgelegt wird.

(c) Erläutern Sie den Nutzen des Schnittprinzips für dieses System und wie Sie daraus die Kräfte in jedem Stab eindeutig ableiten würden.

- Nutzen des Schnittprinzips: - Isolieren Sie Teilbereiche des Tragwerks, um die unbekannten Stabkräfte zu eliminieren oder zu isolieren. Dadurch erhält man einfache Gleichgewichtsbedingungen, die direkt zu den Stabkräften führen. - Für das Dreiecksrahmensystem ergeben sich aus der Untersuchung von Teilräumen (z. B. Abtrennung zweier Stäbe an einem Knoten) klare relationsbasierte Gleichungen, die die Stabkräfte eindeutig bestimmen. - Vorgehen: - Wählen Sie einen Knoten (z. B. A) und schneiden Sie die Stäbe AB und AC, analysieren Sie die Summe der Kräfte an diesem Knoten. - Wiederholen Sie dies an einem weiteren Knoten (z. B. B) und kombinieren Sie die Ergebnisse, um die drei Unbekannten eindeutig zu bestimmen.

(d) Diskutieren Sie, in welchem Ausmaß das Arbeitsprinzip zur Bestimmung der Verformungen beiträgt und welche zusätzlichen Informationen dazu nötig sind (Materialien, Abmessungen, Moduli).

- Das Arbeitsprinzip (Prinzip der virtuellen Kräfte) liefert rechnerisch einfache Beziehungen zwischen inneren Kräften und den zugehörigen Weggrößen (Verformungen), insbesondere bei deformierbaren Strukturen. - Für die Bestimmung von Verformungen benötigen Sie zusätzlich zu den statischen Größen: - Materialparameter (Elastizitätseigenschaft E), - Querschnittsflächen A der Stäbe, - Geometrische Abmessungen der Stäbe (Längen), - gegebenenfalls Moduli (E) je Material. - Das Arbeitsprinzip ermöglicht die Berechnung von Verformungen, indem man die virtuellen Weggrößen in Abhängigkeit von den Kräften in den Stäben verwendet. Es ergänzt

damit die reine Kräftebestimmung um Informationen zur Verformungsantwort des Systems.

Aufgabe 4.

(a) Formulieren Sie die Aufgabe so, dass Sie die Einflusslinien für die interne Kraft in Stab AB eines Dreiecksrahmens ableiten können, wenn eine vertikale Last P am Knoten C schrittweise verschoben wird. Beschreiben Sie die Vorgehensweise Schritt für Schritt.

- Zweck: Einflusslinie der Stabkraft F_{AB} als Funktion der Lage der vertikalen Last P am Knoten C . - Vorgehensweise: 1) Verschieben Sie P schrittweise entlang des Pfades, wobei die Größe der Last konstant bleibt, und notieren Sie die Verlagerungen der Knoten (insbesondere C) entsprechend dem Weg. 2) Bei jedem Verschiebungsschritt zeichnen Sie das Freischnittmodell, bestimmen Sie die Reaktionen und lösen Sie das Gleichungssystem, um F_{AB} zu bestimmen. 3) Die Einflusslinie wird durch die Werte von F_{AB} an jedem Lagepunkt von C dargestellt. 4) Beschreiben Sie die Änderung der Richtungen (Zug/Druck) mit der Verschiebung; beobachten Sie, wann F_{AB} ihren Extremwert erreichen.

(b) Beschreiben Sie, wie Sie mittels der Aufbau-, Schnitt- und Arbeitsprinzipien jeweils eine solche Einflusslinie erhalten würden und welche Vorzüge jedes Prinzip in diesem Zusammenhang hat.

- Aufbauprinzip: - Subsysteme schrittweise aufbauen; Einflussgrößen entstehen durch die additive Wirkung der Lastpfade. Vorteil: Ansatzweise Einsicht in die Verteilung, einfache Plausibilitätskontrollen. - Schnittprinzip: - Zerlegen des Tragwerks in Teiglieder und Berechnung der Reaktionen durch Schnitt an Stäben; unmittelbare Bestimmung des Einflusses der Verschiebung an C auf F_{AB} über Verformungsrelationen. - Vorteil: Klarer Bezug zu lokalen Kräften, direkte Nutzung der Dreieckstruktur. - Arbeitsprinzip: - Virtuelle Weggrößen verwenden, um F_{AB} in Abhängigkeit von der Verschiebung von C abzuleiten. Vorteil: Liefert relationale Struktur zwischen Kräften und Verformungen, unabhängig von konkreten Zahlenwerten; gut geeignet, um die Empfindlichkeit der Einflusslinie gegenüber Pfadänderungen zu analysieren.

(c) Geben Sie an, wie sich die Einflusslinie auf die maximale Beanspruchung einzelner Stäbe auswirken könnte und welche Lastpfade dann kritisch würden.

- Allgemein wächst die Beanspruchung in Stab AB dort am stärksten, wo der Beitrag von F_{AB} in der Einflusslinie am höchsten ist. - Kritische Lastpfade sind diejenigen, die die Richtung von P so legen, dass die horizontale Komponente des Kräftebeitrags an AB maximiert (bzw. die Stabkraft durch konstruktive Interaktion der Diagonalen verstärkt). - Eine Verschiebung des Lastpfads kann die Verteilung zwischen AB und den Diagonalen verändern, wodurch bestimmte Stäbe stärker beansprucht werden.

(d) Vergleichen Sie abschließend die drei Prinzipien in Bezug auf Praktikabilität, Genauigkeit und Rechenaufwand für das vorliegende Tragwerk.

- Aufbauprinzip: - Praktikabilität: Sehr gut für einfache, sichtbare Systeme; intuitiv. - Genauigkeit: Gut, soweit die Reduktionsschritte konsistent erfolgen; bei größeren Systemen schwieriger. - Rechenaufwand: Gering bis mittel; gut geeignet für eine schnelle Plausibilitätsprüfung. - Schnittprinzip: - Praktikabilität: Sehr gut bei Modellen, die sich gut in Teilbereiche zerlegen lassen. - Genauigkeit: Hoch, da lokale Gleichgewichte genutzt werden; robuste Methode für statische Bestimmung. - Rechenaufwand: Moderat; braucht systematische Zerlegung und Gleichungslösungen. - Arbeitsprinzip (Virtuelles Kraftprinzip): - Praktikabilität: Sehr flexibel, besonders bei komplexen oder redundanten Strukturen. - Genauigkeit: Hoch; direkt Bezug zu Verformungen und Steifigkeiten. - Rechenaufwand: Variabel, tendenziell größer, insbesondere bei vielen virtuellen Weggrößen; liefert dennoch tiefe Einsichten in Kopplungen zwischen Kräften und

Verformungen.