

Software für Berechnungen im Bauingenieurwesen nach der Methode der Finiten Element

FE Berechnungen

Benutzerhandbuch

Definition der Daten eines neuen Modells:

Grundlage einer jeden Berechnung ist die Definition eines **Modells** mit entsprechenden **Modelldaten**, die das **Modellverhalten** bestimmen.

Die Modelldaten bestehen aus **Knoten**, welche die Modell**geometrie** bestimmen, aus **Elementen**, welche die Modell**topologie** bestimmen, aus äußeren **Einwirkungen** (Lasten) auf das Modell und aus **Randbedingungen** (Lager).

Die Definition sämtlicher Daten für ein konkretes, vollständiges Modell erfolgt in der Regel in einer separaten Textdatei, da dies häufig effizienter und einfacher ist als in interaktiven Nutzerdialogen.

Als Anwendungsgebiete wurden exemplarisch die Tragwerksberechnung, Wärmeberechnung und Elastizitätsberechnung ausgewählt.

Die **Tragwerksberechnung** wird häufig als ein gesonderter Spezialfall von Bauwerksberechnungen behandelt. Sie ist aber für Bauingenieure von zentraler Bedeutung und soll in diesem Zusammenhang auf der gleichen allgemeinen Basis vorgestellt werden wie andere physikalische Berechnungen. Sie wird hier als 1D oder 2D Idealisierung mit 2 oder 3 Freiheitsgraden behandelt.

Die physikalisch einfachste Berechnung ist die **Wärmeberechnung**, die auf der gleichen allgemeinen Basis behandelt wird. Hier werden Implementierungen in 1D und 2D vorgestellt mit 1 Knotenfreiheitsgrad.

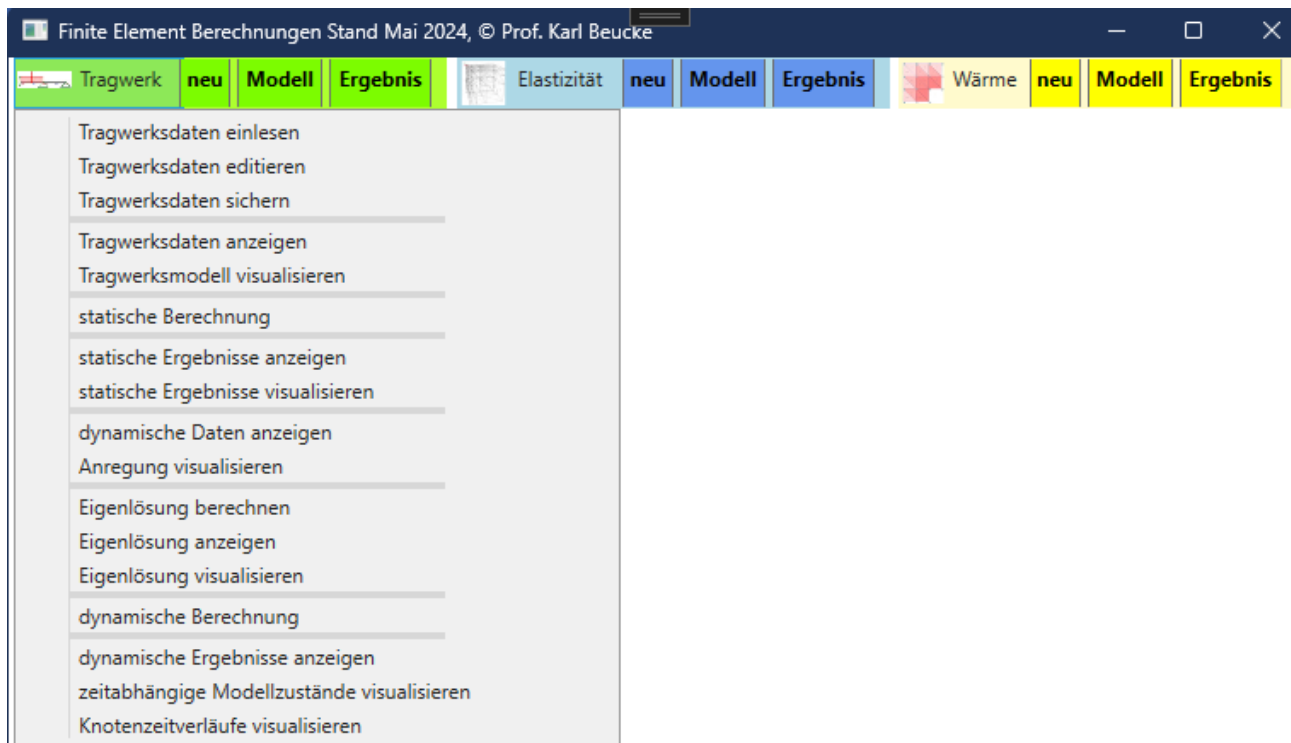
Tragwerksberechnungen sind in der Regel ein spezieller Fall allgemeiner Festigkeitsberechnungen, die aus der Elastizitätstheorie abgeleitet werden und sie werden daher in der Praxis häufig zusammen behandelt. Der allgemeinere Fall der **Elastizitätsberechnung** wird in der Ausbildung aber häufig erst später behandelt, da sowohl Theorie und Interpretation der Ergebnisse anspruchsvoll sind. Ergebnis einer Elastizitätsberechnung sind Dehnungen und Spannungen, die in der praktischen Nutzung häufig nicht direkt nutzbar sind, da hier in der Regel Elementschnittkräfte genutzt werden.

Physikalische Berechnungen werden in der Regel untersucht für Lasteinwirkungen, die zeitlich unveränderlich sind. Dies wird in der Tragwerksberechnung als „statisch“ und in der Wärmeberechnung als „stationär“ bezeichnet. Sollen zudem aber auch zeitlich veränderlich wirkende Lasteinwirkungen wie Wind, Erdbeben oder Wärmeeinwirkungen wie Anfahrkurven für einen Kamin berücksichtigt werden, so werden Verfahren für instationäre Wärmeberechnungen oder dynamische Tragwerksberechnungen benötigt.

Einfache Beispiele stehen in einem **Unterverzeichnis „input“** für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete zur Verfügung. Alle Eingabedateien sind gekennzeichnet durch die Dateiendung „inp“. Jede Modelldefinition ist durch einen Textidentifikator eindeutig gekennzeichnet.

„Leere“ Eingabedateien mit auskommentierten Schablonen als Beispiele für die jeweils unterstützten Arten von Eingabezeilen stehen in Dateien „Vorlage.inp“ zur Verfügung.

Das Startmenü der Anwendung bietet die Hauptauswahl an für die drei Themengebiete (Tragwerk, Elastizität, Wärme) an mit dem kompletten Funktionsumfang jedes einzelnen Themengebietes jeweils als Aufklappmenü (s. z.B. Tragwerk).



Mit (**neu**, **Modell**, **Ergebnis**) stehen für jedes Themengebiet drei Nebenauswahlmöglichkeiten zur Verfügung, mit denen Hauptfunktionalitäten der Themengebiete direkt angesteuert werden können. Diese beinhalten den Funktionsumfang für

- neues Modell definieren (**neu**), d.h. Modelldaten für angewähltes Themengebiet einlesen, editieren und sichern
- vorhandenes Modell (**Modell**) alfanumerisch anzeigen und geometrisch visualisieren
- Berechnungen ausführen und (**Ergebnisse**) anzeigen und visualisieren

Die ersten drei Auswahlpunkte des jeweiligen Aufklappmenüs betreffen die Definition eines neuen Modells. Eine Textdatei mit den beschreibenden Modelld Definitionen kann aus dem Unterverzeichnis des jeweiligen Themengebietes (z.B. /FE-Berechnungen/input/Tragwerksberechnung) eingelesen, editiert und gesichert werden. Nach erfolgreichem Einlesen werden die eingelesenen Modelldaten zur Kontrolle quitiert.

Der direkte Zugang erfolgt über die Nebenauswahl **neu** und veranlasst das Einlesen neuer Modelldaten.

Die Auswahl zur tabellarischen, alfanumerischen Anzeige der Modelldaten (z.B. **Tragwerksdaten anzeigen**) in einem separaten Fenster wird im Aufklappmenü der Hauptauswahl aktiviert.

TragwerksdatenAnzeigen

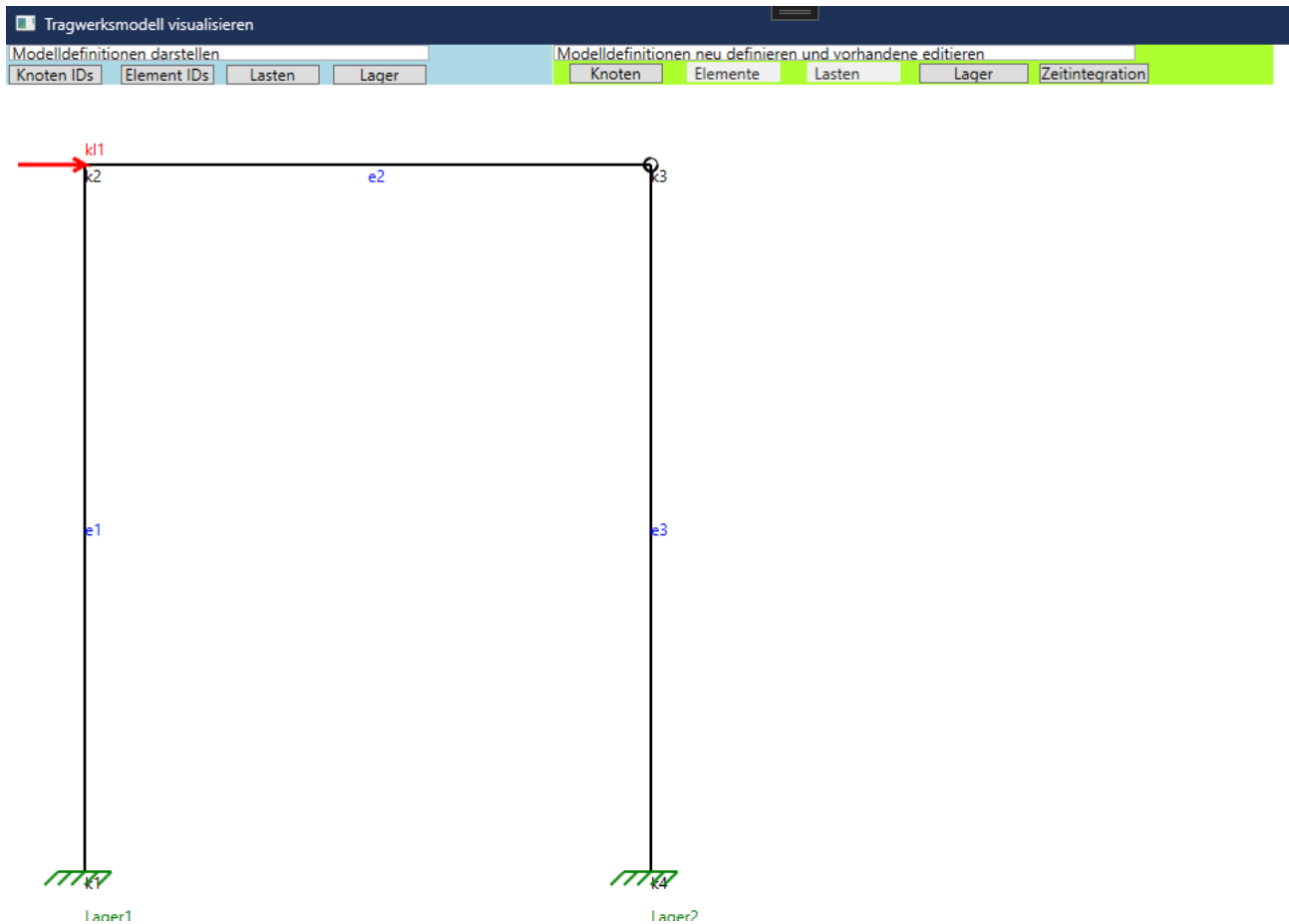
| Knotendefinitionen | | | | Elementdefinitionen | | | | | Materialdefinitionen | | | | Knotenlastdefinitionen | | | | | |
|--------------------|---|---|--|---------------------|----|----|----------|-------------|----------------------|----------|---------|-------|------------------------|----|--------|--------|------|--------|
| Knoten | X | Y | | ID | k1 | k2 | Material | Querschnitt | Gele | Material | E-Modul | Masse | | ID | Knoten | px | py | Moment |
| k1 | 0 | 0 | | e1 | k1 | k2 | m0 | c0 | 0 | m0 | 2E+08 | 0 | | k1 | k2 | 200,00 | 0,00 | 0,00 |
| k2 | 0 | 5 | | e2 | k2 | k3 | m0 | c0 | 2 | | | | | | | | | |
| k3 | 4 | 5 | | e3 | k3 | k4 | m0 | c0 | 1 | | | | | | | | | |
| k4 | 4 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Querschnittdefinitionen | | | | Linienlastdefinitionen | | | | | |
|-------------------------|--------|-----------|--|------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| Querschnitt | Fläche | Ixx | | ID | Element | p1x | p1y | p2x | p2y |
| c0 | 0,0500 | 2,00E-005 | | | | | | | |

| Lagerdefinitionen | | | | | Punktlastdefinitionen | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|---------|--------|----|----|
| Lager | Knoten | X fest | Y fest | R fest | ID | Element | Offset | fx | fy |
| Lager1 | k1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| Lager2 | k4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |

Die Auswahl zur grafischen Visualisierung der Modelldaten (z.B. **Tragwerksmodell visualisieren**) in einem separaten Fenster wird im Aufklappmenü der Hauptauswahl aktiviert.

Der direkte Zugang erfolgt über die Auswahl **Modell**.



Durch die Auswahl **Modell** wird in einem neuen Fenster der Zustand der aktuellen Modelldefinition grafisch dargestellt und ein Auswahlmenü für die Darstellung und Modifikation von Modelldefinitionen angeboten. Das Auswahlmenü und die Darstellung sind Kernstück interaktiver Modellveränderungen und der Erstellung von Modellvarianten.

Der resultierende Modellzustand wird unmittelbar neu dargestellt, aber noch nicht in seinen Konsequenzen neu berechnet. Dies geschieht erst nachdem die Auswahl **Ergebnis** aktiviert wurde.

Das Auswahlmenü ist unterteilt in Funktionalitäten zur Darstellung von Modelldefinitionen und zur Definition neuer und zum Editieren vorhandener Modelldefinitionen.

Modelldefinitionen darstellen dient zum An- und Abschalten der Darstellung von Knotenidentifikatoren, Elementidentifikatoren und von Lasten- und Lagerdarstellungen.

Modelldefinitionen neu definieren und vorhandene editieren öffnet jeweils einen Benutzerdialog für einen Knoten, ein Element, eine Last oder ein Lager. Zudem können die Parameter eines Lösungsverfahrens für ein zeitabhängiges Berechnungsverfahren eines Modells definiert oder verändert werden.

Vielfache Funktionalitäten für die Ergänzung und Veränderung eines vorhandenen Modells ergeben sich aus verschiedenen interaktiven Möglichkeiten der Einflussnahmen auf ein bestehendes Modell. Zusätzlich zur Menüauswahl stehen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung.

Ein Linksklick auf einen Textidentifikator oder auf eine grafische Repräsentation einer Modelldefinition (Element, Last, Lager) öffnet einen Benutzerdialog mit den aktuellen Werten der zugehörigen Modelldefinition. Diese Werte können akzeptiert, editiert oder gelöscht werden. Ebenso kann die zugehörige Modelldefinition komplett gelöscht (aus dem Modell entfernt) werden.

Knoten neu, editieren, löschen

Die Menüauswahl Knoten öffnet einen leeren Benutzerdialog für einen Knoten und eine Tabelle mit bereits bestehenden Knotenidentifikatoren. Diese Werte können für die Definition eines neuen Knotens ausgefüllt werden. Durch Eingabe eines bereits bestehenden Knotenidentifikators werden die aktuellen Werte des zugehörigen Knotens dargestellt und diese können akzeptiert oder editiert werden.

Ein Linksklick auf einen Knotenidentifikator öffnet einen Benutzerdialog mit den aktuellen Knotenwerten (Id, Anzahl Freiheitsgrade und Koordinaten). Zudem erscheint eine Tabelle mit den bereits bestehenden Knotenidentifikatoren und an der Position des gewählten Knoten erscheint ein roter „Pilotpunkt“. Wird der Zeiger auf diesen Pilotpunkt bewegt, rechts gedrückt und gehalten, so kann dieser mit dem Zeiger (langsam) bewegt werden. Die kontinuierlich aktualisierten Koordinaten werden im zugehörigen Benutzerdialog angezeigt. Dieser Vorgang wird mit einem Rechtsklick beendet. Die daraus resultierenden Knotenkoordinaten können im Benutzerdialog weiter editiert und schließlich mit **Ok** akzeptiert werden oder eine Knotendefinition kann komplett gelöscht werden. Der resultierende Modellzustand wird unmittelbar neu dargestellt.

Element neu, editieren, löschen

Die Menüauswahl Elemente hat drei Unterauswahlmöglichkeiten: **Element**, **Querschnitt** und **Material**.

Element öffnet einen leeren Benutzerdialog für ein Element und eine Tabelle mit bereits bestehenden Knotenidentifikatoren. Diese Werte können für die Definition eines neuen Elementes ausgefüllt werden. Durch Eingabe eines bereits bestehenden Elementidentifikators werden die aktuellen Werte des zugehörigen Elements dargestellt und diese können akzeptiert oder editiert werden.

Ein Linksklick auf einen Elementidentifikator öffnet einen Dialog mit den aktuellen Elementwerten (ID, Typ, Startknoten ID, EndknotenID, Material ID, E-Modul, spez. Masse, Querschnitt ID, Querschnittsfläche und Trägheitsmoment). Zudem erscheint eine Tabelle mit den bereits bestehenden Elementidentifikatoren. Material- und Querschnittswerte werden in der Regel über Material ID und Querschnitt ID zugeordnet. Der Verweis über solche

„Gruppen“-identifikatoren erlaubt die Festlegung mehrerer Materialwerte (z.B. E-Modul, spez. Masse) und mehrerer Querschnittwerte (z.B. Querschnittfläche und Trägheitsmoment) zu einer ganzen Gruppe von Elementen. Wird hingegen im Benutzerdialog ein bestimmter Wert für *einzelne* Elementwerte (z.B. E-Modul, spez. Masse, Querschnittsfläche, Trägheitsmoment) für ein spezifisches Element festgelegt, so haben diese Vorrang vor den Gruppenverweisen und werden für die Berechnung genutzt. Im Benutzerdialog können also *entweder* die Gruppen-IDs festgelegt werden *oder* die Einzelwerte. Werden beide festgelegt, so hat der Einzelwert Vorrang.

Im Benutzerdialog können die Knotenbezüge (Start-, Endknoten) interaktiv festgelegt werden. Wenn der Benutzerdialog aktiv ist, werden hierzu Knoten-IDs angeklickt und der erste Klick wird als neuer Startknoten interpretiert und der zweite als Endknoten. Beide werden umgehend im Benutzerdialog angezeigt.

Ähnlich können die Material- und Querschnittbezüge durch einen Klick auf einen anderen Elementidentifikator festgelegt werden, dessen Werte gelesen und für das neue Element übernommen werden.

Die Unterauswahlmöglichkeiten **Material** und **Querschnitt** öffnen jeweils einen Benutzerdialog zur Festlegung eines neuen Textidentifikators mit den zugeordneten Gruppenwerten.

Lasten neu, editieren, löschen

Die Unterauswahlmöglichkeiten **Knotenlast**, **Linienlast** und **Punktlast** öffnen jeweils einen Benutzerdialog zur Festlegung der Werte des jeweiligen, neuen Lasttyps oder zum Löschen einer Last.

Im Benutzerdialog **Knotenlast** kann der zugehörige Knoten durch einen Linksklick auf einen Knotenidentifikator definiert werden. Der Knotenlastidentifikator wird dann generiert.

In den Benutzerdialogen **Linienlast** und **Punktlast** kann das zugehörige Element durch einen Linksklick auf einen Elementidentifikator definiert werden. Der Punktlastidentifikator wird dann jeweils generiert.

Lager neu, editieren, löschen

Die Auswahl **Lager** öffnet einen Benutzerdialog zur Festlegung der Werte eines neuen Lagers oder zum Löschen eines Lagers.

Im Benutzerdialog **Lager** kann der zugehörige Knoten durch einen Linksklick auf einen Knotenidentifikator definiert werden. Der Lageridentifikator wird dann generiert.

Die Auswahl **Zeitintegration** wird nur für die Durchführung einer dynamischen Zeitverlaufsrechnung benötigt. Sie öffnet einen Benutzerdialog zur Eingabe der Parameter für eine dynamische Zeitverlaufsrechnung des Tragwerks.

Drei unterschiedliche Lösungsmethoden stehen für die Zeitintegration zur Verfügung. Das Newmark Verfahren mit den Parametern β und γ , das Wilson θ -Verfahren mit dem Parameter θ und das α -Verfahren mit dem Parameter α .

Zeitintegration für Tragwerksanalyse

Maximale Zeit für Integration t_{\max} [s]

Anzahl Eigenlösungen in Zeitintegration

modale Dämpfungsmaße ξ_i

Eigenform =

Methode für Zeitintegration

☐ Newmark, Parameter β und γ
 $\gamma \geq 1/2$ und $\beta \geq 1/4(\gamma+0.5)^2$ unbedingt stabil

☐ Wilson θ , Parameter θ
 mit $(1 \leq \theta < 2)$, empfohlen 1.420815
 ($\theta > 1.366025$), für Δt kritisch
 ($\gamma = 1/2$ und $\beta = 1/4$)

☐ α Method, Parameter $(-1/2 \leq \alpha \leq 0)$
 $\gamma = (1/2 - \alpha)$ und $\beta = 1/4(1 - \alpha)^2$
 $-1/2 \leq \alpha \leq 0$ unbedingt stabil

Zeitschritt Δt für die Lösung [s]

Anfangsbedingung

Gesamtanzahl =

Diese beinhalten die Definition der

- Gesamtzeit des Zeitverlaufs,
- Anzahl der Eigenlösungen, die berechnet und berücksichtigt werden sollen,
- ggf. modale Dämpfungsmaße,
- die Parameter für das gewählte Lösungsverfahren,
- die Länge des Zeitschritts Δt für die Gesamtdauer der Lösung und
- ggf. vorbestimmte Anfangsbedingungen.

Eine zweite Grundintention dieser Software ist die **interaktive Ergebnisexploration**. Zu diesem Zweck werden die wesentlichen Ergebnisse einer Berechnung wieder in **tabellarischer Form** dargestellt und können unabhängig davon oder parallel dazu in visueller Form veranschaulicht werden.

Die **visuelle Darstellung** der Ergebnisse einer Berechnung beinhaltet zum einen die grafische Darstellung der primalen Ergebnisse (Modellverformungen bzw. -temperaturen), der dualen Ergebnisse (Wärmefluss bzw. Lagerreaktionen) und zum anderen eine grafische Darstellung abgeleiteter Ergebnisse wie z.B. Schnittkraftverläufe oder Wärmefluss.

Ergebnisausgabe

Knotenverformungen

| Knoten | ux | uy | phi |
|--------|--------|--------|---------|
| k1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| k2 | 0,3018 | 0,0000 | -0,0467 |
| k3 | 0,3018 | 0,0000 | |
| k4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

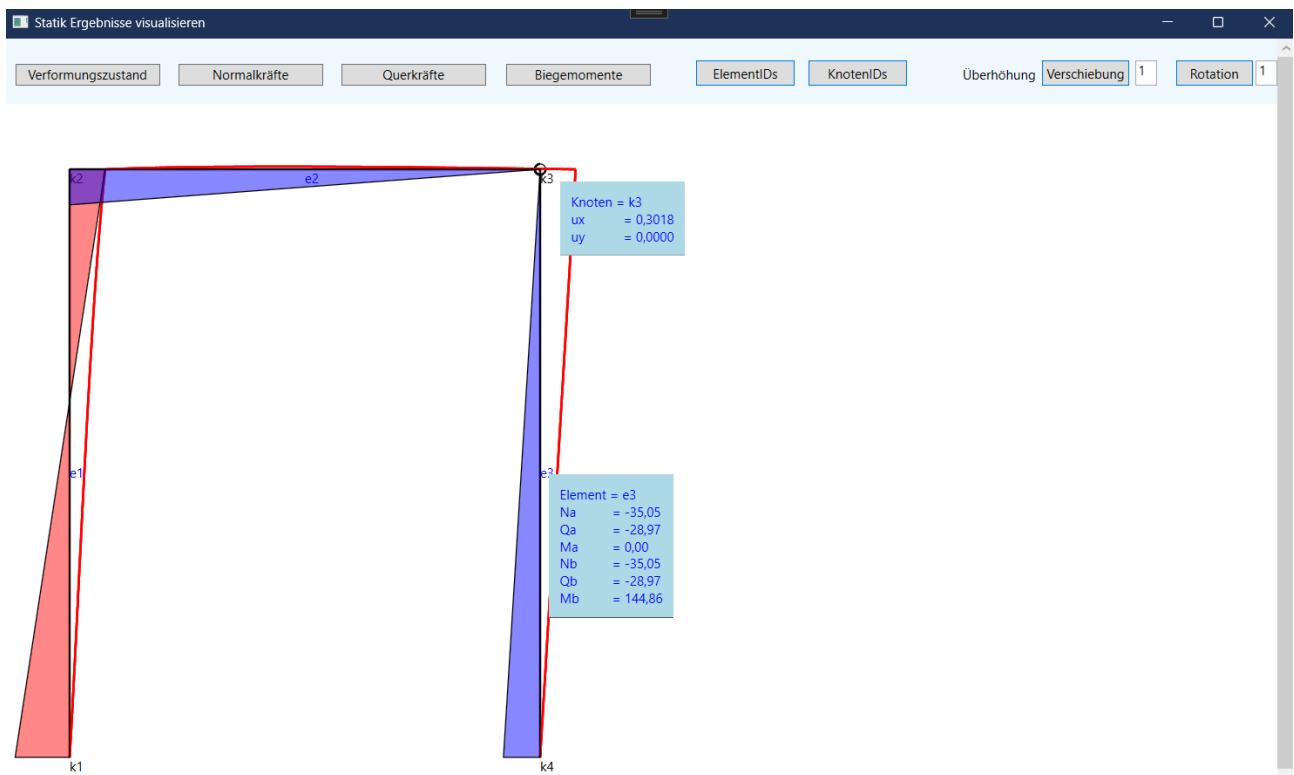
Schnittkräfte an Elementanfang und -ende

| Element | Na | Qa | Ma | Nb | Qb | Mb |
|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| e1 | 35,05 | -71,03 | -214,96 | 35,05 | -71,03 | 140,18 |
| e2 | -28,97 | 35,05 | 140,18 | -28,97 | 35,05 | 0,00 |
| e3 | -35,05 | -28,97 | 0,00 | -35,05 | -28,97 | 144,86 |

Lagerreaktionen

| Knoten | Rx | Ry | M |
|--------|--------|--------|--------|
| k1 | -71,03 | -35,05 | 214,96 |
| k4 | -28,97 | 35,05 | 144,86 |

Statik Ergebnisse visualisieren hilft die Lokalisierung und Verteilung der Ergebnisse zu veranschaulichen. Sie wird unterstützt durch Popup-Fenster, die nach Linksklick auf Textidentifikatoren und Grafikelemente aufklappen und Detailinformationen zu Ergebnissen an diesen Elementen anzeigen. Mit einem Rechtsklick wird das Fenster wieder geschlossen.

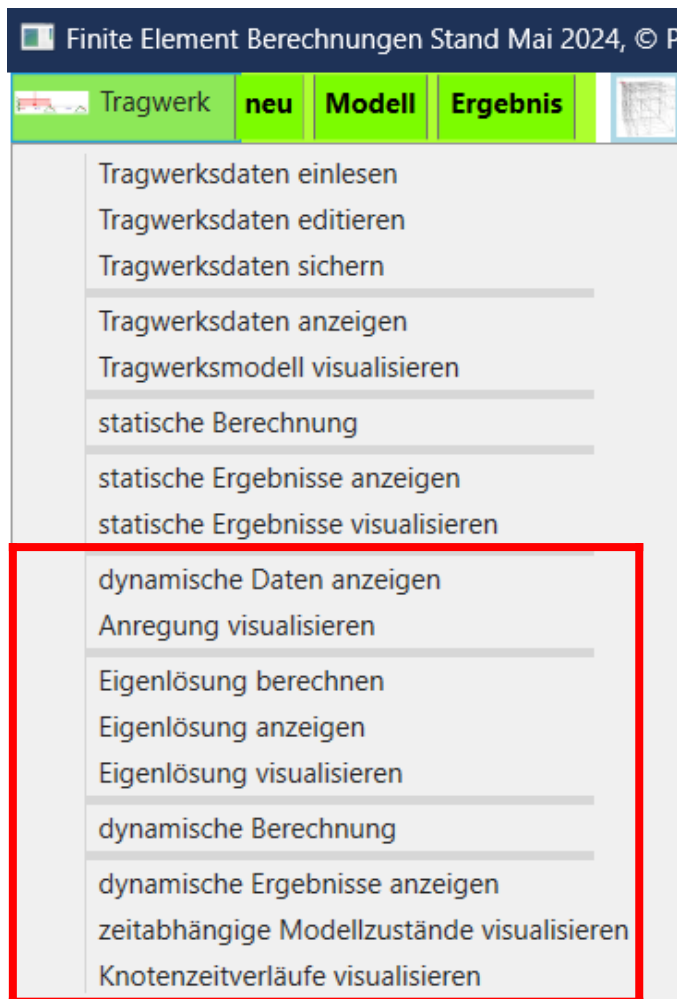


Die Darstellung unterstützt die Darstellung des Verformungszustandes (rot) und der Schnittkräfte (hier Biegemomente).

Elemente IDs und Knoten IDs können an- und abgeschaltet werden.

Die Darstellung der Verformungen kann für eine bessere Veranschaulichung um einen benutzerdefinierten Faktor für Verschiebung und Rotation überhöht werden,

Eine dynamische Berechnung ist wesentlich aufwändiger. Die wesentlichen Funktionalitäten sind über das Aufklappmenü des Themengebietes verfügbar und umfassen die Anzeige und das Editieren der Eingabedaten für die dynamische Berechnung, Die Visualisierung der dynamischen Anregung, die Berechnung, Anzeige und Visualisierung der Eigenlösungen, den expliziten Start der dynamischen Berechnung und schließlich die Berechnungsergebnisse in Form einer alfanumerische Anzeige, der Visualisierung der zeitabhängigen Modellzustände und der Visualisierung der Knotenzeitverläufe.



Im folgenden Beispiel der dynamischen Berechnung eines Industriekamins sollen 4 Eigenlösungen berücksichtigt werden und die Berechnung über eine Gesamtdauer von 30s mit einem Zeitintervall von 0,005s erfolgen. Als Lösungsverfahren soll das Newmark-Verfahren mit den Integrationsparametern 0,25 und 0,5 genutzt werden.

Knotenanzangswerte sollen nicht definiert werden und die Anregung soll eine zeitabhängige Knotenlast als Bodenanregung am Freiheitsgrad 0 sein, deren Werte aus einer Datei gelesen werden. Ein modales Dämpfungsmaß soll 2% für alle Eigenlösungen betragen.

Es sollen 4 **Eigenlösungen** berechnet werden und alfanumerisch angezeigt werden.

| Eigenfrequenzen | | | Eigenvektoren | | | | |
|-----------------|--------|--|---------------|----------|----------|----------|--|
| 0 | 0,552 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| 1 | 3,247 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| 2 | 8,599 | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| 3 | 14,987 | | 0,00592 | 0,02375 | 0,04216 | 0,03983 | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| | | | -0,00055 | -0,00165 | -0,00126 | 0,00132 | |
| | | | 0,02074 | 0,04325 | 0,01051 | -0,03995 | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| | | | -0,00089 | 0,00011 | 0,00346 | 0,00071 | |
| | | | 0,04037 | 0,01420 | -0,03858 | 0,02641 | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| | | | -0,00104 | 0,00264 | -0,00047 | -0,00215 | |
| | | | 0,06172 | -0,05222 | 0,03530 | -0,01549 | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | |
| | | | -0,00108 | 0,00366 | -0,00531 | 0,00422 | |

Ergebnisse der zeitabhängigen Berechnung in alfanumerischer Form. Nach Auswahl eines Knotens werden dessen Verformungen (Delta) und Beschleunigungen (Acc) an allen Freiheitsgraden und allen Zeitschritten angezeigt. Die Maximalwerte werden ermittelt und in der Überschrift als Text ausgegeben.

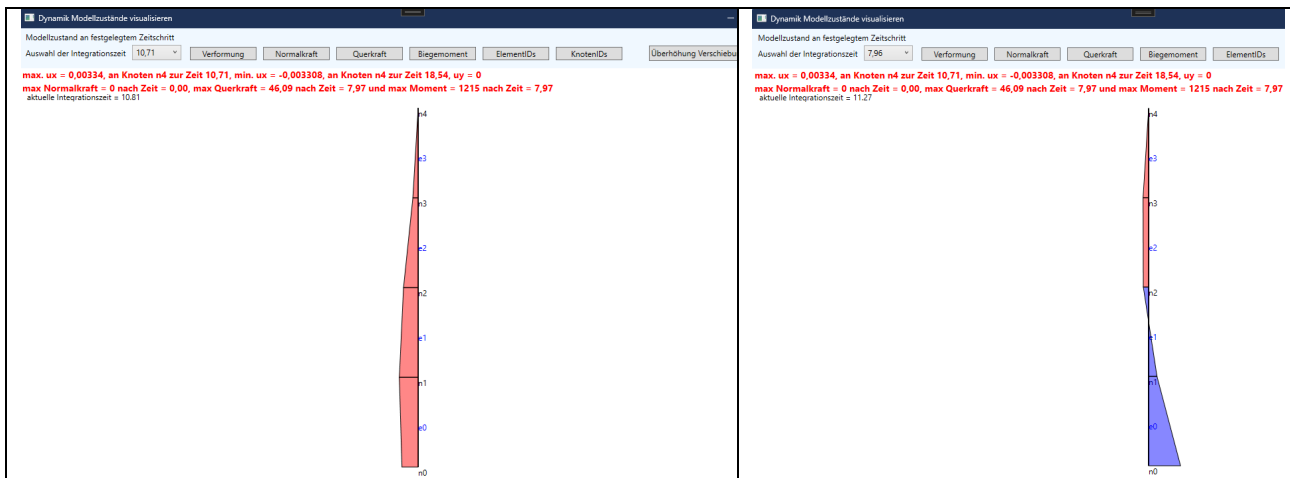
Nach Auswahl eines Zeitschritts wird der Modellzustand an allen Knoten zu diesem Zeitschritt angezeigt.

| Ergebnisse der zeitabhängigen Berechnung | | | | | | |
|---|-----------|--------|------------|-----------|------|------------|
| Knoten Zeitverlauf | | | | | | |
| Auswahl des Knotens n4 | | | | | | |
| max. DeltaX = 0,00334, t = 10,71, max. DeltaY = 0, t = 0,00 | | | | | | |
| max. AccX = 0,1679, t = 10,25, max. AccY = 0, t = 0,00 | | | | | | |
| Zeit | DeltaX | DeltaY | Phi | AccX | AccY | AccPhi |
| 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,001369 | 0 | 0 |
| 0,01 | 1,891E-08 | 0 | 1,964E-11 | 0,001656 | 0 | 3,142E-06 |
| 0,01 | 7,621E-08 | 0 | 4,779E-11 | 0,001462 | 0 | -4,923E-06 |
| 0,02 | 1,664E-07 | 0 | -6,124E-13 | 0,0006787 | 0 | -5,543E-06 |
| 0,02 | 2,781E-07 | 0 | -2,185E-10 | 0,0006317 | 0 | -1,111E-05 |
| 0,03 | 4,056E-07 | 0 | -6,363E-10 | 0,0005792 | 0 | -4,205E-06 |
| 0,03 | 5,476E-07 | 0 | -1,184E-09 | 0,000525 | 0 | -1,289E-06 |
| 0,04 | 7,026E-07 | 0 | -1,688E-09 | 0,0004655 | 0 | 1,386E-05 |
| 0,04 | 8,693E-07 | 0 | -1,885E-09 | 0,0004093 | 0 | 2,254E-05 |
| 0,05 | 1,046E-06 | 0 | -1,47E-09 | 0,0003703 | 0 | 3,91E-05 |
| 0,05 | 1,233E-06 | 0 | -1,515E-10 | 0,0003617 | 0 | 4,376E-05 |
| 0,06 | 1,429E-06 | 0 | 2,276E-09 | 0,0003922 | 0 | 5,085E-05 |
| 0,06 | 1,635E-06 | 0 | 5,873E-09 | 0,0004649 | 0 | 4,169E-05 |
| 0,07 | 1,852E-06 | 0 | 1,051E-08 | 0,0005764 | 0 | 3,272E-05 |
| 0,07 | 2,085E-06 | 0 | 1,587E-08 | 0,000718 | 0 | 7,945E-06 |
| 0,08 | 2,335E-06 | 0 | 2,145E-08 | 0,0008758 | 0 | -1,344E-05 |
| 0,08 | 2,607E-06 | 0 | 2,663E-08 | 0,001033 | 0 | -4,514E-05 |
| 0,09 | 2,905E-06 | 0 | 3,075E-08 | 0,001173 | 0 | -6,655E-05 |
| 0,09 | 3,232E-06 | 0 | 3,318E-08 | 0,001281 | 0 | -9,118E-05 |

| Modellzustand an einem festgelegtem Zeitschritt | | | | | | |
|---|-----------|--------|------------|----------|------|-----------|
| Auswahl des Zeitschritts 10,71 Anzeigen | | | | | | |
| Knoten | DeltaX | DeltaY | Phi | AccX | AccY | AccPhi |
| n0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n1 | 0,0002363 | 0 | -2,423E-05 | 0,01899 | 0 | -0,000932 |
| n2 | 0,0009618 | 0 | -4,736E-05 | 0,007648 | 0 | 0,002379 |
| n3 | 0,002068 | 0 | -6,113E-05 | -0,06006 | 0 | 0,003275 |
| n4 | 0,00334 | 0 | -6,479E-05 | -0,1092 | 0 | 0,002048 |

Zeitabhängige Modellzustände können für ausgewählte Zeitschritte **visualisiert** werden. Hierzu wird der gewünschte Zeitschritt ausgewählt und die Zustandsgrößen an diesem Zeitschritt visualisiert.

Es werden die Maximalwerte über den gesamten Zeitverlauf als Text ausgegeben mit dem Zeitpunkt ihres Auftretens.



Hier wird die Verteilung des Biegemomentes an 2 verschiedenen Zeitschritten dargestellt. Wird die Auswahl einer Zustandsgröße mehrfach angeklickt, so wird der Zeitschritt kontinuierlich weitergezählt.

Schließlich können noch die **Knotenzeitverläufe der Verformungen und Beschleunigungen** für einen ausgewählten Knoten visualisiert werden. Der Maximalwert wird als Text mit dem Zeitpunkt seines Auftretens angezeigt.



Hier wird die Verformung des Knotens „n4“ in X-Richtung über den gesamten Zeitverlauf visualisiert.

Programm Download über Git:

<https://github.com/KarlBeucke/FE-Berechnungen>