

# **Software für Berechnungen im Bauingenieurwesen nach der Methode der Finiten Elemente**

## **FE-Berechnungen**

Prof. Dr.-Ing. Karl E. Beucke, Ettersburg

2024

## 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.

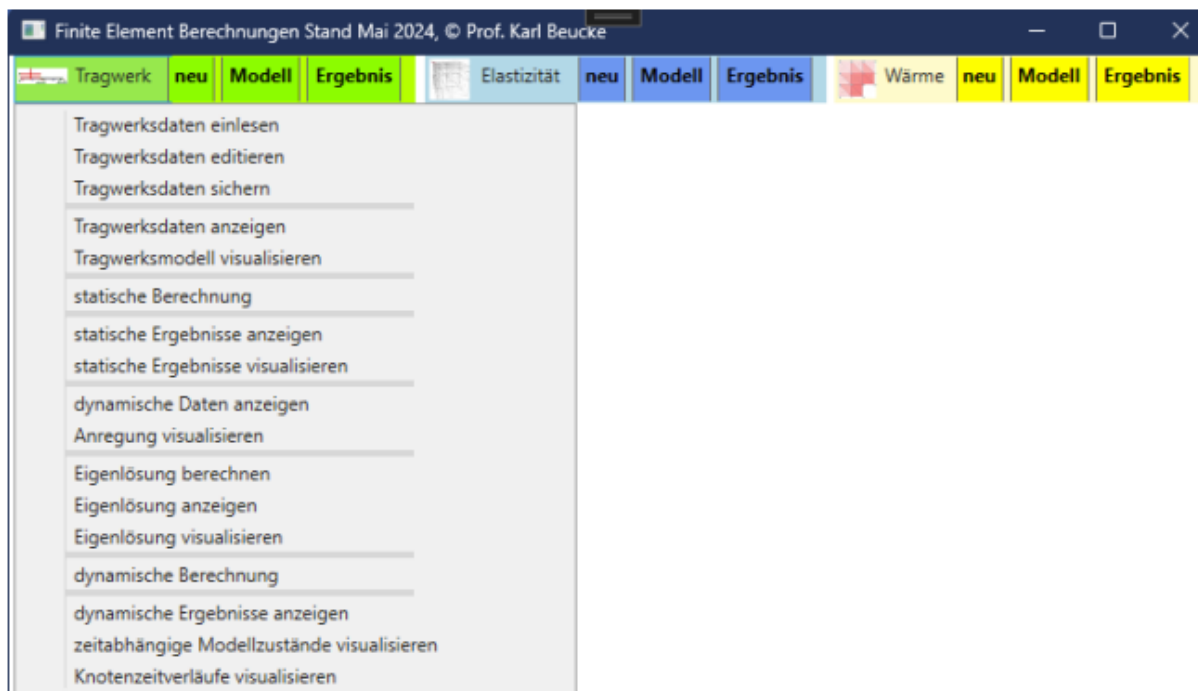
Physikalische Berechnungen werden in der Regel untersucht für Lasteinwirkungen, die zeitlich unveränderlich sind. Dies wird in der Tragwerksberechnung als „statisch“ und in der Wärmeberechnung als „stationär“ bezeichnet. Sollen zudem aber auch zeitlich veränderlich wirkende Lasteinwirkungen wie Wind, 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 Texidentifikator 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 drei Themengebiete (Tragwerk, Elastizität, Wärme) an mit dem kompletten Funktionsumfang jedes einzelnen Themengebietes jeweils als Aufklappmenü unter dem jeweiligen Themengebiet (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

- neues Modell einlesen (**neu**), d.h. Modelldaten für angewähltes Themengebiet aus entsprechendem “input”-Verzeichnis einlesen
- aktuelle Modelldaten (**Modell**) visualisieren
- Berechnungen ausführen und Ergebnisse (**Ergebnis**) visualisieren

Der komplette Funktionsumfang des jeweiligen Startmenüs ist unterteilt in

- das Einlesen neuer, Editieren vorhandener und Sichern aktueller Modelldaten. Eine Textdatei mit den beschreibenden Modelldefinitionen kann aus dem Unterverzeichnis des jeweiligen Themengebietes (z.B. /FE-Berechnungen/input/Tragwerksberechnung) eingelesen, editiert oder gesichert werden. Nach erfolgreichem Einlesen werden die eingelesenen Modelldaten zur Kontrolle quittiert,

- die tabellarische Anzeige oder grafische Visualisierung der aktuellen Modelldaten,
- die Berechnung, Anzeige und Visualisierung der Ergebnisse,
- die Dateneingabe, Visualisierung und Berechnung zeitabhängiger Modellzustände,
- die Berechnung, Anzeige und Visualisierung von Eigenlösungen und
- die Anzeige und Visualisierung der Ergebnisse einer zeitabhängigen Berechnung.

Die tabellarische, alphanumerische Anzeige eines spezifischen Tragwerksmodells erfolgt in einem separaten Fenster.

TragwerksdatenAnzeigen

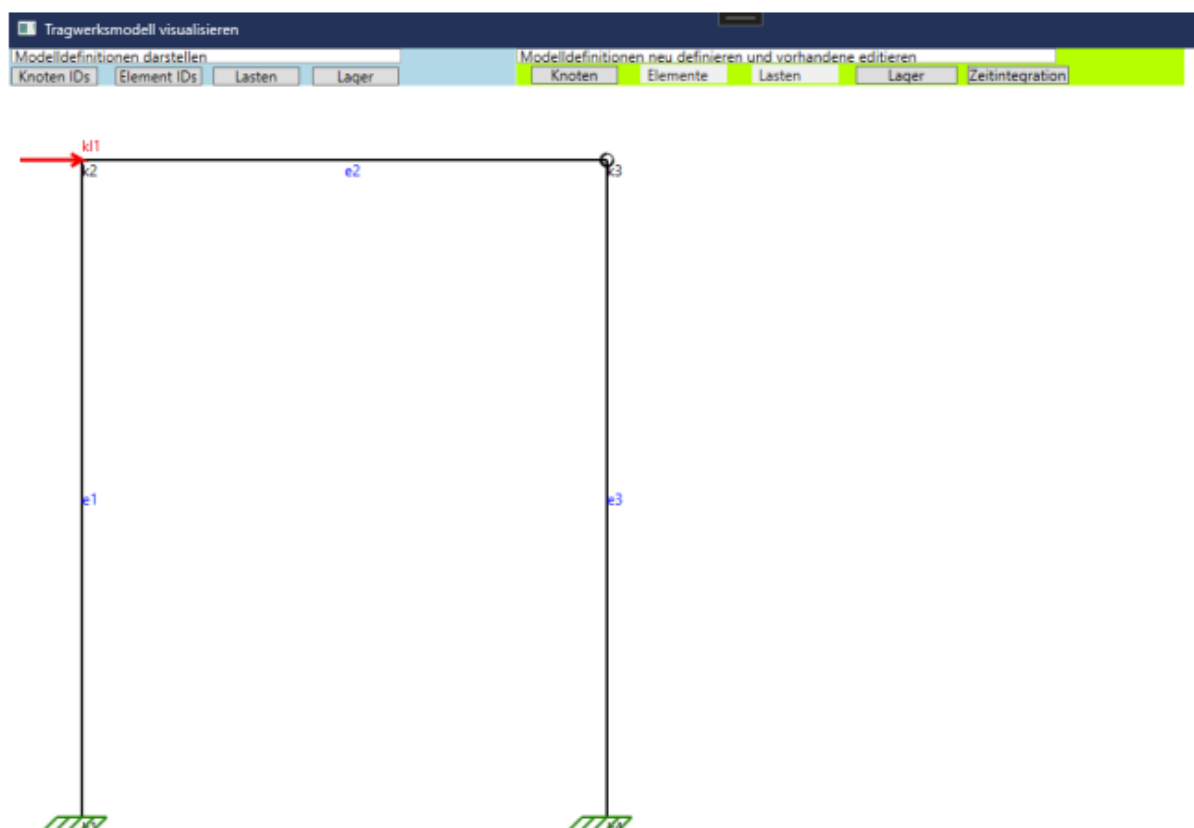
Knotendefinitionen				Elementdefinitionen					Materialdefinitionen				Knotenlastdefinitionen					
Knoten	X	Y		ID	k1	k2	Material	Querschnitt	Gele	Material	E-Modul	Masse		ID	Knoten	px	py	Moment
k1	0	0		e1	k1	k2	m0	c0	0	m0	2E+08	0		k1	k2	200,00	0,00	0,00
k2	0	5		e2	k2	k3	m0	c0	2									
k3	4	5		e3	k3	k4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

Querschnittdefinitionen				Linienlastdefinitionen					
Querschnitt	Fläche	I <sub>xx</sub>		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					

Jedes Objekt einer Modelldefinition ist durch einen eindeutigen Textidentifikator gekennzeichnet und adressierbar (z.B. Knoten k1, k2, k3, k4 oder Elemente e1, e2, e3). Bezüge auf andere Modelldefinitionen werden ausschließlich über deren Identifikator hergestellt (z.B. Element e1 auf Knoten k1, k2). Das Gleiche gilt für Material- und Querschnittsdefinitionen (z.B. m0, c0), die je nach Themengebiet unterschiedliche Inhalte beinhalten können (hier z.B. E-Modul und Masse, bzw. Fläche und Trägheitsmoment).

Auch die Benutzeroberfläche der tabellarischen Darstellung ist in begrenztem Umfang interaktiv gestaltet. Modelldefinitionen können editiert werden, neue Definitionen können hinzugefügt werden und bestehende können gelöscht werden.



Durch die Auswahl **Ergebnis** wird der resultierende Modellzustand neu berechnet und dargestellt.

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

**Modelldefinitionen darstellen** dient zum An- und Abschalten der Darstellung von Knotenidentifikatoren, Elementidentifikatoren sowie 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.

Die Menüauswahl **Knoten** öffnet ein Untermenü mit den Optionen

- Knoten
- Knotengruppe
- äquidistantes Knotennetz
- Variables Knotennetz

Die Auswahl **Knoten** öffnet einen leeren Benutzerdialog für einen Knoten und eine Tabelle mit bereits bestehenden Knotenidentifikatoren.

Durch Eingabe eines bereits bestehenden Knotenidentifikators werden die aktuellen Werte des zugehörigen Knotens dargestellt und diese können editiert und mit "Ok" akzeptiert werden.

Die Knotenwerte für die Definition neuer Knoten können im Benutzerdialog ausgefüllt werden und einzeln in eine Tabelle eingetragen werden. Sämtliche Tabelleneinträge können durch Auswahl von "Ok" in das Modell übernommen werden.

Die Auswahl "**Knotengruppe**" öffnet einen Dialog zur Definition einer Gruppe von Knoten, die alle mit einem einheitlichen Präfix für eindeutige KnotenIds generiert werden. Folglich müssen nur das einheitliche Präfix und die jeweiligen Knotenkoordinaten eingegeben werden. Die generierten Knoten werden nur tabellarisch dargestellt und erst mit der Bestätigung "**Ok**" in das Modell übernommen.

Die Auswahl "**äquidistantes Knotennetz**" und "**variables Knotennetz**" öffnet jeweils einen Dialog zur Definition eines Knotennetzes mit einer Folge gleicher oder variabler Knotenabstände in 1D oder 2D. Gleiche Abstände werden über Startkoordinaten, Inkremente in x- und y-Richtung und die Anzahl der Wiederholungen generiert. Variable Abstände werden über Startkoordinaten und durch Angabe der Abstände als Zeichenfolge mit Semikolon getrennt (z.B. 2;5;7) generiert. Das Netz wird mit eindeutigen Knotenidentifikatoren generiert und tabellarisch dargestellt. Diese werden erst mit der Bestätigung "**Ok**" in das Modell übernommen.

Zusätzlich zu den Menüoptionen stehen auch interaktive Funktionen zum Editieren von Knoten zur Verfügung. 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, Endknoten ID, 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 Querschnittswerte (z.B. Querschnittsfläche 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  $\beta$  und  $\gamma$ , das Wilson  $\theta$ -Verfahren mit dem Parameter  $\theta$  und das  $\alpha$ -Verfahren mit dem Parameter  $\alpha$ .


Zeitintegration für Tragwerksanalyse

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

Anzahl Eigenlösungen in Zeitintegration

modale Dämpfungsmaße  $\xi_i$

Eigenform =

Methode für Zeitintegration

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

☐ Wilson  $\theta$ , Parameter  $\theta$

mit  $(1 \leq \theta < 2)$ , empfohlen 1.420815  
 $(\theta > 1.366025)$ , für  $\Delta t$  kritisch  
 $(\gamma = 1/2$  und  $\beta = 1/4)$

☐  $\alpha$  Method, Parameter  $(-1/3 \leq \alpha \leq 0)$

$\gamma = (1/2 - \alpha)$  und  $\beta = 1/4 \cdot (1 - \alpha)^2$   
 $-1/3 \leq \alpha \leq 0$  unbedingt stabil

Zeitschritt  $\Delta t$  für die Lösung [s]

löschen

Abbrechen

Ok

Doppelklick für Invertieren  
aller Dämpfungsgrößen

$\beta$

$\gamma$

$\theta$

$\alpha$

Doppelklick für  
 $t_{\max}$  in Lösung

Doppelklick für Invertieren  
aller Anfangsbedingung

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  $\Delta t$  für die Gesamtdauer der Lösung und
- ggf. vorbestimmte Anfangsbedingungen

### Beurteilung der Berechnungsergebnisse:

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 primären Ergebnisse einer Berechnung sind die primalen Variablen (z.B. Knotentemperaturen oder Knotenverformungen) und die dualen Variablen (Reaktionen an vordefinierten Randbedingungen, z.B. Lager). Für die Beurteilung des Modellverhaltens sind jedoch in der Regel weitere, abgeleitete Ergebnisse von wesentlicher Bedeutung. Dies sind z.B. der Wärmefluss oder die Elementschnittkräfte. Diese werden berechnet und können tabellarisch oder visuell dargestellt werden.

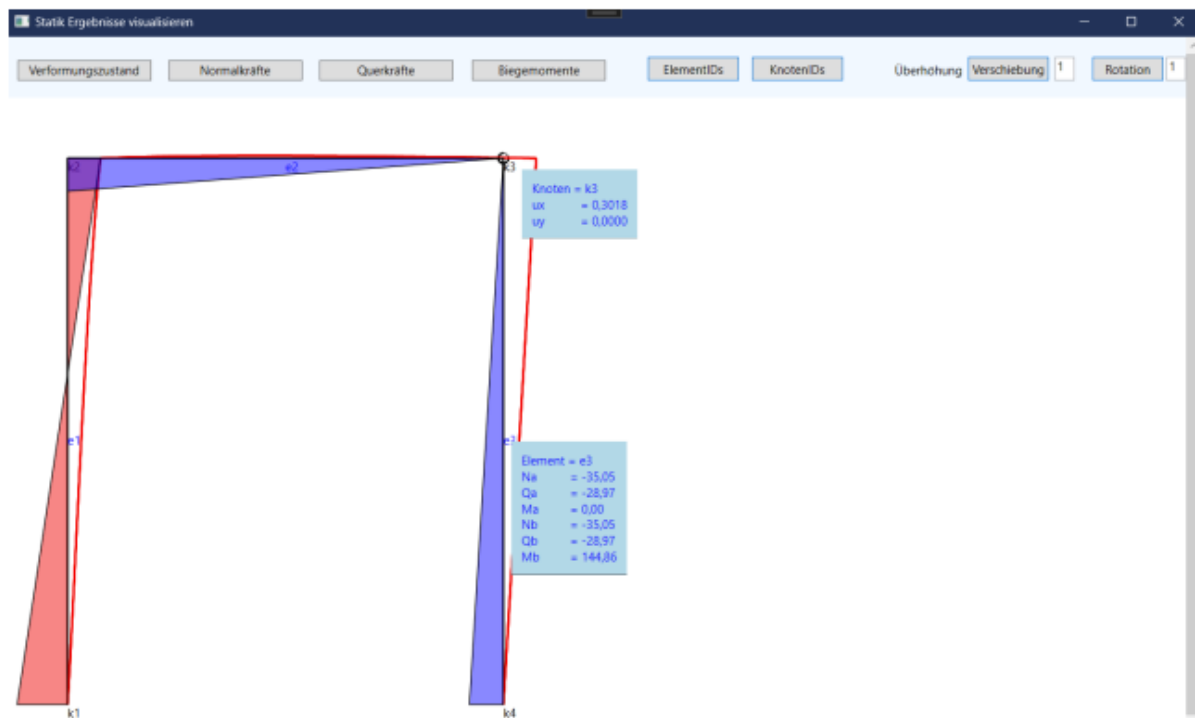
Die **visuelle Darstellung** der Ergebnisse einer Berechnung beinhaltet zum einen die grafische Darstellung der primalen Ergebnisse (Modellverformungen bzw. -temperaturen), der dualen Ergebnisse (Wärmefluss bzw. Lagerreaktionen) und zum anderen eine grafische Darstellung abgeleiteter Ergebnisse wie z.B.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

Die tabellarische Darstellung der Ergebnisse erlaubt eine schnelle Gesamtübersicht über die relative Größe der Ergebnisse.

Knotenverformungen				Schnittkräfte an Elementanfang und -ende							Lagerreaktionen			
Knoten	ux	uy	phi	Element	Na	Qa	Ma	Nb	Qb	Mb	Knoten	Rx	Ry	M
k1	0,0000	0,0000	0,0000	e1	35,05	-71,03	-214,96	35,05	-71,03	140,18	k1	-71,03	-35,05	214,96
k2	0,3018	0,0000	-0,0467	e2	-28,97	35,05	140,18	-28,97	35,05	0,00	k4	-28,97	35,05	144,86
k3	0,3018	0,0000		e3	-35,05	-28,97	0,00	-35,05	-28,97	144,86				
k4	0,0000	0,0000	0,0000											

**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.

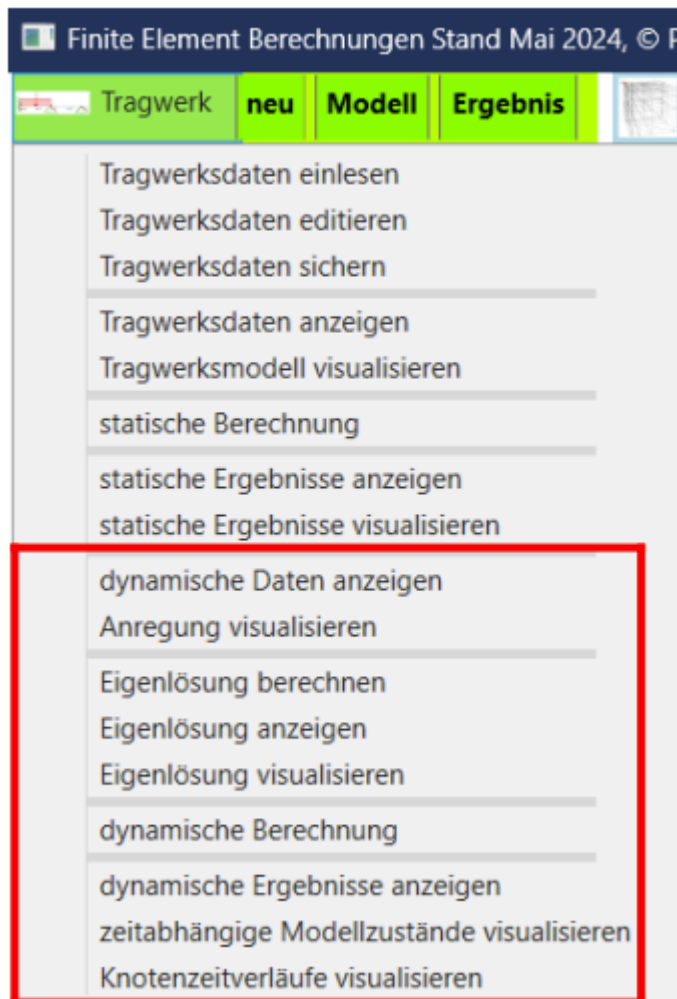


Die Darstellung unterstützt die Darstellung des Verformungszustandes (rot) und der Schnittkräfte (hier Biegemomente).

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 alphanumerische 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.

DynamikDatenAnzeigen

**Anzahl Eigenlösungen und Integrationsparameter**  
Anzahl Eigenlösungen = 4  
Zeitintervall Delta T = 0,005  
Maximalzeit Tmax = 30  
Integrations Methode = 1  
Integrationsparameter = 0,25  
Integrationsparameter = 0,5

**Knotenanzfangswerte**  
Knoten 1 d0 1 v0 2 d0 2 v0 3 d0 3 v0

**zeitabhängige Knotenlasten**

aus Datei

Id	Knoten	DoF
zkl0	boden	0

harmonisch

Id	Knoten	DoF	Amplitude	Frequenz	Phase
----	--------	-----	-----------	----------	-------

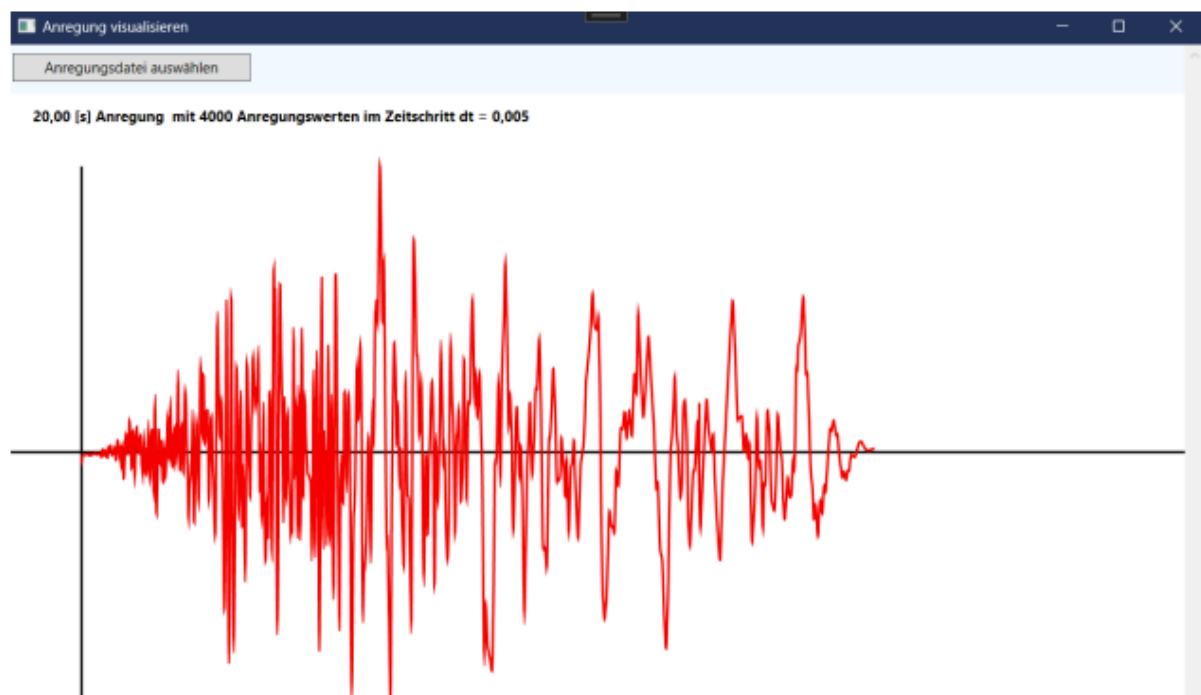
stückweise linear  
Wertepaare (t=Zeit,T=Temperatur)

Id	Knoten	DoF	t	T	t	T	t	T	t	T
----	--------	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

**Bodenanregung**

**modale Dämpfungsdaten**  
Dämpfungsmaße  
0,02 alle Eigenmodes

Die Anregungsfunktion wird aus einer Datei gelesen. Beispiele sind im Verzeichnis FE-Berechnungen/input/Tragwerksberechnung/Dynamik/Anregungsdatei.



Hier wird die Bodenbeschleunigung an einem Beschleunigungsmesser des El Centro Erdbebens von 1940 über eine Zeitdauer von 20 Sekunden in Zeitschritten von 0,005 Sekunden dargestellt.

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

Eigenlösung anzeigen

Eigenfrequenzen

Eigenvektoren

0	0,552				
1	3,247				
2	8,599				
3	14,987				

**Ergebnisse der zeitabhängigen Berechnung** in alphanumerischer 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 <span>n4</span> 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 <span>10,71</span> <span>Anzeigen</span>						
Knoten	DeltaX	DeltaY	Phi	AccX	AccY	AccPhi
n0	0	0	0	0	0	0
n1	0,0002363	0	-2,423E-05	0,01899	0	-0,00093
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.