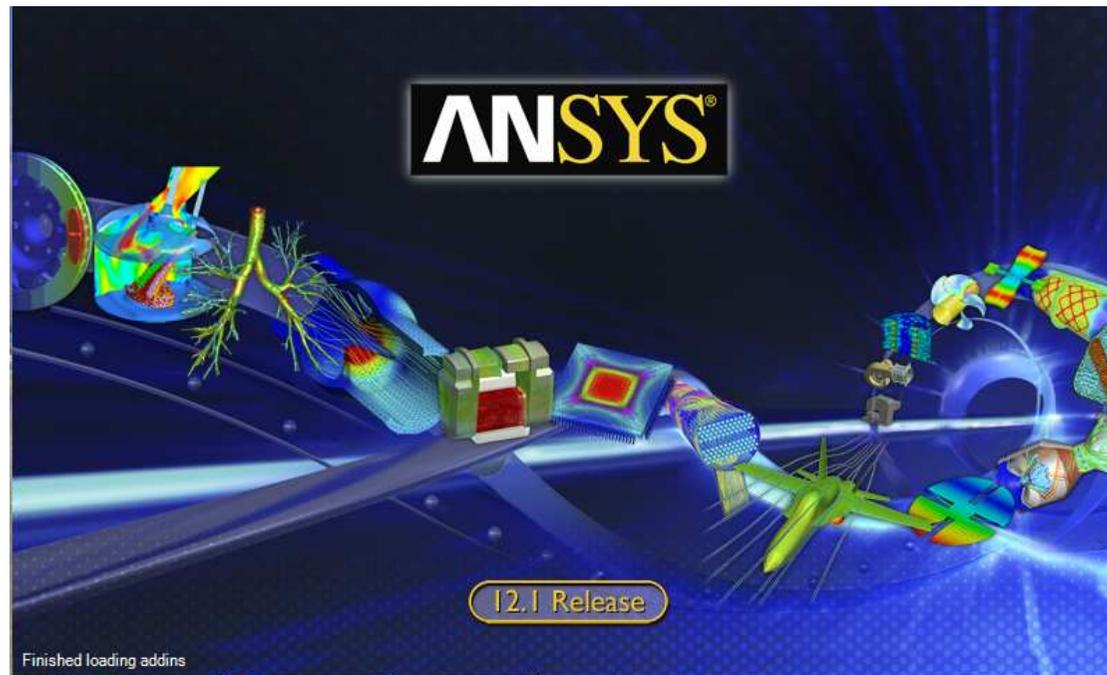
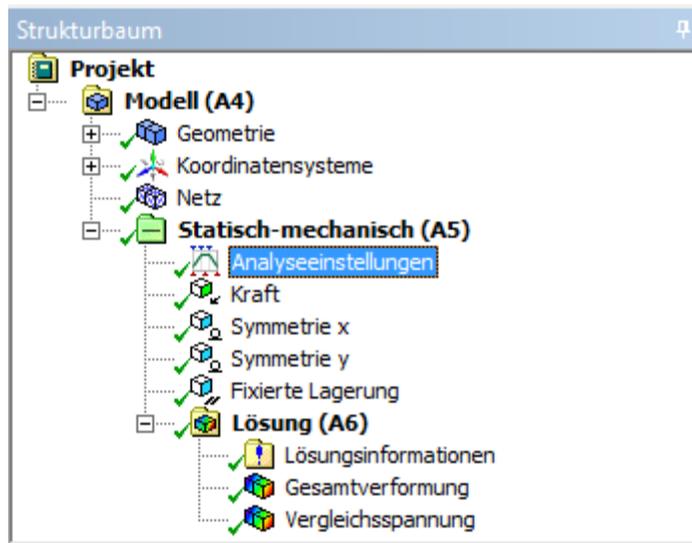


Analyseeinstellungen in ANSYS



Wird im Strukturbaum Analyseeinstellungen ausgewählt, lassen sich im Detailfenster verschiedene Voreinstellungen zur Berechnung und Ausgabe der Ergebnisse einstellen.



Im folgendem werden Einstellungen zur Steuerung nichtlinearer Berechnungen behandelt.

Details von "Analyseeinstellungen"	
Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	1, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Aus
Trägheitsausgleich	Aus
Nichtlineare Steuerungen	
Kraftkonvergenz	Programmgesteuert
Momentenkonvergenz	Programmgesteuert
Verschiebungskonvergenz	Programmgesteuert
Rotationskonvergenz	Programmgesteuert
Line-Search	Programmgesteuert
Ausgabesteuerungen	
Spannung berechnen	Ja
Dehnung berechnen	Ja
Kontaktfläche berechnen	Nein
Ergebnisse berechnen bei	Alle Zeitpunkte
Analysedatenverwaltung	
Solver-Dateienverzeichnis	C:\Fh\Fem\ANSYS\Workb...
Künftige Analyse	Keine
Solver-Arbeitsdateienverzeichnis	
ANSYS-Datenbasis speichern	Nein
Nicht benötigte Dateien löschen	Ja
Nichtlineare Lösung	Nein
Solver-Einheiten	Aktives System
Solver-Maßeinheitensystem	nmm
Sichtbarkeit	
[A] Kraft	Anzeige



Zeitschrittsteuerung

Lasten werden in ANSYS grundsätzlich zeitabhängig vorgegeben. Man unterscheidet:

Lastschritte

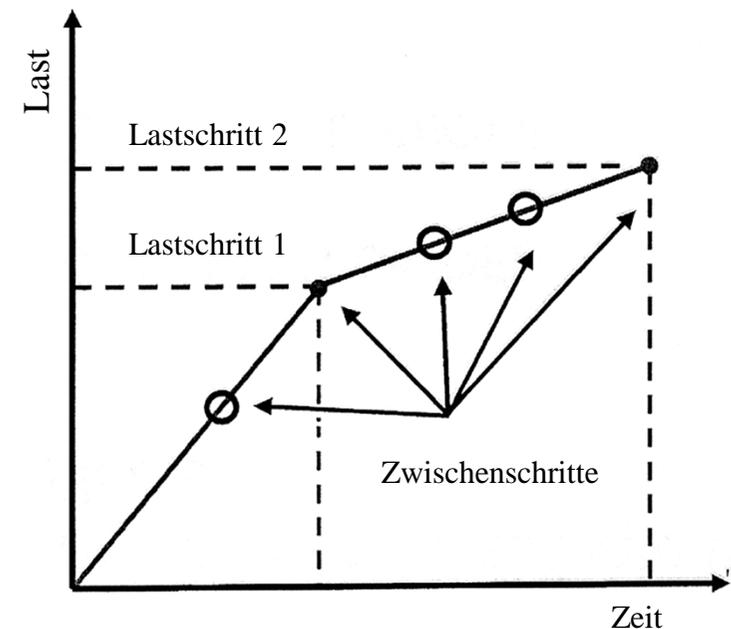
Änderung der der Belastung über der Zeit, wird vom Anwender vorgegeben

Zwischenschritte

Unterteilung von Lastschritten. Dient zur Ausgabe von Zwischenergebnissen und zur Konvergenzverbesserung, kann vom Anwender vorgegeben werden.

Gleichgewichtsiteration

Bei jedem Zwischenschritt wird eine Gleichgewichtsiteration durchgeführt, bis Konvergenz eintritt (Newton Raphson).

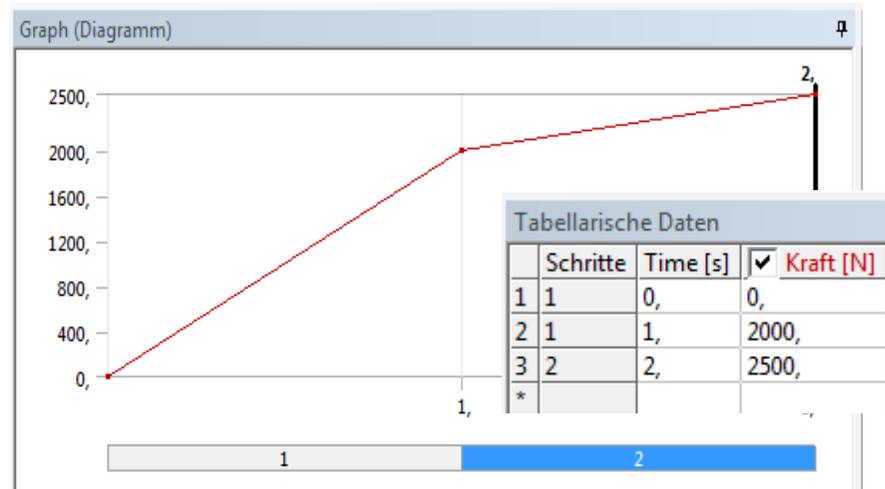


Mehrschrittanalyse

Auch in statischen Analysen kann es aus Konvergenzgründen erforderlich sein, die Last in mehreren Schritten (Mehrschrittanalyse) aufzubringen.

Details von "Analyseeinstellungen"

Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	2,
Aktuelle Schrittnummer	2,
Zeit nach Schritt	2, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
+ Solver-Steuerungen	
+ Nichtlineare Steuerungen	
+ Ausgabesteuerungen	
+ Analysedatenverwaltung	
+ Sichtbarkeit	

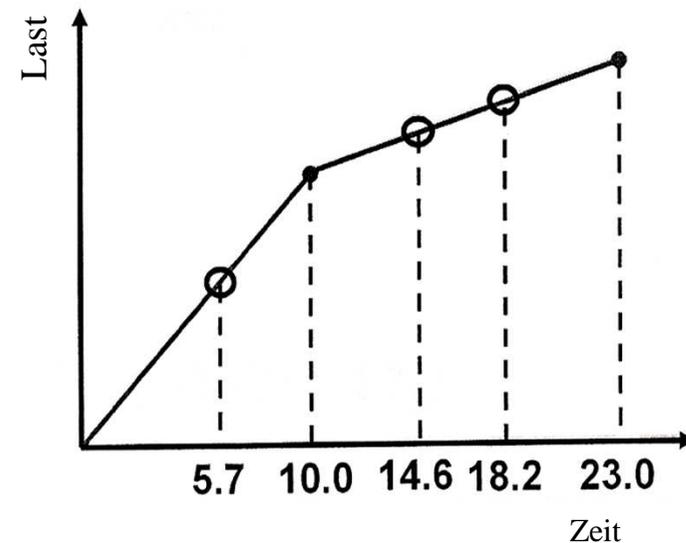


Hierbei wird die Anzahl der Lastschritte festgelegt und für die aktuelle Schrittnummer die Belastung in Abhängigkeit vom Zeitparameter (Time) tabellarisch vorgegeben.

Zeitparameter

Jedem Lastschritt wird in ANSYS einen Wert des Zeitparameters eindeutig zugeordnet. In transienten Analysen wird damit der zeitliche Verlauf der Belastung festgelegt.

Details von "Analyseinstellungen"	
Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	2,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
Solver-Steuerungen	
Nichtlineare Steuerungen	
Ausgabesteuerungen	
Analysedatenverwaltung	
Sichtbarkeit	

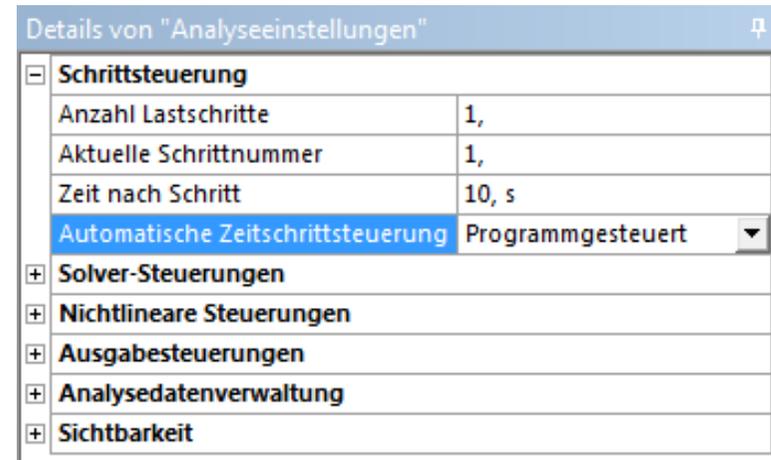


In statischen Analysen wird der Zeitparameter lediglich als Zähler (Tracking-Parameter) benutzt, er hat keine physikalische Bedeutung. Oftmals wird die Zeit gleich dem Wert der Last im betrachteten Lastschritt gesetzt.

Programmgesteuerte Zeitschrittsteuerung

Bei der Option programgesteuerten Zeitschrittsteuerung wird die Anzahl der benötigten Zwischenschritte je Lastschritt vom Programm automatisch nach folgenden Kriterien festgelegt:

- Anzahl der Gleichgewichtsiterationen im letzten Lastschritt
- Kontaktstatus bei Kontaktproblemen
- Dehnungszunahme bei nichtlinearem Materialverhalten
- Kriechdehnung usw.



Details von "Analyseinstellungen"	
[-] Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
[+] Solver-Steuerungen	
[+] Nichtlineare Steuerungen	
[+] Ausgabesteuerungen	
[+] Analysedatenverwaltung	
[+] Sichtbarkeit	

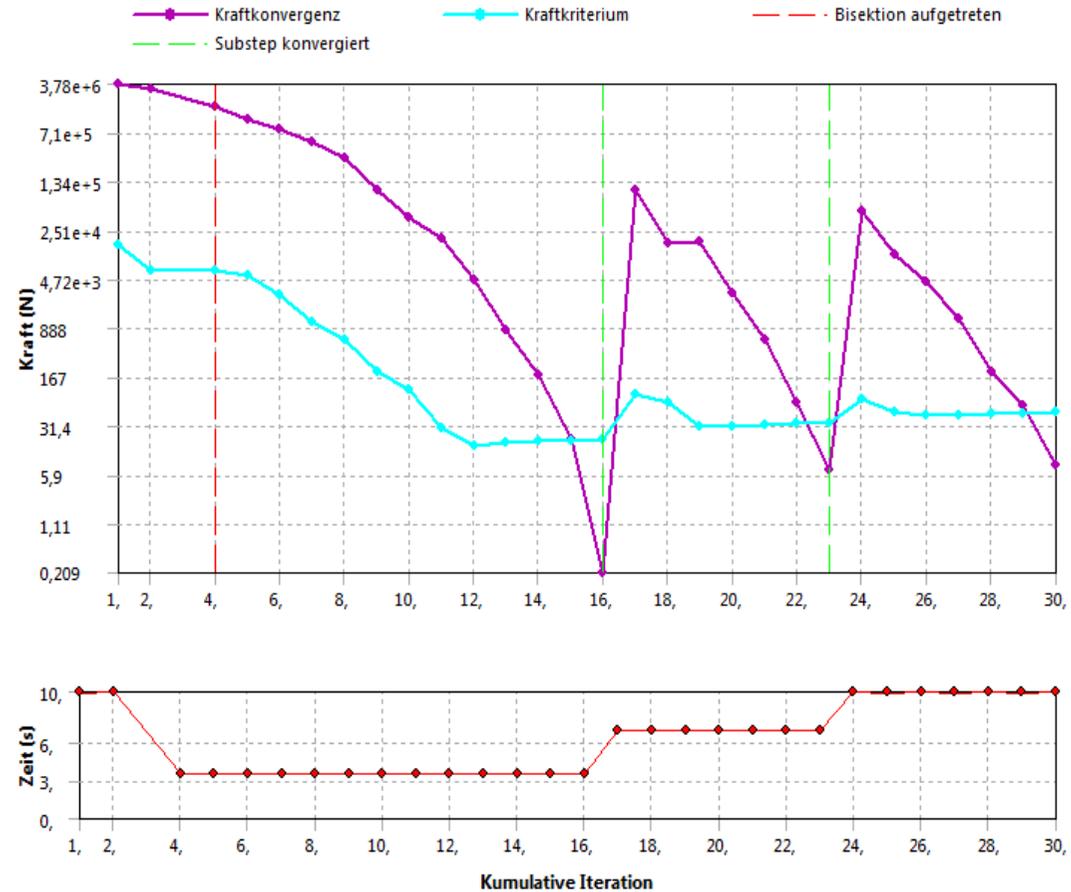
Es sind keine weiteren Eingaben zur Zeitschrittsteuerung notwendig. Da die Anzahl der Zwischenschritte dem Lastverlauf angepasst ist, wird damit der Berechnungsaufwand minimiert. Insbesondere bei Kontaktproblemen kommt es allerdings häufig zu Konvergenzproblemen.



Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Ein
Trägheitsausgleich	Aus

bzw.

Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Ein
Definiert durch	Substeps
Anfängliche Substeps	1,
Min. Substeps	1,
Max. Substeps	10,



Der anfängliche Zwischenschritt entspricht dem Lastschritt, der nach der Bisektion in mindestens einem und maximal 10 Zwischenschritten aufgebracht wird.

Automatische Zeitschrittsteuerung

Bei der Option automatischen Zeitschrittsteuerung kann die Anzahl der Zwischenschritte durch den Benutzer auf zwei Arten gesteuert werden:

1. Lastschrittdefinition

Der anfängliche Zwischenschritt ist $1/10$ des Lastschrittes, im weiteren Verlauf werden nicht weniger als 2 und nicht mehr als 10 Zwischenschritte verwendet.

Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Ein
Definiert durch	Substeps 
Anfängliche Substeps	10,
Min. Substeps	2,
Max. Substeps	10,

2. Zeitschrittdefinition

Der anfängliche Zeitschritt ist 2 s, die folgenden Zeitschritte werden vom Programm gesteuert, wobei jedoch der min. Zeitschritt auf 1 s und der max. Zeitschritt auf 5 s begrenzt wird.

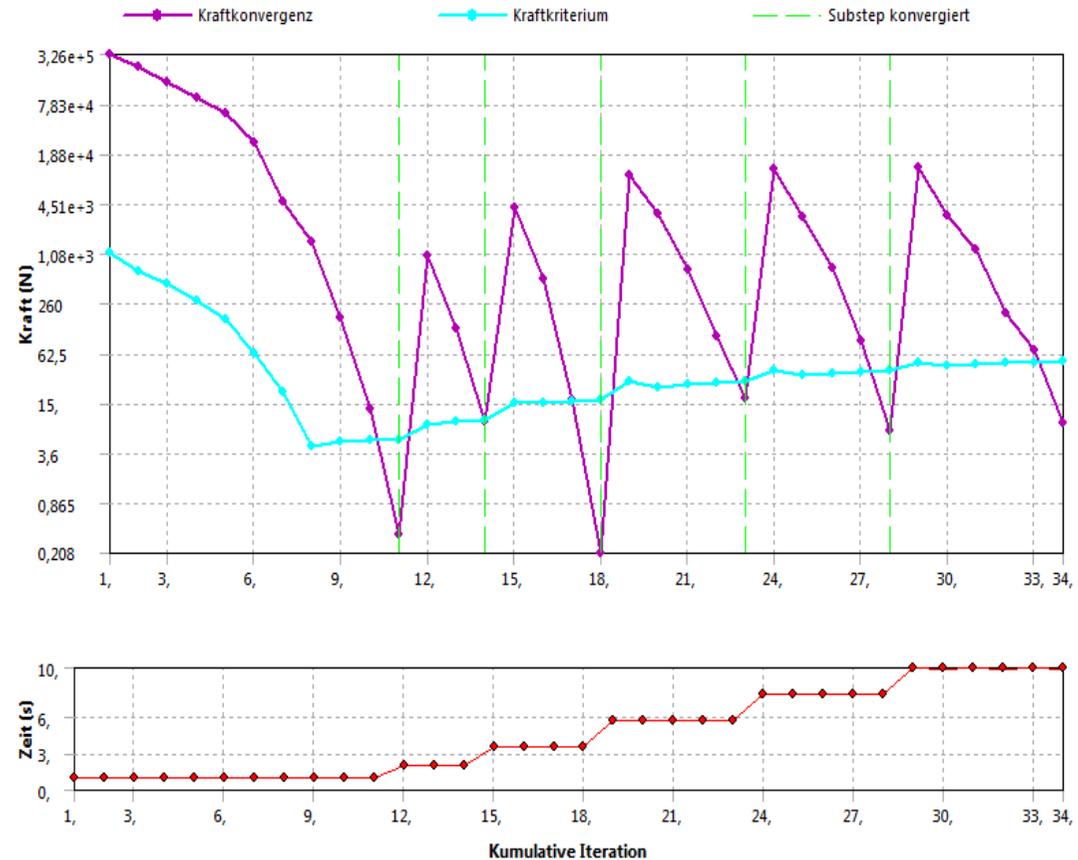
Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Ein
Definiert durch	Zeit
Anfänglicher Zeitschritt	2, s
Min. Zeitschritt	1, s
Max. Zeitschritt	5, s



Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Ein
Definiert durch	Substeps
Anfängliche Substeps	10,
Min. Substeps	1,
Max. Substeps	10,
Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Ein
Trägheitsausgleich	Aus

bzw.

Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Ein
Definiert durch	Zeit
Anfänglicher Zeitschritt	1, s
Min. Zeitschritt	1, s
Max. Zeitschritt	10, s



Der anfängliche Zwischenschritt ist 1/10 des Lastschrittes, der danach in mindestens einem und maximal 10 Zwischenschritten aufgebracht wird.

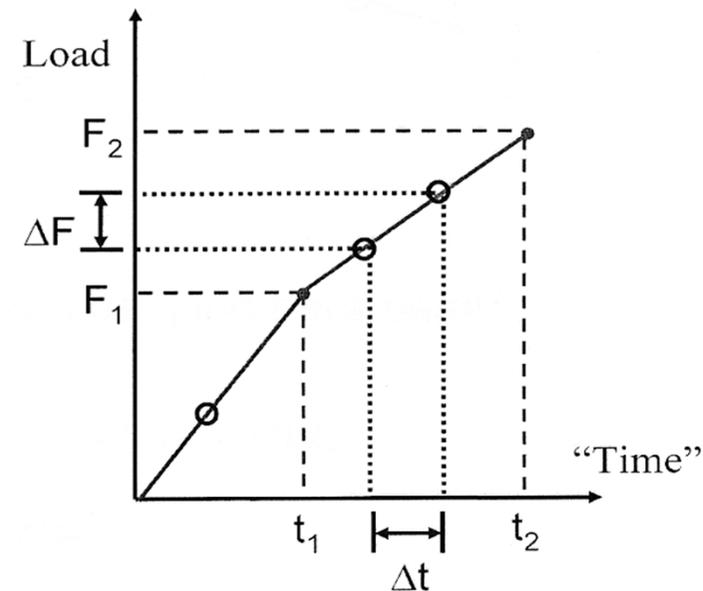


Manuelle Zeitschrittsteuerung

Wird die automatische Zeitschrittsteuerung ausgeschaltet, wird die Anzahl der Zwischenschritte je Lastschritt durch den Benutzer vorgegeben .

Details von "Analyseinstellungen"	
☐ Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Aus
Definiert durch	Substeps
Anzahl der Substeps	5,

Details von "Analyseinstellungen"	
☐ Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Aus
Definiert durch	Zeit
Zeitschritt	1, s



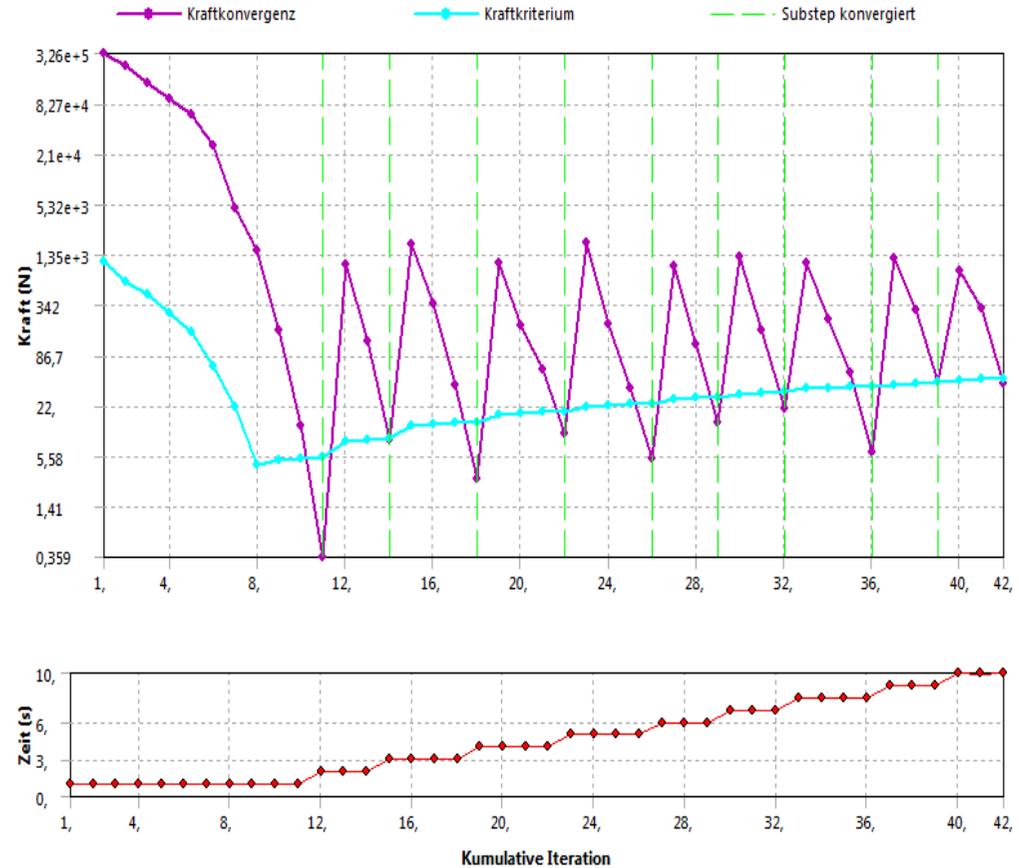
Die Zwischenschritte sind im Lastschritt konstant. Die manuelle Zeitschrittsteuerung setzt Kenntnisse über das Konvergenzverhalten des Systems voraus.



Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Aus
Definiert durch	Substeps
Anzahl der Substeps	10,
Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Ein
Trägheitsausgleich	Aus

bzw.

Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	10, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Aus
Definiert durch	Zeit
Zeitschritt	1, s



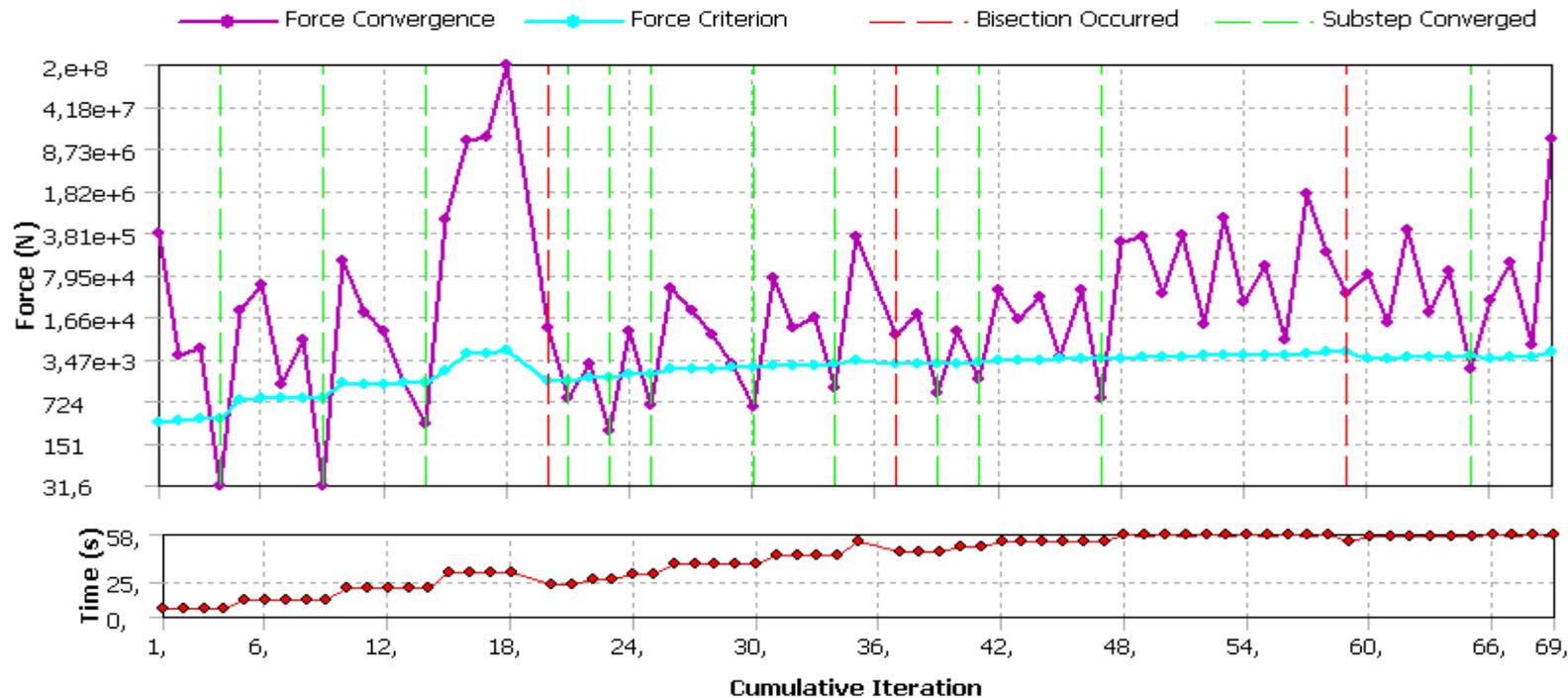
Der gesamte Lastschritt wird in 10 gleichen Zwischenschritten aufgebracht.





Bisektion

Wird im aktuellen Zwischenschritt keine Konvergenz erreicht, halbiert ANSYS die Höhe des Zwischenschrittes (Bisektion) und wiederholt die Berechnung.



Die Berechnung bricht ab, wenn trotz wiederholter Bisektion keine Konvergenz erreicht wird.

Gleichungslöser

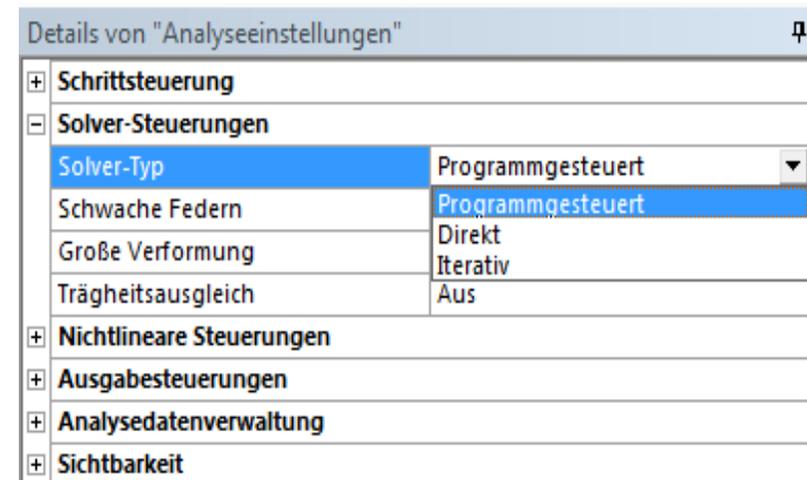
In ANSYS stehen standardmäßig zwei Gleichungslöser (Solver) zu Verfügung.

Direkter Spars-Solver vorteilhaft bei

- kleinen Systemen (DOF < 200000),
- Kontaktproblemen mit Reibung
- schlecht konditionierter Steifigkeitsmatrix

Iterativer PCG-Solver vorteilhaft bei

- großen Systemen (DOF > 200000),
- Verwendung von Volumenelementen



ANSYS wählt bei der Option programmgesteuert den geeigneten Solver aus. Es können auch Gleichungslöser von Fremdanbietern (Abaqus, Nastran) bei entsprechender Lizenzierung eingebunden werden.

Weitere Solver-Einstellungen

Schwache Federn

Verbessert die Konvergenz, wird bei Kontaktproblemen verwendet.

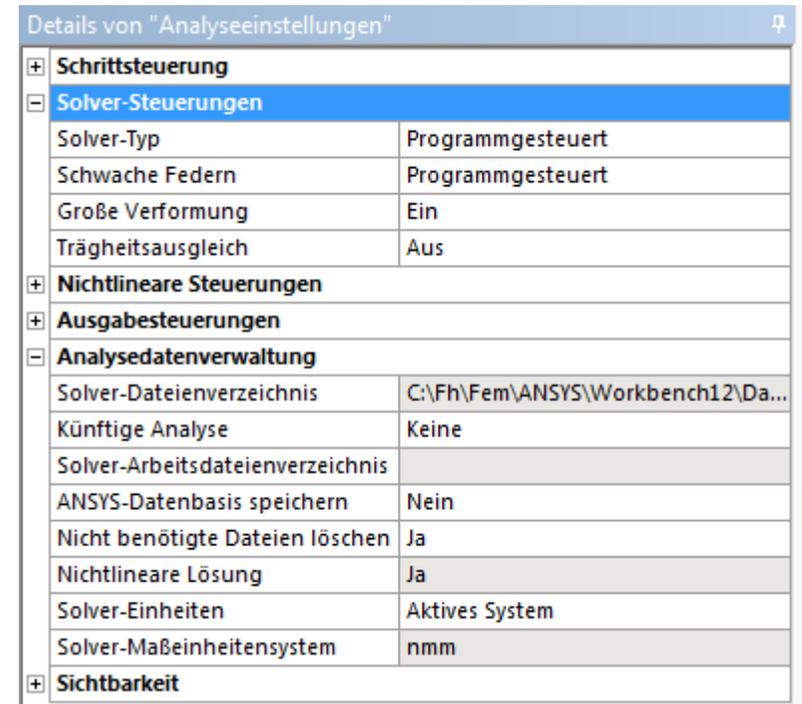
Große Verformungen

Aktiviert die nichtlineare Lösung. Muss bei großen Auslenkungen, großen Dehnungen und Kontakt gesetzt werden

Trägheitsausgleich

Ermöglicht Freikörperbewegung bei statischen Analysen.

Hinweis: Nichtlineares Materialverhalten aktiviert in ANSYS die nichtlineare Zeitschrittsteuerung.



Details von "Analyseeinstellungen"	
+ Schrittsteuerung	
- Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Ein
Trägheitsausgleich	Aus
+ Nichtlineare Steuerungen	
+ Ausgabesteuerungen	
- Analysedatenverwaltung	
Solver-Dateienverzeichnis	C:\Fh\Fem\ANSYS\Workbench12\Da...
Künftige Analyse	Keine
Solver-Arbeitsdateienverzeichnis	
ANSYS-Datenbasis speichern	Nein
Nicht benötigte Dateien löschen	Ja
Nichtlineare Lösung	Ja
Solver-Einheiten	Aktives System
Solver-Maßeinheitensystem	nmm
+ Sichtbarkeit	

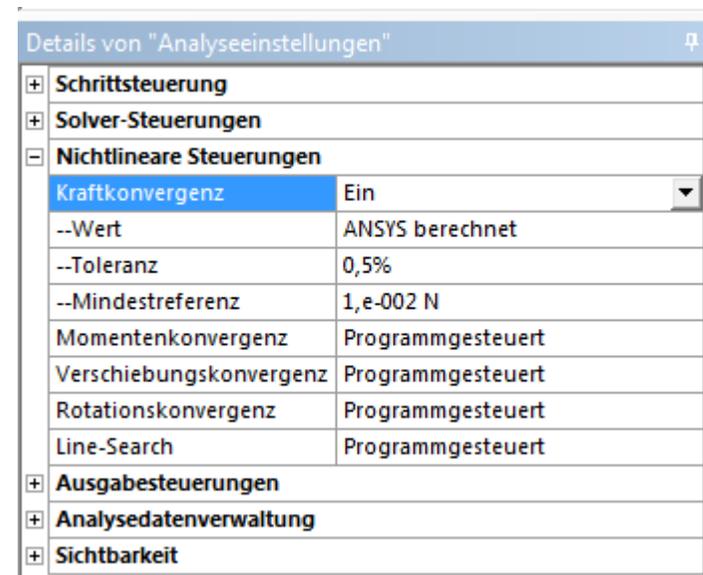
Konvergenzeinstellungen

Das Konvergenzverhalten lässt sich in der nichtlineare Steuerung beeinflussen.

Konvergenz ist erreicht, wenn

$$\|\{R\}\| < (\varepsilon_R \cdot R_{ref})$$

gilt. Hierbei ist $\|\{R\}\|$ eine Vektornorm des Residuums, R_{ref} der Referenzwert und ε_R die Toleranz. Die rechte Seite stellt das Konvergenzkriterium dar. Der Referenzwert wird von ANSYS berechnet, die Toleranz ist mit 0,5% voreingestellt.



Details von "Analyseeinstellungen"	
+ Schrittsteuerung	
+ Solver-Steuerungen	
- Nichtlineare Steuerungen	
Kraftkonvergenz	Ein
--Wert	ANSYS berechnet
--Toleranz	0,5%
--Mindestreferenz	1,e-002 N
Momentenkonvergenz	Programmgesteuert
Verschiebungskonvergenz	Programmgesteuert
Rotationskonvergenz	Programmgesteuert
Line-Search	Programmgesteuert
+ Ausgabesteuerungen	
+ Analysedatenverwaltung	
+ Sichtbarkeit	

Das Konvergenzkriterium kann manuell geändert werden. Wird die Toleranz erhöht, lassen sich die Konvergenzeigenschaften verbessern, allerdings nur auf Kosten der Rechengenauigkeit.

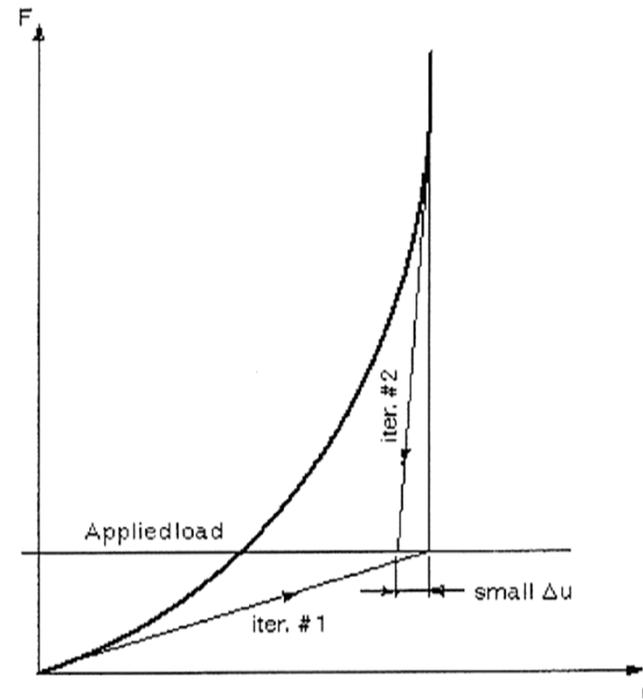
Konvergenzkriterien

Standardmäßig verwendet ANSYS bei Volumenelementen die Kraft- und Verschiebungskonvergenz

Nur die Kraftkonvergenz stellt das mechanisch erforderliche Gleichgewicht zwischen inneren und äußeren Kräfte sicher und sollte immer verwendet werden.

Die alleinige Verwendung der Verschiebungskonvergenz verbessert i. allg. die Konvergenzeigenschaften, kann aber insbesondere bei steifen Strukturen zu erheblichen Ungleichgewichten der Kräfte führen und somit die Berechnung verfälschen.

Die Momenten- und Rotationskonvergenz spielt nur bei Elementen mit Drehfreiheitsgraden eine Rolle.



Konvergenzalgorithmen

In ANSYS werden drei Konvergenzalgorithmen verwendet:

Predictor-Algorithmus

Ist das Standardverfahren und besitzt in den meisten Fällen die besten Konvergenzeigenschaften.

Line-Search-Algorithmus

Sollte nur eingeschaltet werden, wenn das Predictorverfahren nicht konvergiert.

Arclength-Algorithmus

Ist bei instabilen Lastpfaden (Beulen, Durchschlagen einer Struktur) erforderlich. Das Arclength-Verfahren lässt sich in ANSYS Workbench zur Zeit nur durch spezielle Befehle aktivieren.

+ Schrittsteuerung	
+ Solver-Steuerungen	
- Nichtlineare Steuerungen	
Kraftkonvergenz	Programmgesteuert
Momentenkonvergenz	Programmgesteuert
Verschiebungskonvergenz	Programmgesteuert
Rotationskonvergenz	Programmgesteuert
Line-Search	Programmgesteuert
+ Ausgabesteuerungen	Programmgesteuert
+ Analysedatenverwaltung	Ein
	Aus
+ Sichtbarkeit	