

Hilfe→Hilfe-Center. Mit entsprechender Auswahl gelangt man zur Hilfe von MECHANICA (Abb. 3-04).

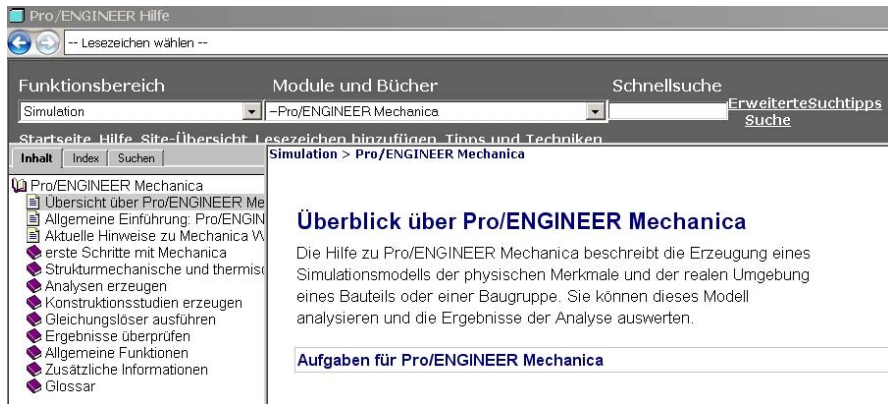


Abb. 3-04: Integrierte Online-Hilfe für MECHANICA

In der ersten Aufgabe geht es um ein einfaches Feder-Masse-System. Dieses Problem lässt sich bequem analytisch lösen, was uns damit die Grundlage für die Bewertung der Strukturanalysen in MECHANICA liefert.

Zunächst soll das statische Gleichgewicht überprüft werden. Daraufhin erfolgen die dynamischen Zeit- und Frequenzanalysen. Ein Vergleich der berechneten Ergebnisse mit den analytischen Werten soll Aufschluss über die grundsätzliche Tauglichkeit der Software geben.

3.2 Ersatzmodell

Der Ein-Massen-Schwinger ist das einfachste schwingungsfähige System, bestehend gem. der Abb. 3-05 aus einer Punktmasse und einer masselosen Feder.

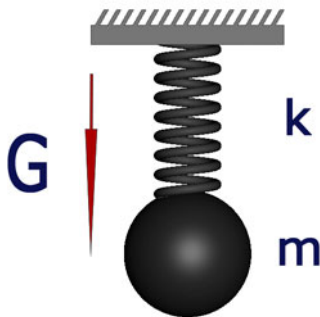


Abb. 3-05: Ersatzmodell eines Ein-Massen-Schwingers

Die allgemeine Bewegungsgleichung

$$m \cdot \ddot{y} + d \cdot \dot{y} + k \cdot y = \vec{F}(t) \quad (3.3)$$

reduziert sich ohne Dämpfung und wegen konstanter Gravitation auf

$$m \cdot \ddot{y} + k \cdot y = \vec{G} \quad (3.4)$$

Wir erhalten somit eine Differentialgleichung (DGL) 2. Ordnung, die das Ersatzmodell mathematisch beschreibt. Für den praktischen Vergleich definieren wir folgende Aufgabenstellung:

- Federsteifigkeit $k = 1 \text{ N/mm}$, d. h. eine Kraft von 1 N bewirkt einen Federweg von 1 mm
- Masse $m = 1 \text{ kg} = 0,001 \text{ t}$
- Gravitation $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ mm/s}^2$, gem. der Abb. 3-05 nach unten gerichtet (negative Y-Richtung)
- Feder ungespannt, Länge $L_0 = 100 \text{ mm}$ (Federlänge in diesem Fall streng genommen irrelevant)

3.3 CAD-Modell

Die CAD-Modelle für die Übungen in diesem Buch sind recht einfach aufzubauen und setzen lediglich Basiskenntnisse in Pro/ENGINEER voraus. Ein Grundkurs reicht hierbei sicherlich aus. Für die erste Aufgabe benötigen wir im Teilemodus zwei Bezugspunkte (Modellieren von Bezugselementen ist auch im MECHANICA-Modus möglich), z. B. im Versatz zum Koordinatensystem: **Einfügen→Modellbezug→Punkt→Versatz-Koordinatensystem...** (Abb. 3-06). In diesem Beispiel wird der Befestigungspunkt der Feder im Nullpunkt des Koordinatensystems definiert, der zweite Punkt im Abstand von 100 mm in negativer Y-Richtung erzeugt.

Vor der Eingabe der einzelnen Punkte wird das Koordinatensystem als Referenz gewählt (Abb. 3-06). Daraufhin können beliebig viele Punkte erzeugt werden, indem ein leeres Tabellenfeld der Menümaske angeklickt wird, um die Koordinaten wie gewünscht editieren zu können. Dieses Konstruktionselement ist wunderbar flexibel und absolut stabil, da nur von einem einzigen, in der Hierarchie ganz oben stehenden Koordinatensystem, abhängig. Die Punktedefinition beenden wir mit **<OK>**.

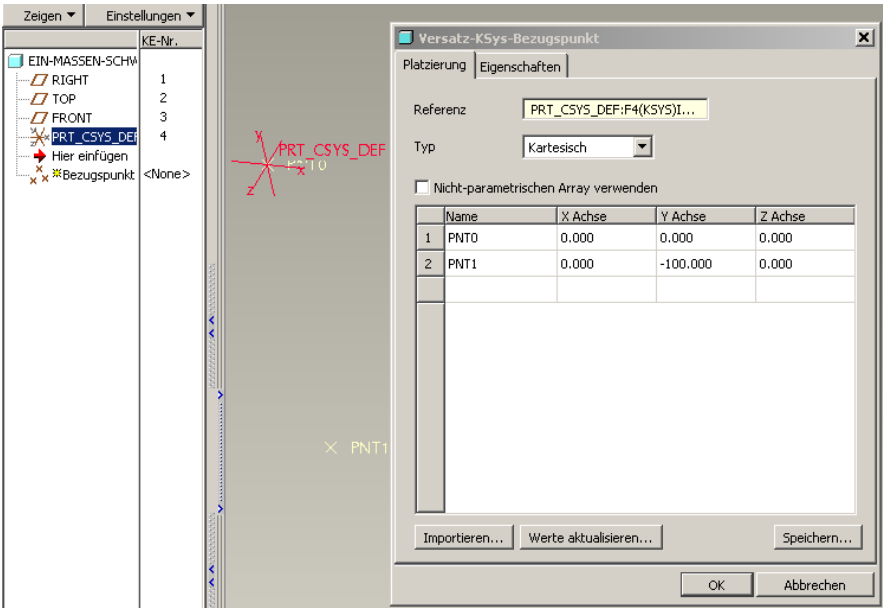


Abb. 3-06: Bezugspunkte in Pro/ENGINEER

Nun erfolgt der Wechsel in den MECHANICA-Modus mittels der Menüfolge **Applikationen→Mechanica**. Vor dem Übergang nach MECHANICA erscheint ein Informationsfenster (Abb. 3-07). Hier sollte kontrolliert werden, dass das richtige System der Einheiten [mmNs] eingestellt wurde.

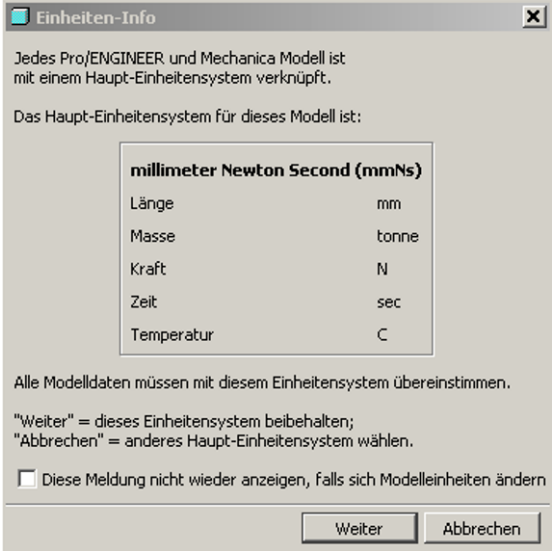


Abb. 3-07: Informationsfenster zu den Einheiten

Wir klicken gem. der Abb. 3-07 auf die Schaltfläche **<Weiter>**. Das nächste Fenster erhält man nur bei der ersten Übertragung des Modells in den MECHANICA-Modus (Abb. 3-08).

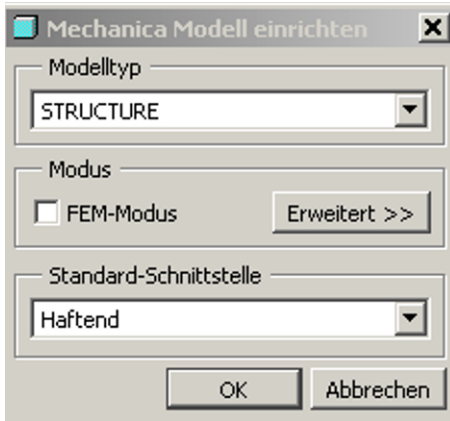


Abb. 3-08: Modelltyp einrichten. Die Standard-Schnittstelle „Haftend“ geht davon aus, dass die Einzelteile einer Baugruppe verschmolzen werden, falls sich die Teile berühren und keine Kontaktbedingung dazwischen definiert wurde.

Hier wird bestimmt, mit welchem Modul man arbeiten möchte – **<STRUCTURE>** oder **<Thermal>**. Außerdem kann die Option **<FEM-Modus>** gewählt werden. Dort wird das komplette FE-Modell inkl. Vernetzung für einen externen h-Solver aufbereitet, z. B. NASTRAN oder ANSYS. Wenn diese Option schon beim Erscheinen des Fensters aktiv ist, dann sollte die Installation und die Lizenzierung überprüft werden. Die Schaltfläche **<Erweitert>** betrifft die Auswahl zwischen 2D und 3D Modelltypen und wird in nachfolgenden Übungen mehrfach verwendet. Die Schnittstelle **<Haftend>** sollte ein Einsteiger in MECHANICA zunächst beibehalten, die alternativen Optionen sind **<Frei>** oder **<Kontakt>**. Um dieses Fenster zu einem späteren Zeitpunkt aufzurufen, wird unter MECHANICA die Menüfolge **Editieren→Mechanica Modell Einrichten...** gewählt. Nach dem Bestätigen mit **<OK>** (Abb. 3-08) gelangt man zur Bedienoberfläche von MECHANICA STRUCTURE.

3.4 Statische Analyse

Im ersten Schritt möchten wir das statische Gleichgewicht des Systems simulieren. Die Bewegungsgleichung (3.4) aus dem Abschn. 3.2 wird nochmals reduziert:

$$k \cdot y = -G = -m \cdot g \quad (3.5)$$

Daraus errechnen wir die statische Auslenkung y , nach dem Einsetzen der Werte aus Kap. 3.2 erhält man

$$y = -\frac{m}{k} g = -\frac{0,001t}{1 \frac{N}{mm}} 9810 \frac{mm}{s^2} = -9,81mm \quad (3.6)$$

Damit können wir auch die Arbeit der äußeren Kräfte (= gespeicherte Federenergie) bestimmen:

$$W_{GRAVITATION} = E_{FEDER} = \frac{1}{2} m \cdot g \cdot y = \frac{k \cdot y^2}{2} = 48,11805 Nmm \quad (3.7)$$

Die Energiebilanz könnte evtl. verwirrend erscheinen, hier wird nur die Hälfte der Arbeit aus der Gravitation effektiv berechnet, da in Realität noch eine Bremsenergie für die statische Annahme erforderlich wäre. Genau genommen wird dieses System ohne Dämpfung zu einem Perpetuum Mobile, aufgrund einer verlustfreien Wechselwirkung zwischen potentieller und kinetischer Energie des Systems. Diese Überlegungen werden wir nun mittels MECHANICA verifizieren. Als Erstes wird mittels **Einfügen→Masse...** eine Punktmasse definiert (Abb. 3-09).

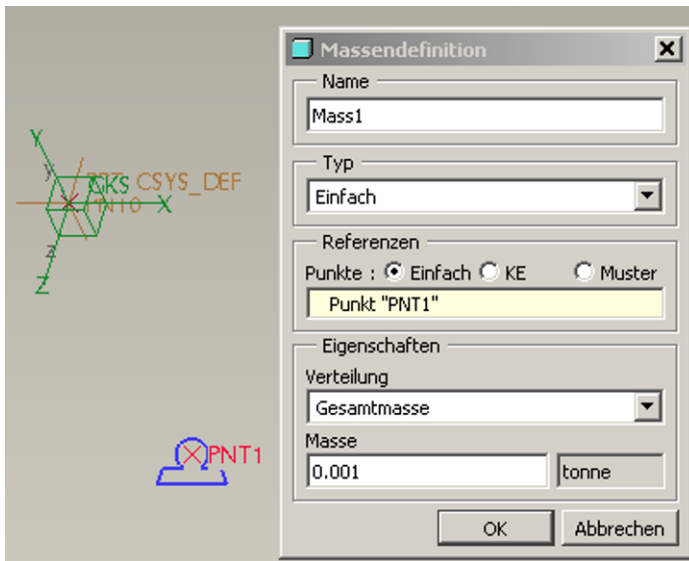


Abb. 3-09: Definition der Punktmasse

An dieser Stelle möchten wir den Anwender darauf aufmerksam machen, dass die meisten Funktionen auch als Icon zur Verfügung stehen. Wenn der Mauscursor über eine solche Schaltfläche geführt wird, dann erscheint eine entsprechende

Erklärung. Weiterhin wird die Bedienung dadurch unterstützt, dass die erzeugten Elemente und Eigenschaften sowohl direkt im Arbeitsfenster angeklickt, als auch aus dem Modellbaum heraus „angesprochen“ werden können. Eine weitere nützliche Option bietet die Menüfolge **Datei→Neues Simulationsmodell**, wenn man beispielsweise das Modell von allen in MECHANICA erstellten Definitionen befreien möchte, mit anderen Worten eine Reset-Funktion.

Im nächsten Schritt erzeugen wir die Feder mittels **Einfügen→Feder...** (Abb. 3-10).

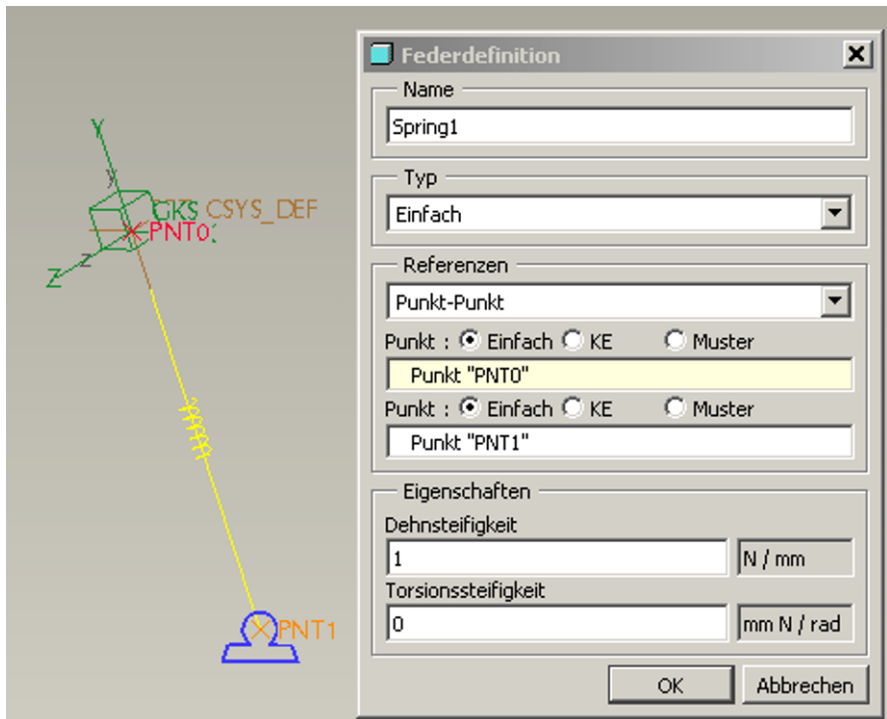


Abb. 3-10: Definition der Feder

Damit wurden die beiden erforderlichen Elemente erstellt. Für dieses Modell sind keine weiteren „finiten“ Elemente nötig, da wir zwar ein 3D-Modell aufbauen, aber keine Volumen- oder Flächengeometrien brauchen.

Das FE-Modell für eine statische Analyse sollte mindestens statisch bestimmt gelagert sein. MECHANICA bietet allerdings auch die Möglichkeit, ohne Randbedingungen zu rechnen. Dabei legt die Software selbständig fest, welche inneren Massenkkräfte für das zu erfüllende statische Gleichgewicht erforderlich sind. Diese Option ist mit Vorsicht anzuwenden, insbesondere von einem Einsteiger in MECHANICA.

In dem Befestigungspunkt der Feder erzeugen wir mittels der Menüfolge **Einfügen**→**Verschiebungsrandbedingung...** eine feste Einspannung (Abb. 3-11).

An dieser Stelle geben wir eine kurze Erläuterung zu den Randbedingungen. In der Abbildung 3-11 sind alle 6 Freiheitsgrade gesperrt. Die entsprechenden Schaltflächen in der Mitte sind „gedrückt“. Links von den festen Randbedingungssymbolen sind freie Bedingungen, wenn die Verschiebung oder Verdrehung frei sein soll. Rechts davon kann eine erzwungene Verschiebung bzw. Verdrehung vorgegeben werden.

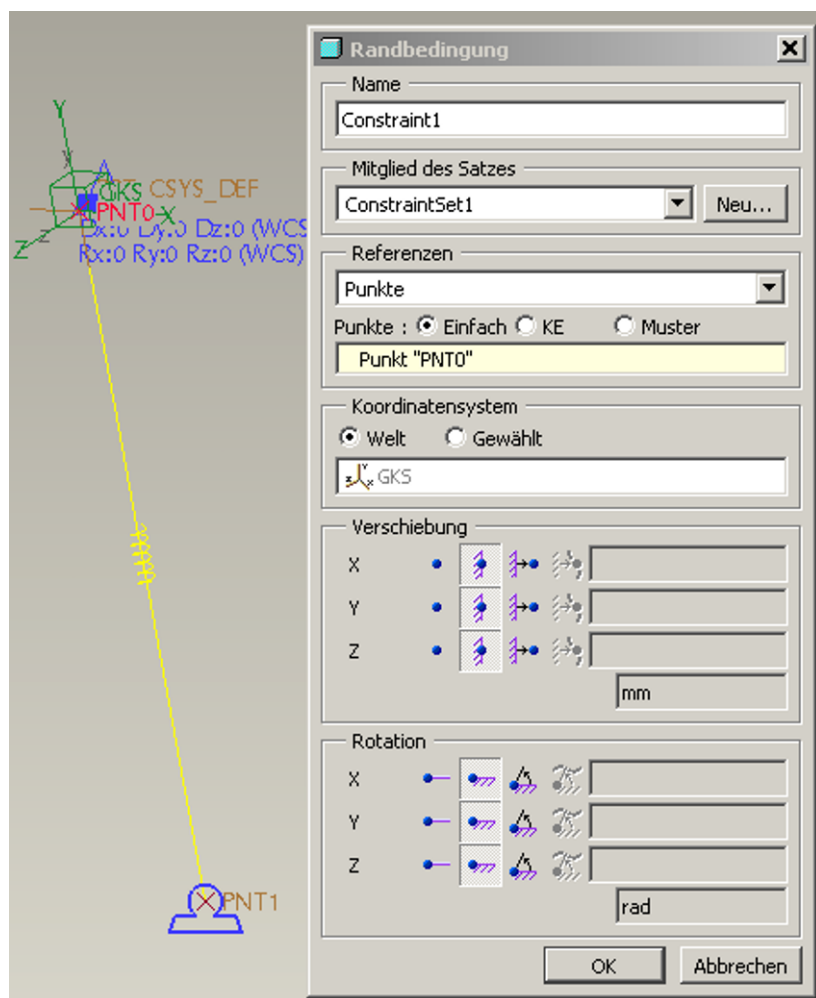


Abb. 3-11: Feste Einspannung der Feder

Freiheitsgrade beziehen sich auf die finiten Elemente. Dabei sollte der Anwender merken, dass Volumenelemente wie Tetraeder, Keile und Quader definitions-

gemäß keine Rotationen besitzen. Die Eingabe der rotatorischen Freiheitsgrade wird dabei stets ignoriert.

Die in der Praxis mehrfach bestätigte Tatsache ist, dass die Definition von Randbedingungen die wesentliche Fehlerquelle beinhaltet. Ein etwa vergleichbares Fehlerpotential verbirgt sich hinter dem Aufbringen von Lasten.

Das Modell ist damit noch nicht statisch bestimmt gelagert, weil der Massenpunkt nur in einer Verschiebungsrichtung durch die Feder abgefangen wird. Die restlichen Freiheitsgrade müssen gesperrt werden, da der Massenpunkt ansonsten rotieren oder seitlich ausweichen könnte. Wir wählen nochmals die Menüfolge **Einfügen**→**Verschiebungsrandbedingung...** (Abb. 3-12).

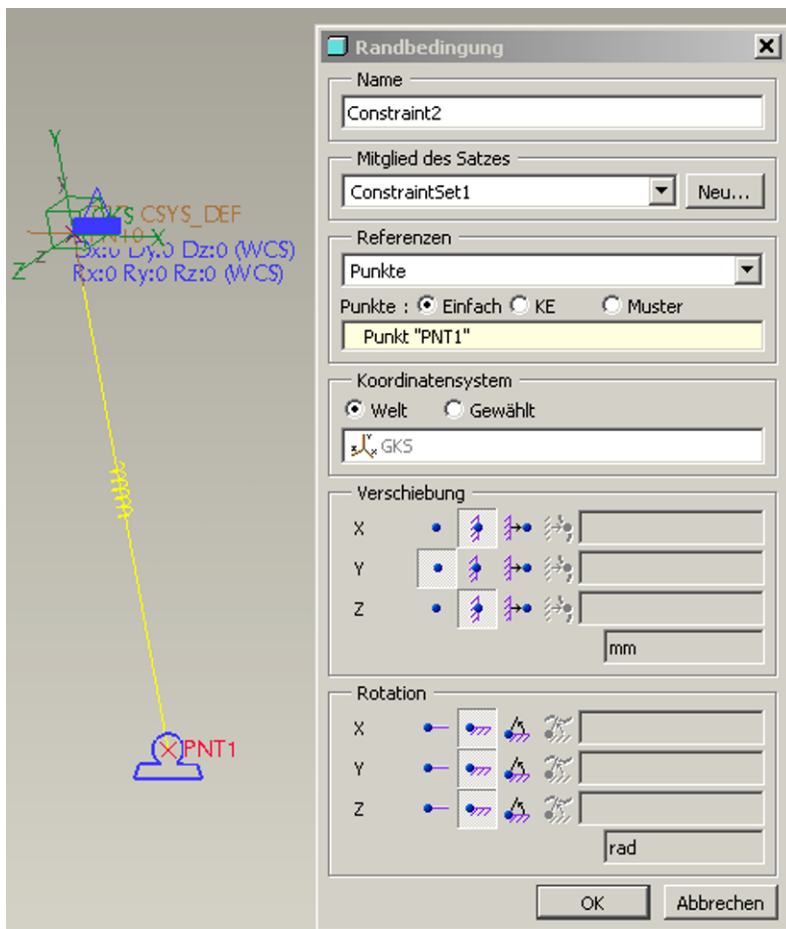


Abb. 3-12: Randbedingungen der Punktmasse

An dieser Stelle ist dem Anwender sicherlich aufgefallen, dass ein Massenpunkt offensichtlich Rotationsfreiheitsgrade besitzt. Wir haben bereits angedeutet, dass für Volumenelemente ausschließlich die Verschiebungen zu bestimmen sind. Die restlichen „finiten“ Elemente wie beispielsweise Massenpunkte, Balkenelemente, Federanbindungen und auch Schalenelemente beinhalten rotatorische Freiheitsgrade.

Wie aus der Abb. 3-12 ersichtlich, wird die Verschiebung in Y-Richtung (Richtung der Erdbeschleunigung) freigegeben. Anhand des Symbols für die Randbedingung im Arbeitsfenster können die Freiheitsgrade abgelesen werden, wie in der Abb. 3-13 gezeigt:

VERSCHIEBUNG X-FEST	VERSCHIEBUNG Y-FREI	VERSCHIEBUNG Z-FEST
ROTATION X-FEST	ROTATION Y-FEST	ROTATION Z-FEST

Abb. 3-13: Bedeutung des Symbols einer Randbedingung

Nun fehlt im Modell noch die Angabe zur Gravitationslast. Diese erzeugen wir mittels **Einfügen**→**Gravitationslast...** (Abb. 3-14).

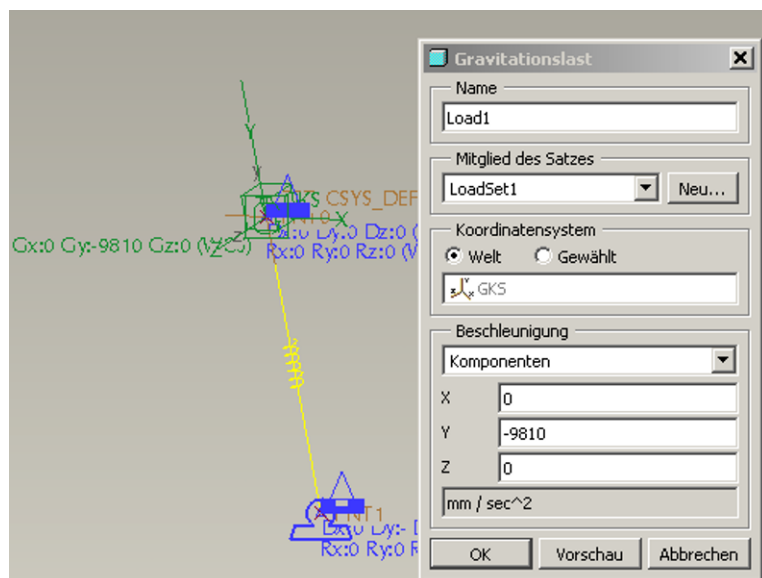


Abb. 3-14: Definitionsfenster der Gravitationslast

Als Basisbezug haben wir bisher bei allen Eigenschaften das globale Koordinatensystem von MECHANICA angenommen. Dieses fällt mit unserem vierten Konstruktionselement (Abb. 3-06) aus Pro/ENGINEER zusammen. Weiterhin ist es auch möglich, zusätzlich benutzerdefinierte Koordinatensysteme zu erzeugen, z. B. Zylinderkoordinaten oder Kugelkoordinaten, um darauf Objekte zu beziehen.

Das Modell verfügt damit über alle erforderlichen Merkmale für eine statische Analyse. Hierbei sind nicht immer Lastangaben erforderlich. Ein elasto-statischer Vorgang wird auch dann ausgelöst, wenn wenigstens eine erzwungene Verschiebung vorliegt. Mittels der Menüfolge **Analyse→Mechanica Analysen/Studien...** gelangt man zur multifunktionalen Menümaske für MECHANICA-Analysen (Abb. 3-15).

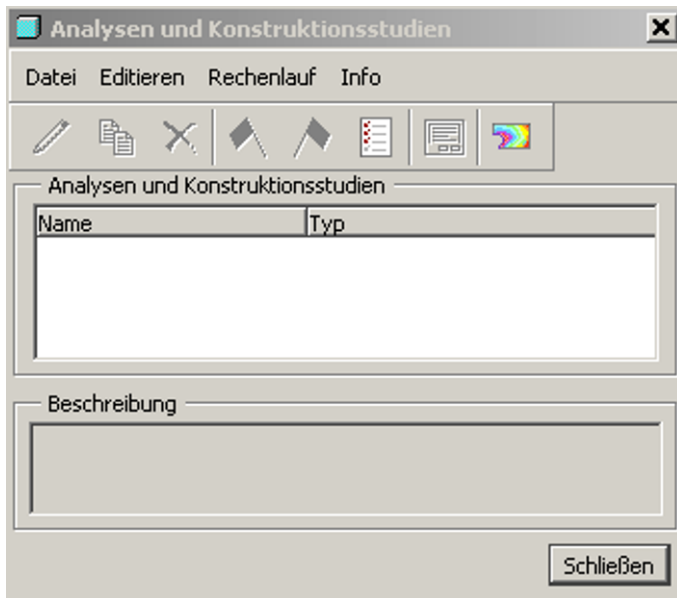



Abb. 3-15: Menümaske der MECHANICA-Analysen

In diesem Fenster werden die Analysen definiert, gestartet und ggf. gestoppt. Man kann hier außerdem bereits erzeugte Analysen bearbeiten, kopieren und löschen. Aus dieser Maske heraus kann der direkte Zugriff auf die Ergebnisse  erfolgen. Im Hauptmenü ist das Aufrufen der Ergebnisse mittels **Analyse→Ergebnisse...** ebenfalls möglich.

Das Fenster für MECHANICA-Analysen und Konstruktionsstudien beinhaltet noch keine Definitionen, sodass die meisten Icons entsprechend ausgeblendet sind. In der Analysemaske (Abb. 3-15) wählen wir die Menüfolge **Datei→Neue statische Analyse...**, dann erscheint ein Definitionsfenster für statische Analysen (Abb. 3-16).

Wir empfehlen hier, unbedingt einen geeigneten Analysenamen anstatt der Standardbezeichnung „Analysis1“ einzugeben. MECHANICA wird mit diesem Namen automatisch Dateien und Verzeichnisse anlegen. Selbstsprechende Bezeichnungen und evtl. eine Beschreibung im entsprechenden Textfeld werden Ihnen später helfen, Analysen zu archivieren und ggf. nachzuvollziehen. In diesem Fall vergeben wir beispielhaft den Analysenamen „Statisch“, alle anderen Optionen und Registerkarten bleiben wie von MECHANICA vorgegeben (Abb. 3-16).

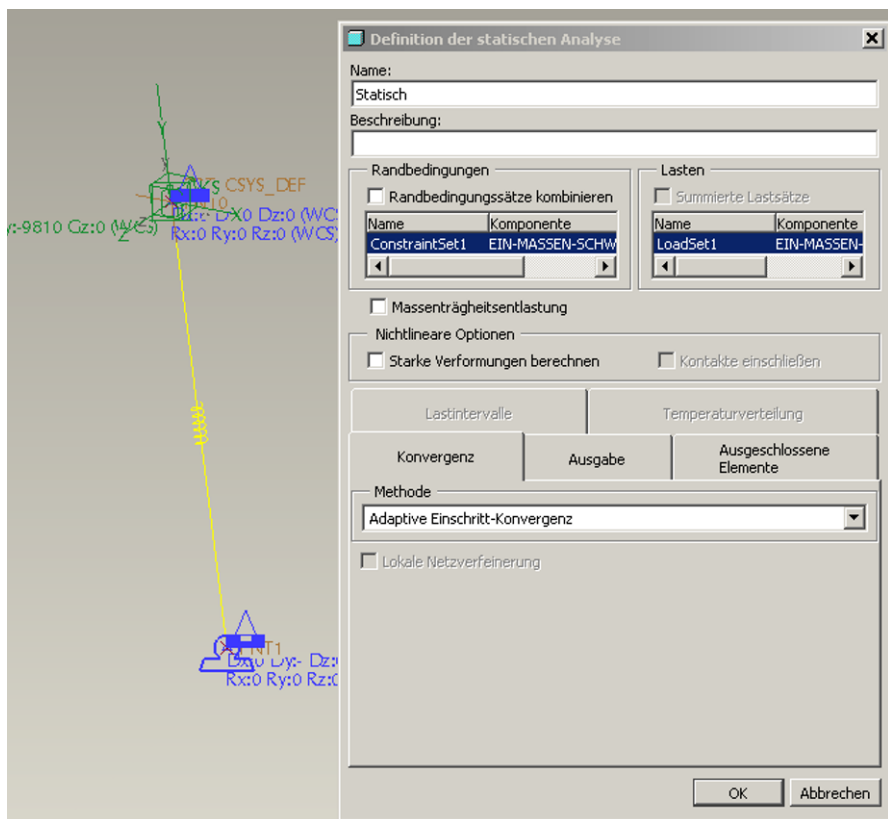


Abb. 3-16: Definitionsfenster für statische Analysen

Nach dem Bestätigen mit <OK> erscheint wieder die Menümaske für MECHANICA-Analysen (Abb. 3-17).

Die statische Analyse kann nun gestartet werden, die entsprechenden Icons in der Menümaske (Abb. 3-17) wurden aktiviert. Davor sollten grundsätzlich die Pfade, die MECHANICA für das Erstellen von Dateien und Verzeichnissen sowie für temporäre Dateien verwendet, über **Rechenlauf→Einstellungen...** kontrolliert werden.

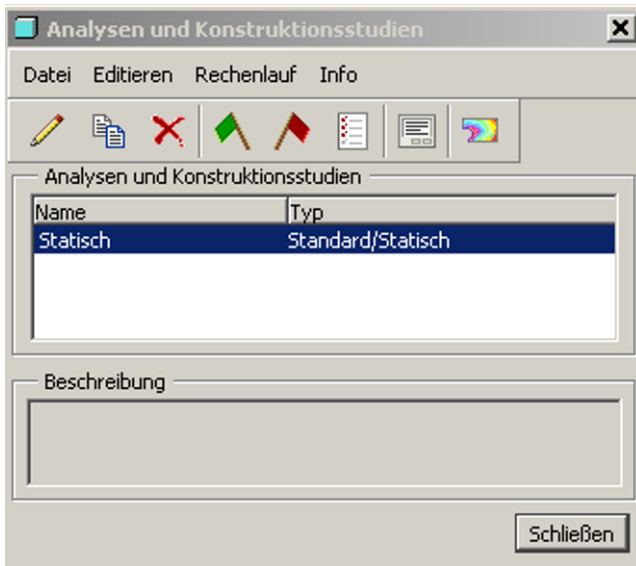


Abb. 3-17: Analyse „Statisch“. In Wildfire 5 wird zusätzlich der Analysestatus (läuft, beendet, abgebrochen) angezeigt, diese Option ist jedoch noch unzuverlässig. So kann der Analysestatus einen Abbruch anzeigen, obwohl die Analyse ohne Fehler weiter läuft.

Wir starten die Analyse mittels **Rechenlauf→Start** (grüne Fahne), daraufhin erscheint die Abfrage zur Modellprüfung (Abb. 3-18):

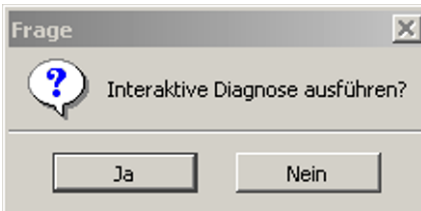


Abb. 3-18: Abfrage zur interaktiven Modellprüfung

Wir bestätigen die Abfrage mit **<Ja>**, dann erhalten wir ein neues Fenster mit dem Bericht des Diagnose-Assistenten (Abb. 3-19). Diese nützliche Funktionalität ist erst in Wildfire 4 hinzugekommen.

In den früheren Versionen von MECHANICA gab es oftmals die Problematik, dass, sobald bestimmte Fehler aufgetreten sind, die Berechnung abgebrochen wurde. Daraufhin stand der Anwender vor der Aufgabe, die Fehler zu beseitigen oder zu vermeiden. In der integrierten Oberfläche von MECHANICA waren fast keine Werkzeuge vorhanden, um die Fehler lokalisieren zu können.

Die Fehlersuche lief intuitiv und iterativ ab, es sei denn der Anwender verfügte über ausreichend praktische Erfahrung, um die Fehler sofort nachzuvollziehen. Ansonsten blieb nur der Übergang in den unabhängigen Modus (ohne Verknüp-

fung zu Pro/ENGINEER) mittels **Datei→Unabhängiges Mechanica...** im Hauptmenü, wobei dort deutlich mehr Optionen zur Fehlersuche und Fehlerbehebung vorhanden waren. Das Modell hat man gewöhnlich nicht gespeichert, um die wertvolle Assoziativität aus Pro/ENGINEER nicht zu verlieren.

Ab Wildfire 4 benötigen wir den unabhängigen Modus von MECHANICA lediglich für eine „Handvernetzung“. Sobald PTC gleichwertige Optionen für eine manuelle Vernetzung im integrierten Modus entwickelt, wird das unabhängige MECHANICA definitiv abgeschaltet. Bis dahin würde dieser Schritt gewiss einige Kundenverluste nach sich ziehen.

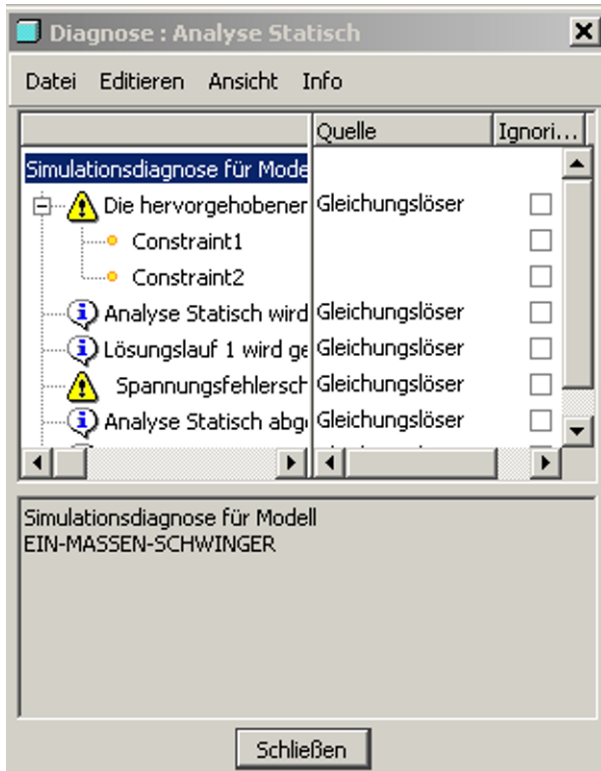


Abb. 3-19: Diagnose-Assistent, statische Analyse abgeschlossen

Die Fehlerdiagnose ist interaktiv, d. h. wenn die Fehler oder die Warnungen angeklickt werden, dann werden die entsprechenden Objekte im Arbeitsfenster hervorgehoben (Abb. 3-20).

Die Warnungen betreffen hier die Punktrandbedingungen. An solchen Stellen kann eine Singularität entstehen, weil die Spannung definitionsgemäß als Kraft durch Fläche gegen unendlich gehen würde. In diesem Fall sind die Warnungen ohne Bedeutung, das Modell ist „spannungsfrei“. Wir beenden den Diagnose-Assistenten mit **<Schließen>**.

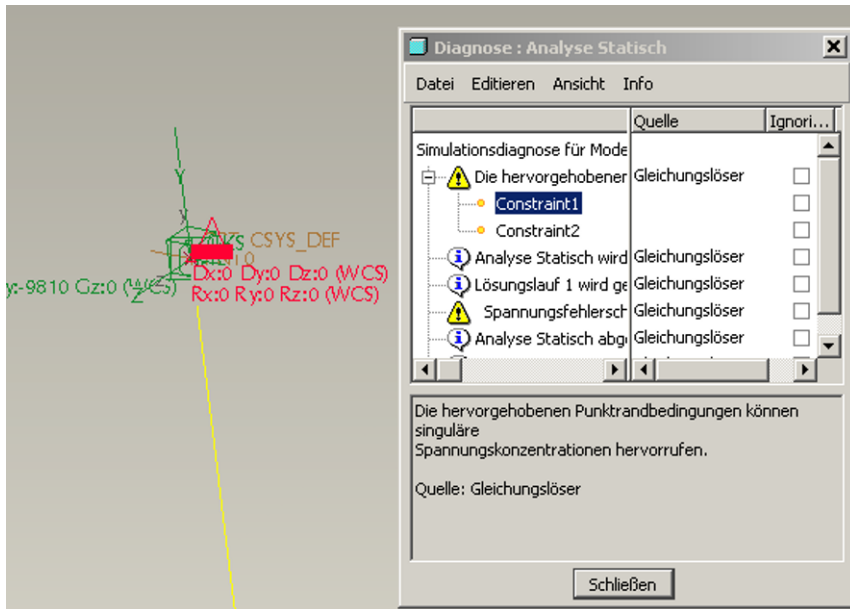


Abb. 3-20: Warnung im Modell hervorgehoben

Die Analyse ist mittlerweile abgeschlossen. Bei größeren Modellen sollte der Rechenlauf überwacht werden. Dafür wird in der Menümaske für MECHANICA-Analysen (Abb. 3-17) die Folge **Info**→**Status...** gewählt, daraufhin erscheint der Statusbericht der Analyse (Abb. 3-21).

An dieser Stelle möchten wir einen wichtigen Aspekt der FE-Analysen ansprechen – die Datensicherung. MECHANICA speichert nach jedem Rechenlauf automatisch das Modell, den Statusbericht, die Berechnungsergebnisse usw. in dem angelegten Ordner mit dem Analysenamen. Dieser Ordner beinhaltet weitere Unterverzeichnisse mit den Berechnungsdaten. Somit wird die Voraussetzung für die Datensicherung geschaffen. Indem man das von MECHANICA erzeugte Hauptverzeichnis sichert, archiviert man alle Berechnungsergebnisse inkl. Modell.

Der Statusbericht ist in dem Fall auch das eigentliche Ergebnis, noch brauchen wir keine „bunten Bilder“. Allgemein sollte es zur Routine gehören, die Auswertung zunächst nach diesem Rechenlaufreport vorzunehmen. Weiterhin liefert der ausführliche Status (entsprechendes Häkchen gem. Abb. 3-21 setzen) einige interessante Informationen zur Performance. Ab Wildfire 5 werden diese Berichte anhand von Registerkarten zusammengefasst und erweitert.

In der Abbildung 3-21 ist der Ausschnitt des Statusberichts mit den von MECHANICA standardmäßig für die Analyseart definierten Messgrößen dargestellt. Fast alle Werte sind 0, die maximale Verschiebung in Y-Richtung erreicht - 9,81 mm (negative Y-Richtung) und die Dehnungsenergie beträgt 48,11805 Nmm.

Diese Werte sind mit den am Anfang des Abschnitts „händisch“ berechneten identisch. Damit ist das Ergebnis plausibel.

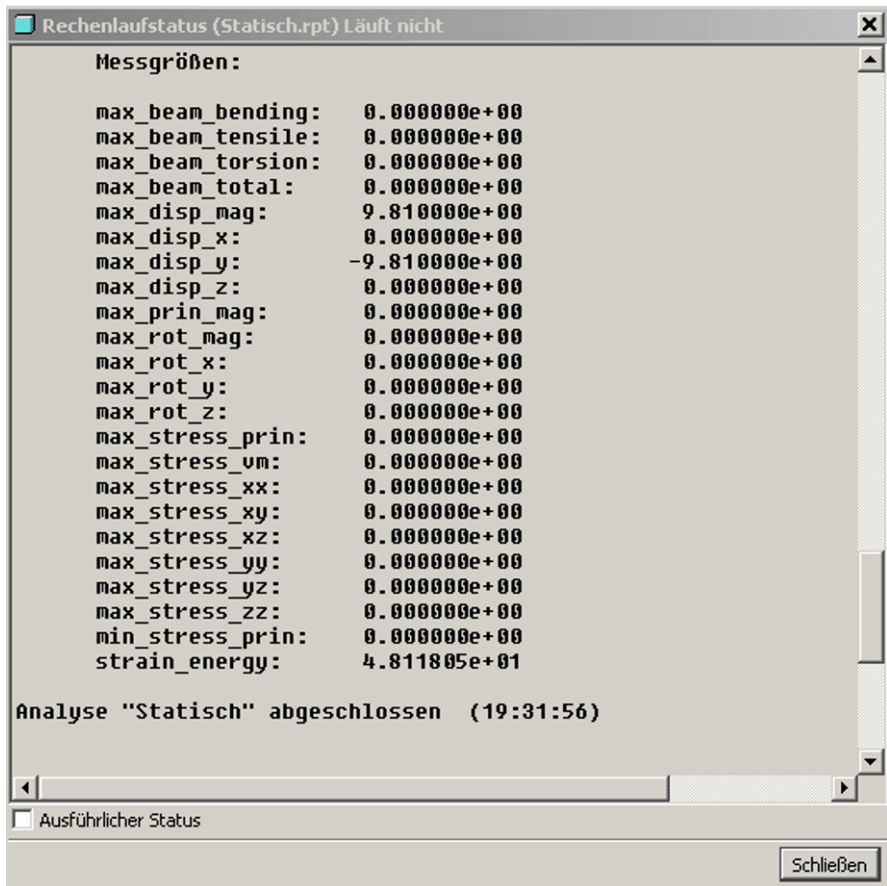


Abb. 3-21: Statusbericht der statischen Analyse

3.5 Modalanalyse

Eine Modalanalyse ist die Vorstufe für dynamische Untersuchungen. Sie berechnet die homogene Lösung der Bewegungsgleichung – die Eigenschwingung. Das Ergebnis dieser Eigenwertanalyse sind die Eigenfrequenzen sowie die entsprechenden Eigenformen. Der analytische Zusammenhang lautet

$$m \cdot \ddot{y} + k \cdot y = 0 \quad (3.8)$$

Die einzige Eigenfrequenz des Ein-Massen-Schwingers berechnet sich zu

$$\omega_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1 \frac{N}{mm}}{0,001t}} = 5,0329... \frac{1}{s} \approx 5Hz \quad (3.9)$$

Dieser Wert bedeutet, dass das System im Fall freier Schwingungen ohne Fremd-erregung 5-mal pro Sekunde schwingen würde.

Bevor wir Schwingungen in MECHANICA untersuchen, sollte die Systemantwort definiert werden.

Dynamische Analysen berechnen standardmäßig keine Messgrößen. Wir legen die vertikale zeit- bzw. frequenzabhängige Y-Verschiebung des Massenpunktes als die Systemantwort fest. Mittels **Einfügen→Messgröße...** im Hauptmenü öffnet sich das Fenster für die Messgrößen (Abb. 3-22).

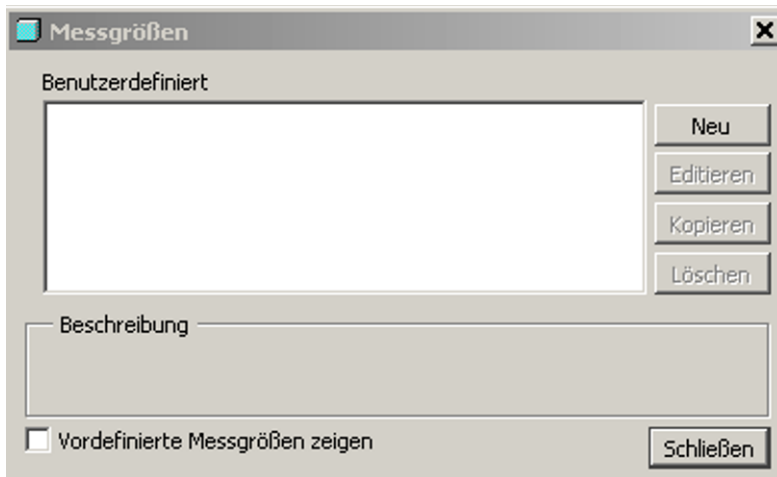


Abb. 3-22: Definitionsfenster für Messgrößen

Wir klicken auf **<Neu>**, daraufhin definieren wir die Systemantwort gem. der Abb. 3-23, dabei sollten die Einstellungen unbedingt dem gezeigten Fenster (Abb. 3-23) entsprechen.

Diese Messgröße ist für die Modalanalyse selbst noch ohne Bedeutung, in der Abb. 3-23 sind die gültigen Analysearten aufgelistet. Wir bestätigen die Eingaben mit **<OK>**, daraufhin erscheint wiederum das Fenster für Messgrößen mit der „Y_Verschiebung“ als Systemantwort (Abb. 3-24).

Die Definition der Systemantwort beenden wir mit **<Schließen>**.

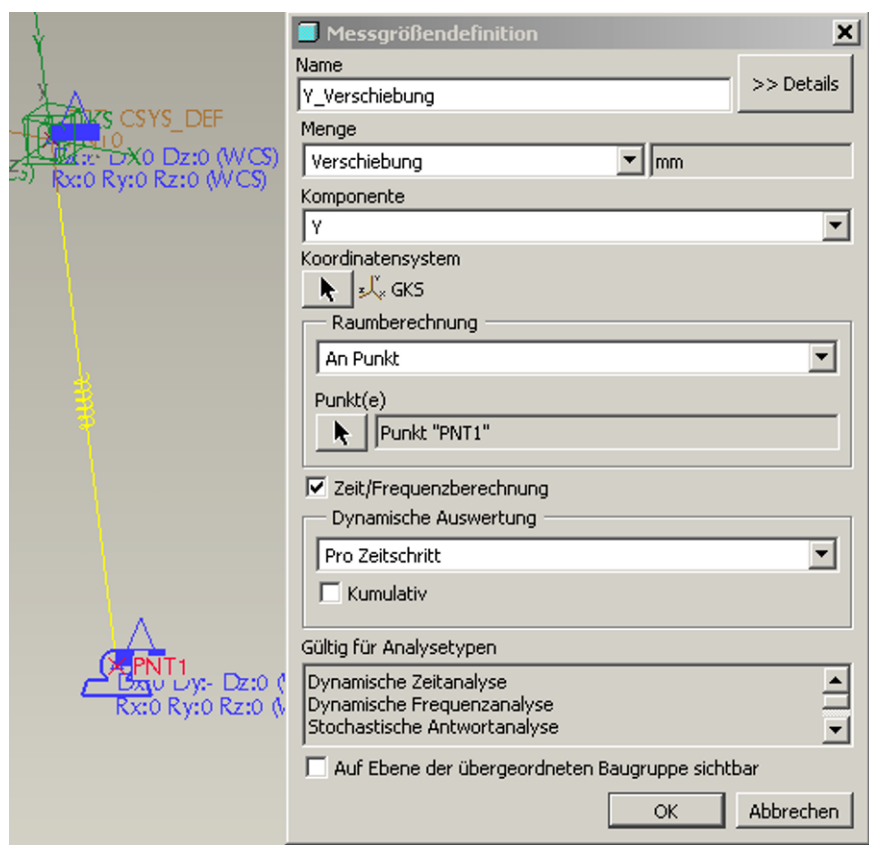


Abb. 3-23: Messgröße „Y_Verschiebung“ als Systemantwort

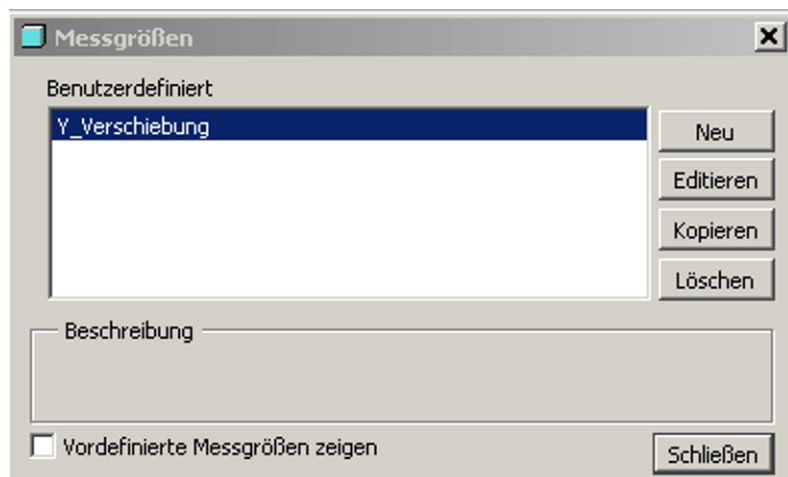


Abb. 3-24: Definitionsfenster für Messgrößen mit „Y_Verschiebung“

Um eine Modalanalyse zu erzeugen, wählen wir im Hauptmenü die Menüfolge **Analyse→Mechanica Analyse/Studien...**, dann in der bekannten Menümaske für MECHANICA-Analysen (Abb. 3-15, Abb. 3-17) **Datei→Neue Modalanalyse...**, daraufhin erscheint das Definitionsfenster für Modalanalysen (Abb. 3-25). Dort vergeben wir ebenfalls einen Analysenamen, außerdem soll nur die erste und einzige Eigenfrequenz ermittelt werden. Alle anderen Einstellungen bleiben unverändert, denn wir rechnen hier ein statisch bestimmt gelagertes Modell. Falls die Modalanalyse ohne Einspannungen (Option **<frei>** gem. Abb. 3-25) durchgeführt wird, ergeben sich die ersten 6 Eigenfrequenzen mit dem Ergebnis 0 Hz als Starrkörperbewegungen. Ansonsten kann auch ein statisch unbestimmtes Modell mit der Option **<Mit Starrkörperbewegungs-Suche>** (Abb. 3-25) gerechnet werden.

Definition der Modalanalyse

Name
Modal

Beschreibung

Randbedingungen

☐ Randbedingungssätze kombinieren

Name	Komponente
ConstraintSet1	EIN-MASSEN-SCHWIN

☒ Eingespannt
☐ Frei

☐ Mit Starrkörperbewegungs-Suche

Eigenmoden Temperaturverteilung Ausgabe Konvergenz Ausgeschlossene Elemente

Eigenmoden

☒ Anzahl der Eigenmoden
☐ Alle Eigenmoden im Frequenzbereich

Anzahl der Eigenmoden: 1

Minimale Frequenz: 0

Maximale Frequenz: 0

OK Abbrechen

Abb. 3-25: Definitionsfenster für Modalanalysen.

Wir bestätigen die Maske mit **<OK>**, dann führen wir die Analyse durch (grüne Fahne in der Menümaske für MECHANICA-Analysen). Analog zur statischen Analyse (Hinweis zur Abb. 3-21) wird der Statusbericht der Modalanalyse aufgerufen (Abb. 3-26).

Die von MECHANICA berechnete Eigenfrequenz von 5,0329... Hz (Abb. 3-26) stimmt mit der analytischen überein. Somit ist auch dieses Ergebnis eindeutig verifiziert.

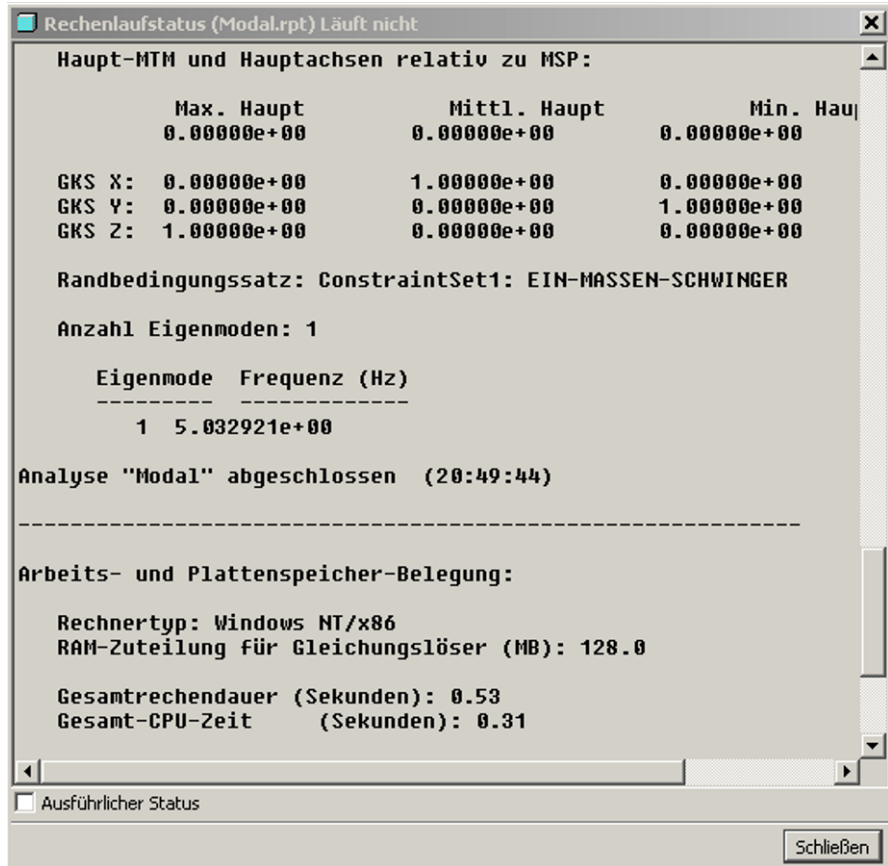


Abb. 3-26: Statusbericht der Modalanalyse

3.6 Dynamische Zeitanalyse

Aufbauend auf der Modalanalyse können wir nun eine Zeitanalyse durchführen. Zunächst wird das Problem wie in den vorigen beiden Abschnitten analytisch gelöst:

$$m \cdot \ddot{y} + k \cdot y = \vec{G} \quad (3.10)$$

Pro/MECHANICA® verstehen lernen
für Pro/ENGINEER Wildfire® 4.0 und Creo Elements/Pro
5.0 (Wildfire® 5.0)

Kloninger, P.

2012, XIII, 268 S. 310 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-642-24840-5