

DYNAMISCHE SIMULATION VON FEDERN IM ANTRIEBSSTRANG

Dipl.-Phys. G. Hannig

SCHERDEL siment GmbH, Marktrechwitz

Zusammenfassung

Die korrekte Vorhersage dynamischer Spannungsüberhöhungen sind der Schlüssel zur Entwicklung betriebsfester und effizienter Federgeometrien ohne Anwendung sehr konservativer Sicherheitsfaktoren.

Vor dem Hintergrund kontinuierlich reduzierter Entwicklungszeiten ist die Erprobung mehrerer Prototypen heute nicht mehr realisierbar. Dies führt zur intensiven Nutzung numerischer Simulationsverfahren mit dem Ziel nur noch einen Prototypen zur Validierung der Entwicklungsergebnisse zu testen.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die dynamische Simulation von Federn am Beispiel von Ventildfedern und Spiral- oder Drehfedern in Nockenwellenverstellern.

Dynamische Simulation, Ventildfedern, Spiralfedern, Drehfedern

DYNAMIC SIMULATION OF SPRINGS IN POWERTRAIN APPLICATIONS

The correct prediction of the dynamic spring response is the key to develop efficient spring designs with the required fatigue life, without using extensive conservative safety factors.

Additionally the continuously reduced numbers of development cycles do not allow many test cycles any more. This leads to intensive numerical simulation with the goal of "first time right" prototypes and testing only for validation aspects.

The presentation's intention is to give a brief overview on dynamic spring simulation on the example of valve springs, and spiral or torsion springs in cam phasers.

Dynamic response, valve springs, spiral springs, torsion springs

Einleitung

Viele Federn im Antriebsstrang müssen unter Berücksichtigung der dynamischen Lasten entwickelt werden. Neben den Ventildfedern gibt es eine Reihe weiterer Applikationen wie Pumpenfedern, Spiralfedern in Nockenwellenverstellern, Drehfedern in Riemenspannersystemen oder Druckfederpakete in 2-Massen-Schwungrädern die hohe dynamische Lasten aufweisen. In all diesen Fällen ist die korrekte Vorhersage des dynamischen Antwortverhaltens der Federelemente der Schlüssel zur Entwicklung betriebsfester und effizienter Federgeometrien ohne Anwendung sehr konservativer Sicherheitsfaktoren. Nichtlinearitäten in Form großer Deformationen, Kontakt und Reibung schließen die Nutzung linearer Methoden wie Modalanalyse oder harmonische Frequenzganganalyse aus, so dass stets die Durchführung transienter Berechnungen notwendig ist.

Vor dem Hintergrund kontinuierlich reduzierter Entwicklungszeiten ist die Erprobung mehrerer Prototypen heute nicht mehr realisierbar. Dies führt zur intensiven Nutzung numerischer Simulationsverfahren mit dem Ziel nur noch einen Prototypen zur Validierung der Entwicklungsergebnisse zu testen.

Der Vortrag gibt einen kurzen Überblick über die dynamische Simulation von Federn in der Praxis am Beispiel von Ventildfedern und Nockenwellenverstellern mit Spiral- oder Drehfedern.

1. Ventildfedern

Ventildfedern sind die wohl bekanntesten Vertreter dynamisch belasteter Druckfedern. Über die Ventilerhebungskurve, die bewegten Massen, den zur Verfügung stehenden Bauraum und die zulässigen Spannungen des Materials ist das Problem im Allgemeinen sehr gut definiert. Insbesondere die dynamischen Lasten sind mit dem geforderten Drehzahlbereich und der Ventilerhebung sehr gut spezifiziert. Die unvermeidbaren dynamischen Resonanzüberhöhungen werden stets mittels DMS-Messungen an aufwendigen geschleppten Zylinderkopfversuchen ermittelt. Doch während bis vor wenigen Jahren die kinematisch berechneten Federdesigns in langwierigen Prototypenschleifen erprobt wurden, können die Resonanzüberhöhungen heute mittels numerischer Simulation berechnet werden. Hierzu stehen drei unterschiedlich detaillierte Federmodelle zur Verfügung (siehe Abbildung 1).

1.1. Eindimensionaler nichtlinearer Mehr-Massen-Schwinger

Eigenschaften:

- 1 Masse pro Windung
- Nichtlineare Steifigkeits- und Dämpfungskennlinien
- Sehr kurze Rechenzeiten

Ergebnisse:

- Nockenkontaktkräfte
- Axiale Federkräfte
- Korrigierte Schubspannungen

1.2. Dreidimensionales FE-Balken-Modell

Eigenschaften:

- FE-Balken-Elemente mit quadratischer Ansatzfunktion
- 3D Schwingungsverhalten
- Dämpfung über die Kontaktreibung
- Kurze Rechenzeiten

Ergebnisse:

- Nockenkontaktkräfte
- Axiale und laterale Federkräfte und Momente
- Korrigierte Schubspannungen

1.3. Dreidimensionales FE-Kontinuums-Modell

Eigenschaften:

- FE-Kontinuums-Elemente mit quadratischer Ansatzfunktion
- 3D Schwingungsverhalten
- Dämpfung über die Kontaktreibung
- Lange Rechenzeiten

Ergebnisse:

- Nockenkontaktkräfte
- Axiale und laterale Federkräfte und Momente
- Schubspannungen (Korrektur nicht notwendig)

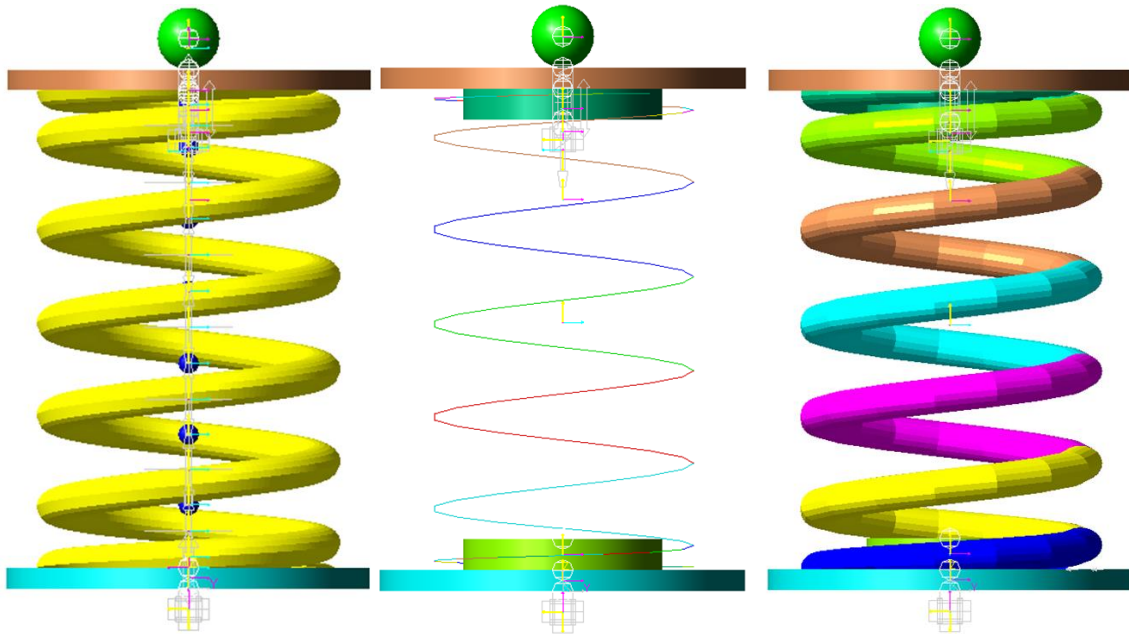


Abbildung 1: Nichtlinearer Mehr-Massen-Schwinger, FE-Balken-Modell, FE Kontinuums-Modell

Detaillierungsgrad und Rechenzeiten nehmen von 1.1 nach 1.3 zu. Aufgrund der geringen Rechenzeiten wurde der nichtlineare Mehr-Massen-Schwinger im SCHERDEL SpringDesigner (siehe

Abbildung 2), einem internen Berechnungsprogramm zur Entwicklung beliebiger Druckfedergeometrien, integriert.

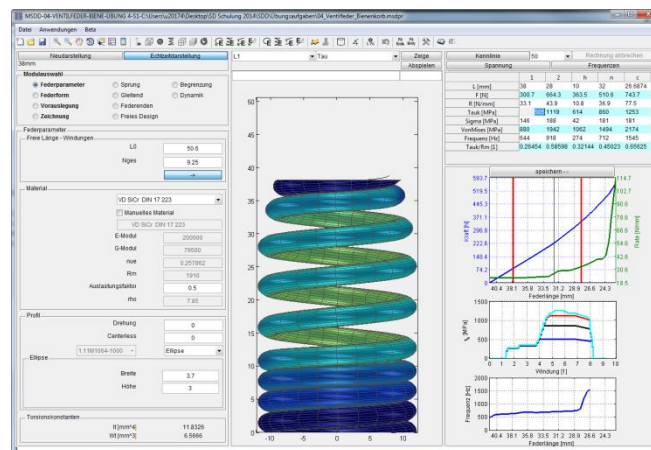


Abbildung 2: SpringDesigner mit progressiver Bienenkorbfeder

Applikationsingenieure können mit diesem Werkzeug die dynamischen Resonanzüberhöhungen unterschiedlicher, kinematisch ausgelegter Federdesigns zu einem sehr frühen Entwicklungszeitpunkt mit einer Genauigkeit von ~5% (siehe Abbildung 3) vergleichen. Bei Bedarf können über Schnittstellen zu FE-Programmen mit den Modellen 1.2 und 1.3 detailliertere Aussagen z.B. zu Querkräften getroffen werden. Auf Basis dieser vergleichenden Berechnungen kann eine sehr gute Vorauswahl eines Prototypen getroffen werden mit dem die weitere Entwicklung an Komponentenprüfständen und in Testmotoren betrieben wird. In der Regel werden durch diese Vorgehensweise weitere Prototypen unnötig.

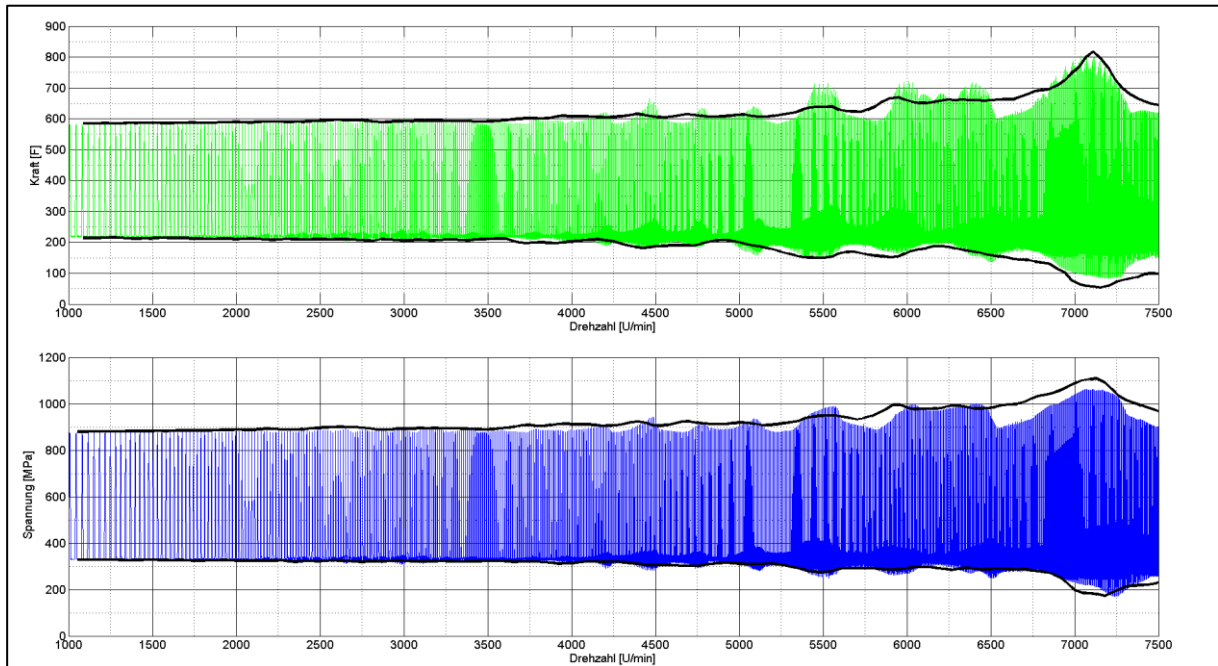


Abbildung 3: Vergleich von Messung und Simulation. Die Schwarzen Kurven sind Einhüllende der Messergebnisse, die farbigen Kurven sind simulierte **Kräfte und **Spannungen**.**

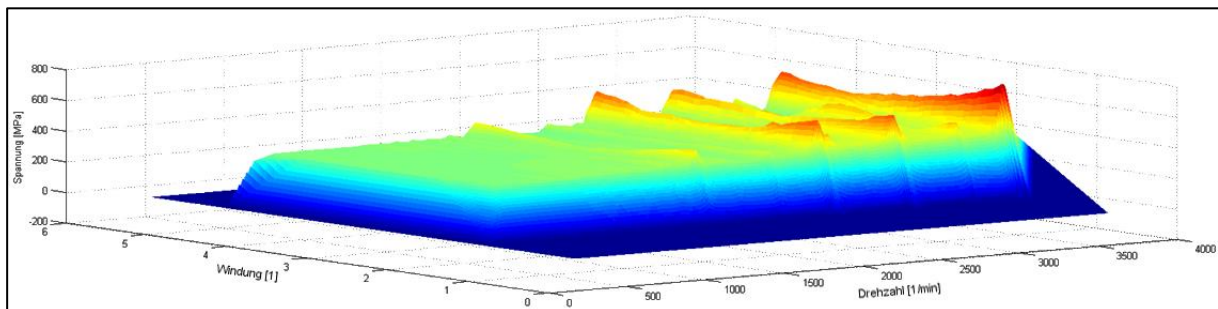


Abbildung 4: dynamische Antwort einer Ventilfeeder, Spannung über Windung und Drehzahl

2. Spiralfedern

Spiralfedern in Nockenverstellern dienen der Kompensation von Drehmomentschwankungen an der Nockenwelle und der Rückstellung bei drucklosen Verstellern in eine definierte Ausgangsposition.

Aufgrund der Positionierung des Verstellers zwischen Nockenwelle und Kurbelwelle „sieht“ die Feder alle dynamischen Anregungen des Motors. Im Gegensatz zur Ventilfeeder sind diese Anregungen aufgrund der Komplexität des Zusammenspiels aller Komponenten im primären Antriebsstrang zu Beginn einer Entwicklung nur eingeschränkt bekannt und schlecht definiert. Daher wird die Entwicklung der Federn mit Standardlastfällen durchgeführt. Erst während der Tests an befeuerten Motoren können messtechnisch die realen Anregungsdaten ermittelt und mit den angenommenen Lastfällen verglichen werden.

Die Federn werden mit dem SpringDesigner Spiralfedern (siehe Abbildung 5) geometrisch modelliert und analytisch grob berechnet. Die Geometrien werden in FE-Programme importiert. Zusammen mit den CAD-Daten des Bauraums wird ein transientes 2D FE-Modell aufgebaut. Als Ergebnis der Berechnung erhält man die statische Kennlinie der Feder und das dynamische Antwortverhalten auf den verwendeten Standardlastfall (siehe Abbildung 6).

Um zu akzeptablem dynamischem Verhalten der Federn zu gelangen, wird diese Prozedur iterativ durchlaufen. Abbildung 7 zeigt beispielhaft, dass teilweise erhebliche Anzahlen an Designschleifen notwendig sind.

Die Genauigkeit mit der die dynamischen Spannungen getroffen werden, beträgt wie im Fall der Ventilfeeder ~5% (siehe Abbildung 8).

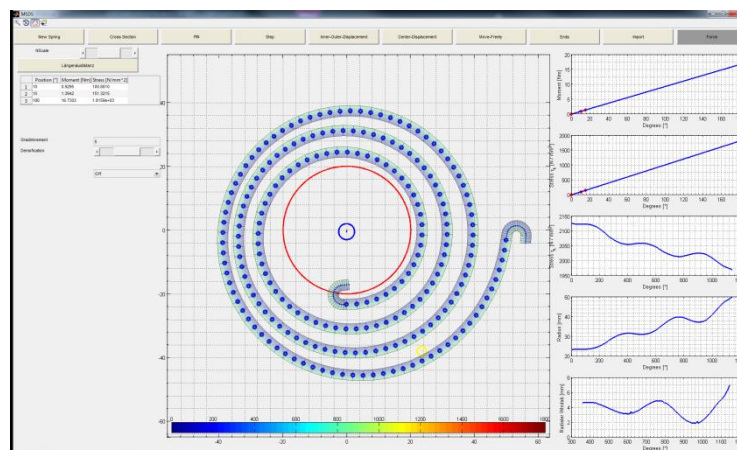


Abbildung 5: SpringDesigner Spiralfedern

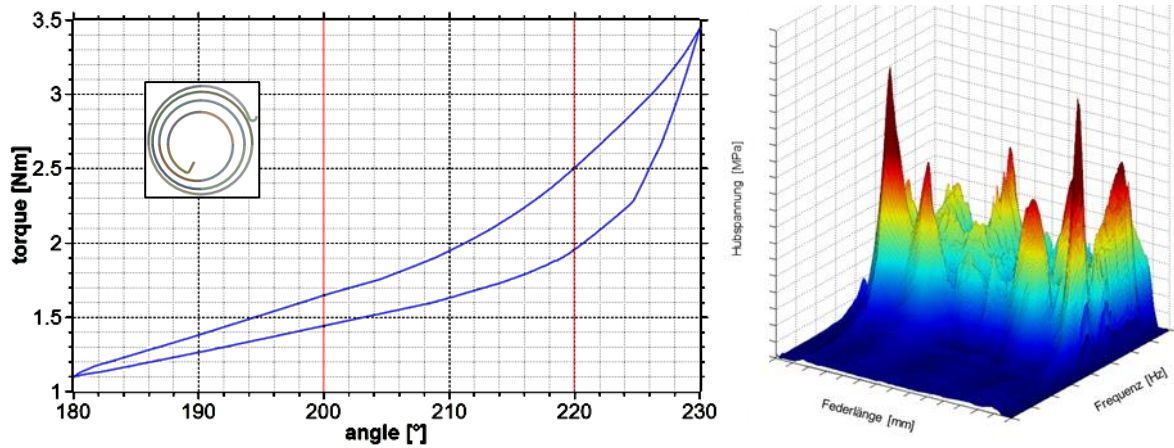


Abbildung 6: statische Kennlinie einer Spiralfeder und dynamisches Antwortverhalten

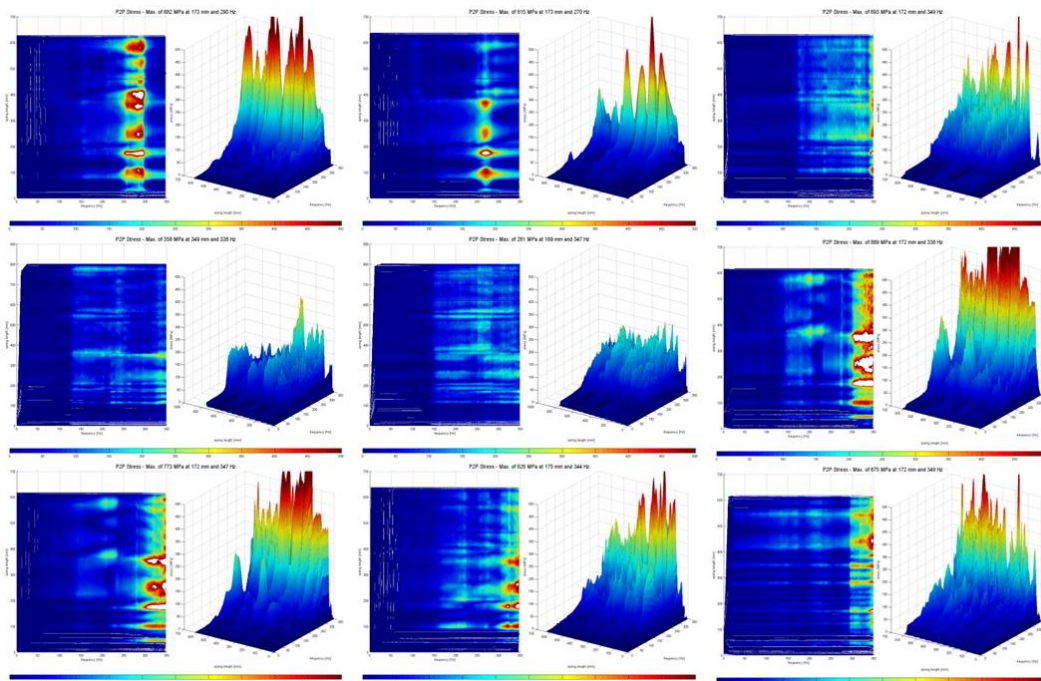


Abbildung 7: Beispiel für das dynamische Antwortverhalten von Spiralfedern in einem Nockenwellenversteller

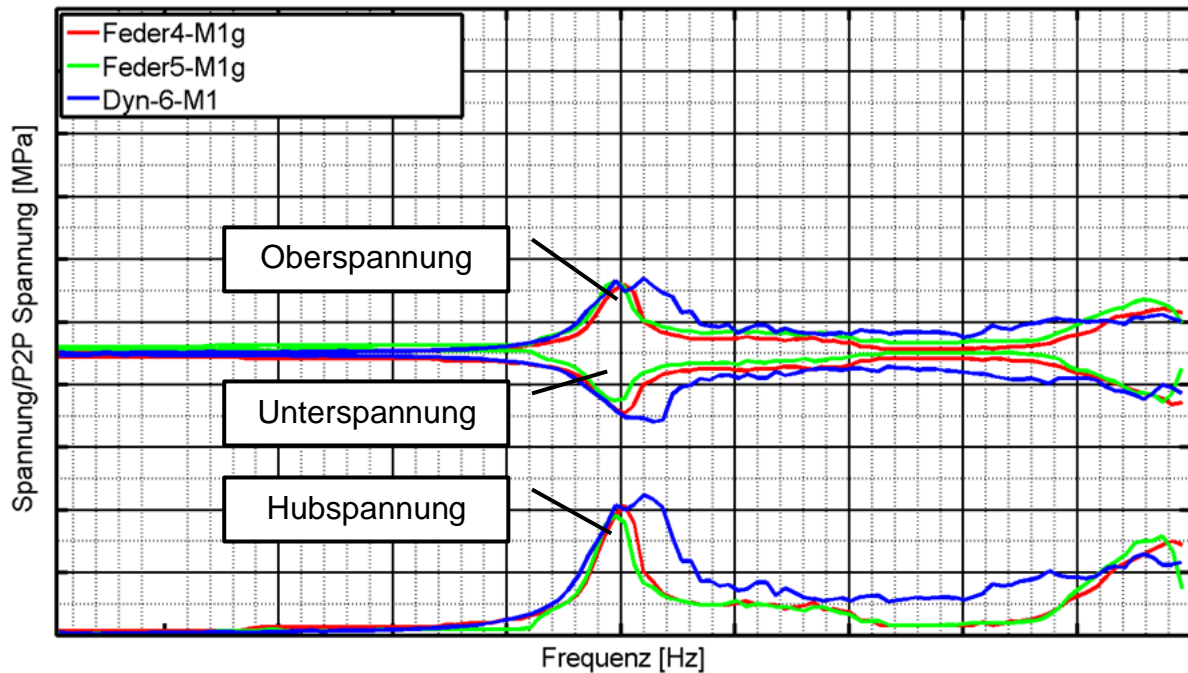


Abbildung 8: Vergleich Messung und Simulation. Feder4 und Feder5 sind Messungen zweier individueller Federn einer Charge. Die leichte Verschiebung der Resonanzfrequenz ist auf die verkürzte Simulationszeit im Vergleich zur Messzeit zurück zu führen.

3. Drehfedern

Die Simulation des dynamischen Verhaltens von Drehfedern in Nockenwellenverstellern oder Riemenspannern verläuft analog zur Simulation der Spiralfedern. Durch die Notwendigkeit bei Drehfedern mit 3D-Daten arbeiten zu müssen, erhöht sich der Aufwand sowohl zur Modellierung der Geometrien als auch zum Aufbau und Lösen der FE-Modelle deutlich. Die Ergebnisgenauigkeit leidet hierunter allerdings nicht. Auch bei Drehfedern kann das dynamische Antwortverhalten mit ~5% Genauigkeit ermittelt werden.

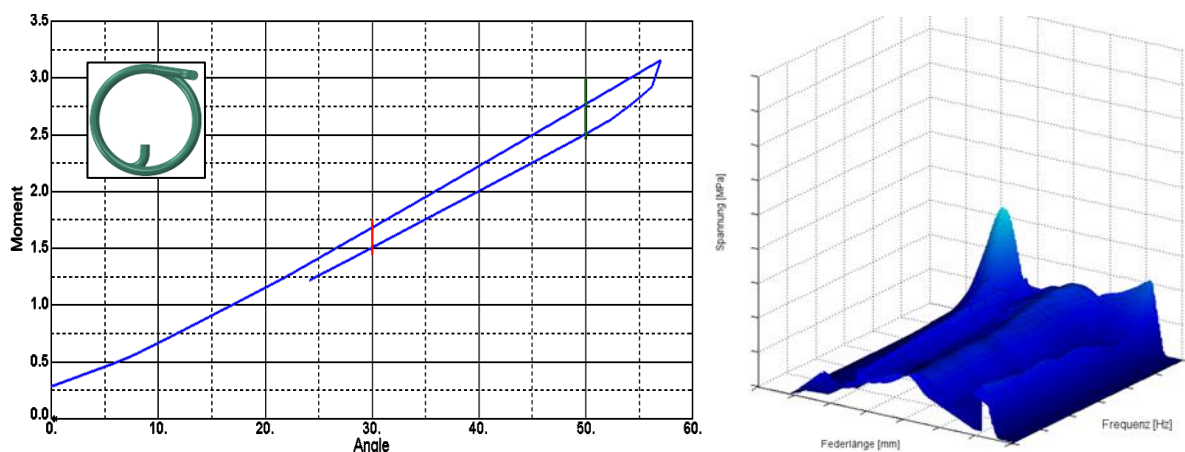


Abbildung 9: statische Kennlinie einer Drehfeder und dynamisches Antwortverhalten

4. Zusammenfassung

Die Simulation des dynamischen Verhaltens von Federn im Antriebsstrang stellt einen wesentlichen Beitrag zur Verkürzung der Entwicklungszeiten von Komponenten im Antriebsstrang dar.

Während bis vor wenigen Jahren dynamisch belastete Federelemente fast ausschließlich über die Herstellung von Prototypen im Versuch und Irrtum Verfahren entwickelt und beurteilt wurden, steht heute ein kombinierter Prozess von Simulation und Komponententests zur Verfügung. Die Genauigkeit von ~5% mit der das dynamische Antwortverhalten im Vorfeld bestimmt werden kann, führt dazu, dass in aller Regel bereits der erste Prototyp zu den gewünschten Ergebnissen führt und somit im Wesentlichen der Validierung der Simulationsergebnisse dient. Ausnahmen sind fast immer auf unzureichend bekannte Lasten und abweichende Randbedingungen zurückzuführen.