Nichtlineare FEM-Berechnung

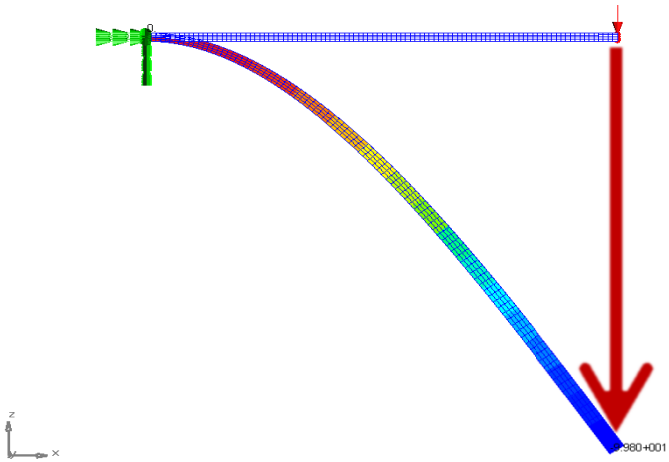
20. Bayreuther Konstrukteurstag 2018

Cornelia Thieme / MSC.Software GmbH

20. September 2018

Warum nichtlineare Berechnung?

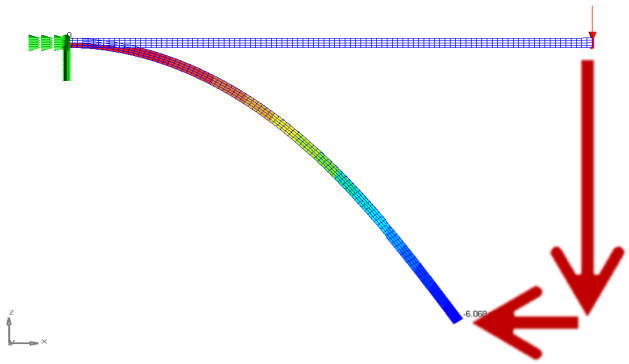
Linear



Kraft in z

→ Verformung in z

Nichtlinear



Kraft in z

→ Verformung in z und x

Aktualisierung der Steifigkeitsmatrix

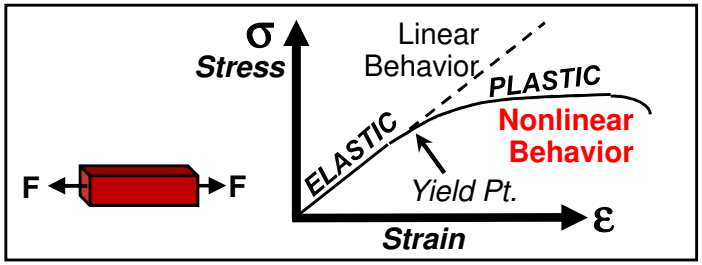
→ Kleinere Verformung

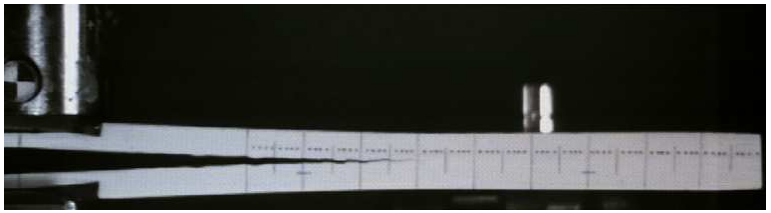
© 2018. MSC Software Confidential.

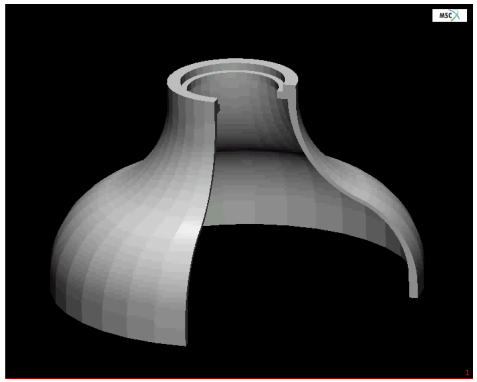
Warum nichtlineare Berechnung?

Praktisch jedes Material, das über das Hooke'sche Gesetz $\sigma = E^*\varepsilon$ hinausgeht, erfordert Iterationen und daher nichtlineare Berechnung.

- Elastoplastisch
- Dichtungsmaterial
- Hyperelastisch (Gummi)
- Progressives Versagen von Faserverbundwerkstoffen
- Delamination
- Rissfortsetzung
- Viskoelastisch
- Shape Memory Alloy



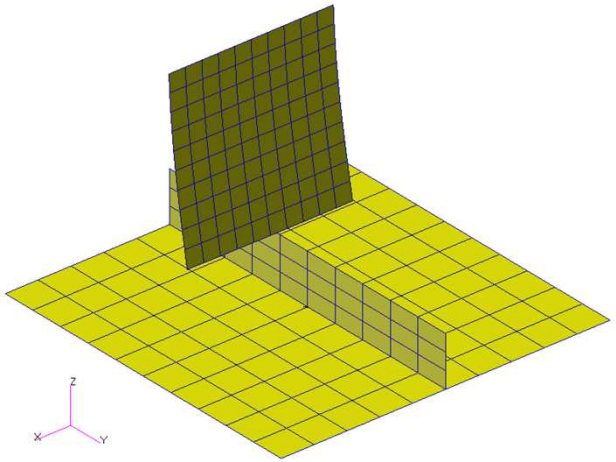


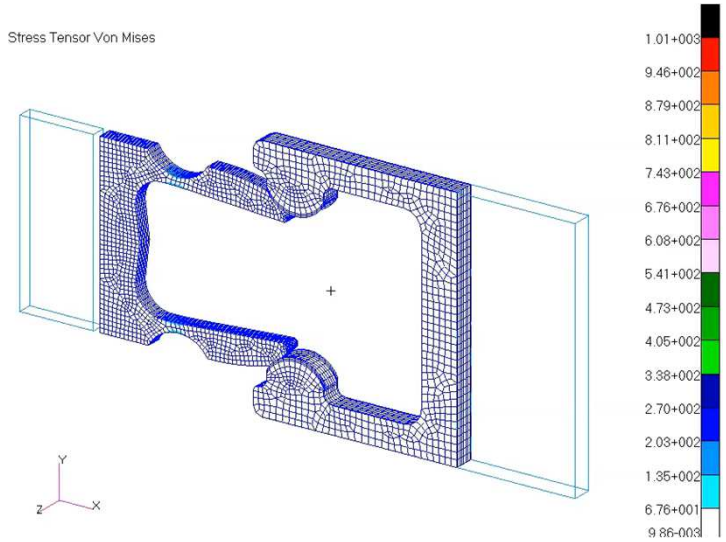


© 2018. MSC Software Confidential.

Warum nichtlineare Berechnung?

- Kontaktberechnung erfordert Iterationen
- Außer glue contact, der während der gesamten Rechnung fest verbunden ist und zum Verbinden ungleicher Netze dient
- Spezialeffekte wie Aufreißen von glue contact (Rissfortsetzung) oder temperaturabhängiger Kontakt (z.B. Klebung)





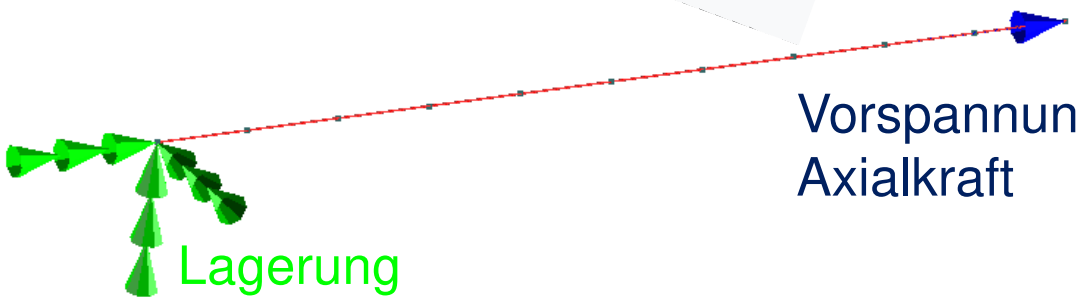
© 2018. MSC Software Confidential.

Warum nichtlineare Berechnung?

- Verschiedene Berechnungsarten bauen aufeinander auf, z.B.
  - Thermisch - mechanisch
  - Vorspannung - Eigenfrequenzberechnung
  - Vorspannung – Frequenzganganalyse
  - Nichtlinear – transient

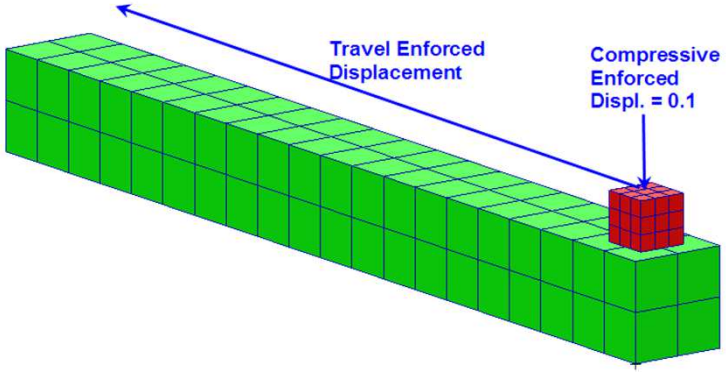
- Beispiel: Gitarrensaite
  - Nur wenn die Saiten axial vorgespannt sind, kann ein Klang entstehen

Bild von https://de.wikipedia.org/wiki/Gitarre

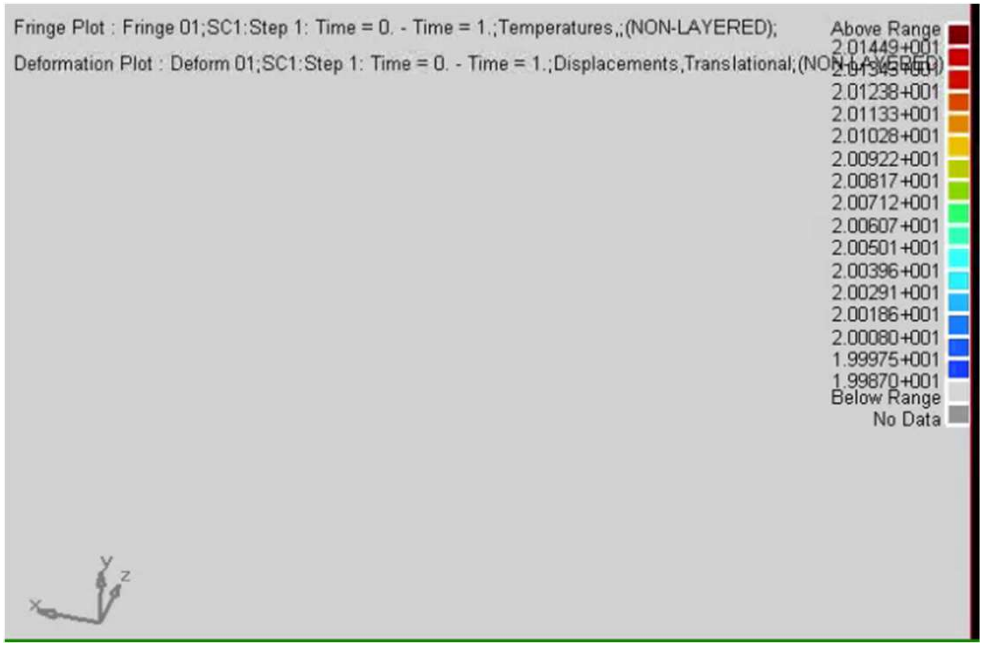


© 2018. MSC Software Confidential.

Warum nichtlineare Berechnung?



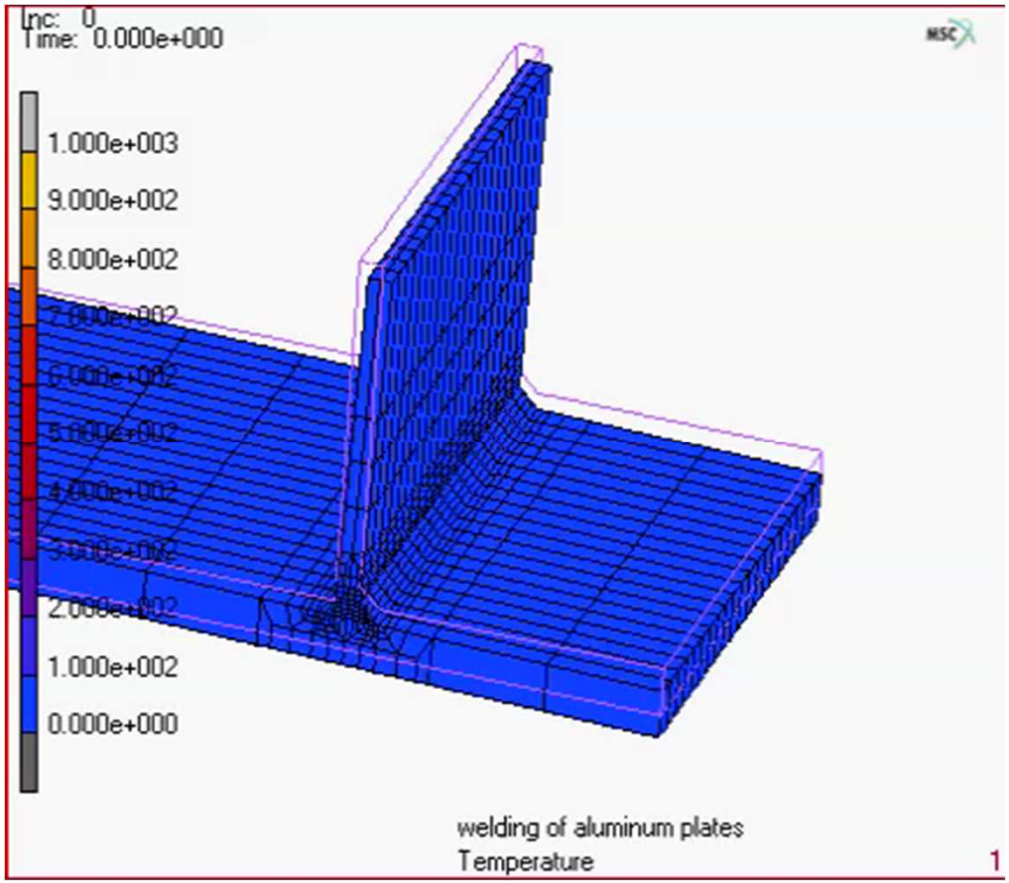
- Thermisch-mechanische Kopplung
- Beispiel: Würfel wird auf Quader gedrückt und die Fläche entlang geschoben. Dabei entsteht Reibung
  -> Temperaturerhöhung



© 2018. MSC Software Confidential.

Warum nichtlineare Berechnung?

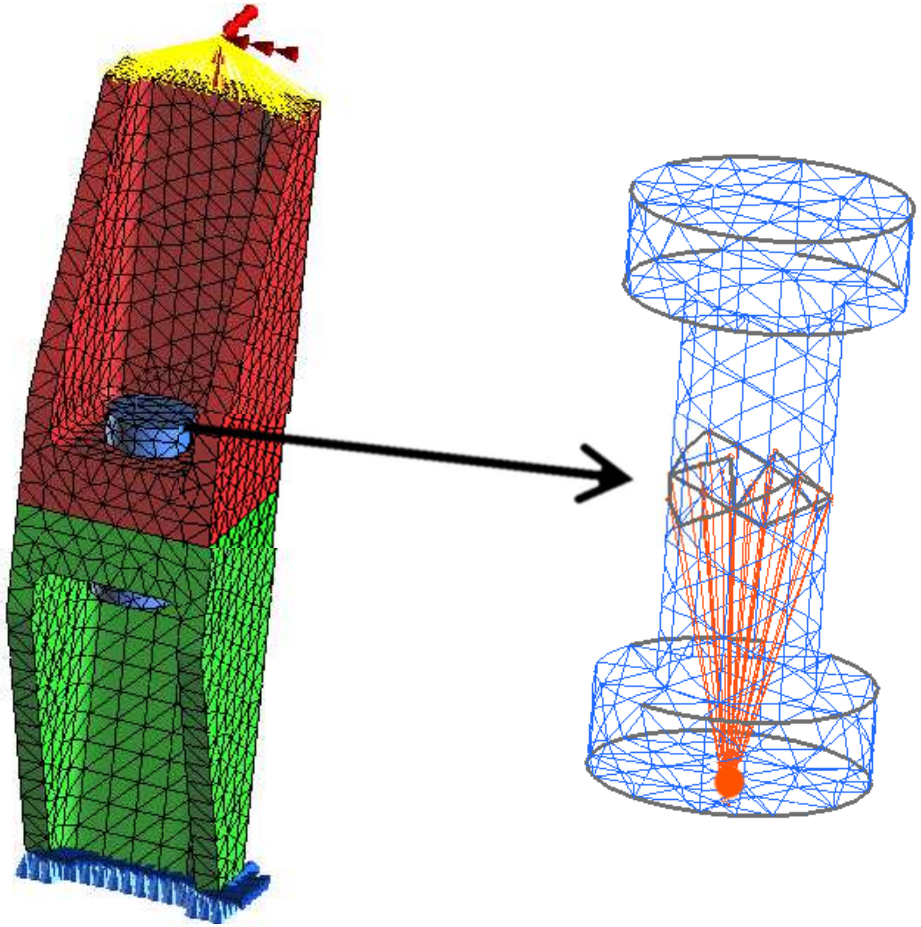
- Thermisch-mechanische Kopplung, Beispiel Schweißsimulation



© 2018. MSC Software Confidential.

Warum nichtlineare Berechnung?

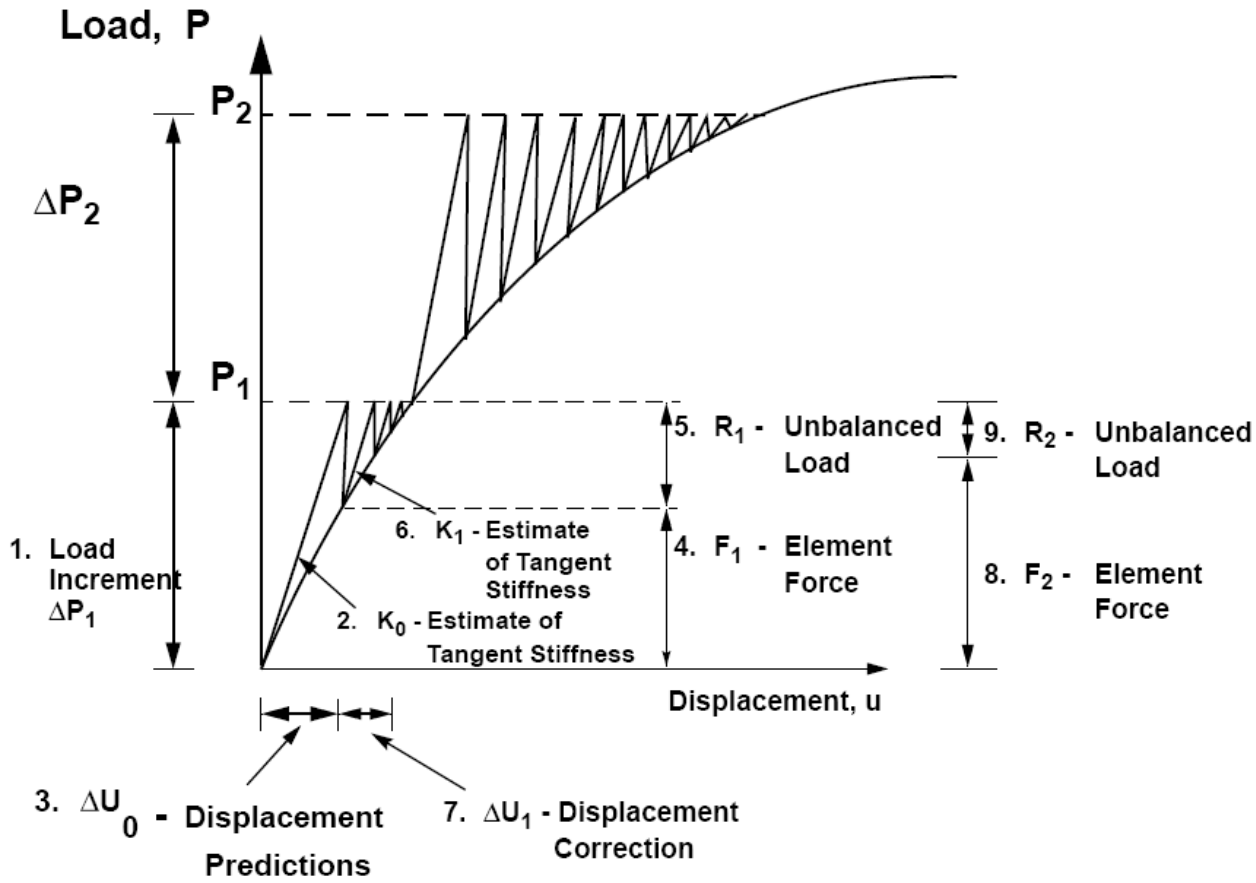
- Schraubenvorspannung
- Automatischer Prozess:
  - Schrauben werden an ihrer Form erkannt
  - Schraube wird in der Mitte geteilt
  - Dort wird ein multipoint constraint eingefügt, der jeden dieser Knoten mit dem Kontrollknoten verbindet. Dieser erhält die Vorspannung. An ihm wird später die Schraubenkraft ausgegeben.



© 2018. MSC Software Confidential.

Algorithmus

- Lineare Berechnung löst einfach die Matrixgleichung {F}=[K]*{u}
- Nichtlineare Berechnung muss iterieren



© 2018. MSC Software Confidential.

Parameter für Konvergenz

- Konvergenzkriterien (Kraft, Verformung, Arbeit, oder Kombinationen davon)
- Toleranzen (Werte der Konvergenzkriterien)
- Verwendeter nichtlinearer Algorithmus, z.B. Newton-Raphson
- Zeitschrittsteuerung: fest oder adaptiv
- MSC Nastran bietet „smart defaults“: Kombinationen dieser Parameter für verschiedene Grade der Nichtlinearität

© 2018. MSC Software Confidential.

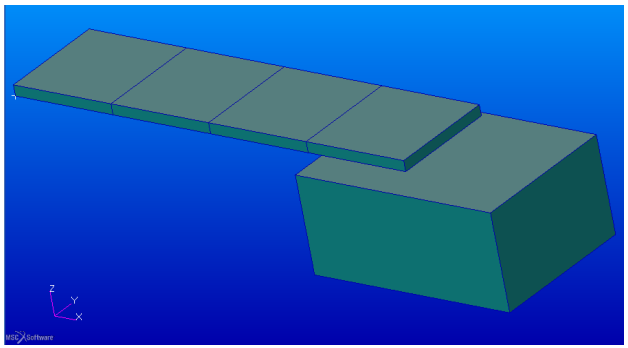
Grade der Nichtlinearität

Quasilinear

Kleine Verformungen und Dehnungen

Lineares Materialerhalten

Kontakt



Beispiel:

- Kragplatte, Kontakt mit Block
- Kontakt, auch mit Reibung

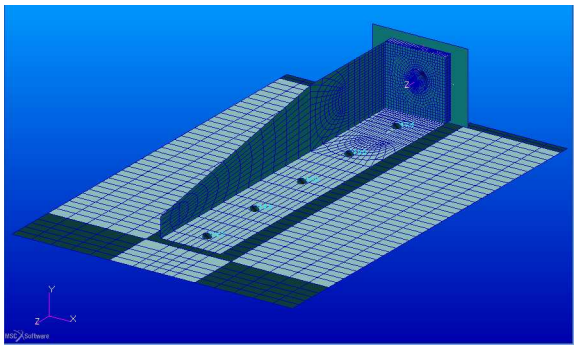
Mäßig nichtlinear

Große Verformungen

Kleine Dehnungen

Materialnichtlinearität

Kontakt



Beispiel:

- Kontakt mehrerer Teile
- Elastoplastisches Materialverhalten

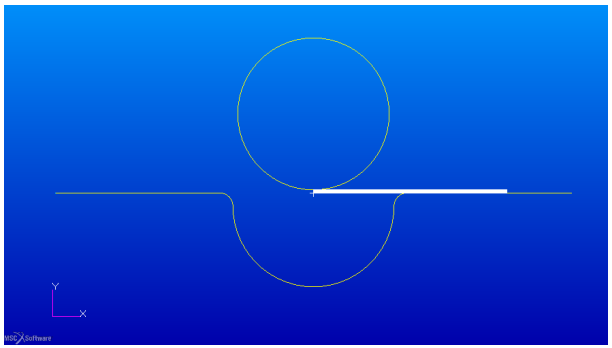
Stark nichtlinear

Große Verformungen

Große Dehnungen

Materialnichtlinearität

Kontakt



Beispiel:

- Metallumformung

© 2018. MSC Software Confidential.

Allgemeine Tipps für Konvergenz

- Mit linearem Modell beginnen und die verschiedenen Nichtlinearitäten schrittweise hinzufügen
- Wie groß ist die maximale Verformung? Lineare Berechnung liefert Ergebnisse unabhängig von den Größenverhältnissen; nichtlineare Berechnung verlangt realistische Situation
- Mit glued contact beginnen
- Kontakttoleranzen / -parameter prüfen
- Statische Bestimmtheit prüfen. Teile, die erst durch Kontakt festgehalten werden, vorher z.B. über schwache Federn lagern

© 2018. MSC Software Confidential.

Statusmeldungen der nichtlinearen Berechnung

```
information summary of job:  ./xfea
version: MSC Nastran 2012.2.0, Built on Jul 06, 2012
date:     Jul 27, 2012; Day Time: 12:24:24

  subcase      inc  cycl  sepa cut     cycl   split   separ   cut  rmesh time step   total time  wall time   cpu time    max resp. type
  /step #       #     #    #    #       #       #      #      #     #      of          of
        1          |--of the inc--|-----------of the analysis-----------|  the inc     the job
        1        0     0    0    0       0       0      0      0     0  0.0000E+00  0.0000E+00       1.00       0.90   0.0000E+00 disp
        1        1     4    0    0       4       0      0      0     0  1.0000E-01  1.0000E-01       1.00       0.90   1.6426E-01 disp
        1        2     4    0    0       8       0      0      0     0  1.0000E-01  2.0000E-01       1.00       0.90   3.2791E-01 disp
        1        3     3    0    0      11       0      0      0     0  1.0000E-01  3.0000E-01       1.00       0.90   4.9067E-01 disp
        1        4     3    0    0      14       0      0      0     0  1.0000E-01  4.0000E-01       1.00       0.90   6.5319E-01 disp
        1        5     3    0    0      17       0      0      0     0  1.0000E-01  5.0000E-01       1.00       0.90   8.1488E-01 disp
        1        6     3    0    0      20       0      0      0     0  1.0000E-01  6.0000E-01       1.00       0.92   9.7618E-01 disp
        1        7     3    0    0      23       0      0      0     0  1.0000E-01  7.0000E-01       1.00       0.92   1.1366E+00 disp
        1        8     3    0    0      26       0      0      0     0  1.0000E-01  8.0000E-01       1.00       0.92   1.2966E+00 disp
        1        9     3    0    0      29       0      0      0     0  1.0000E-01  9.0000E-01       1.00       0.92   1.4557E+00 disp
        1       10     4    0    0      33       0      0      0     0  1.0000E-01  1.0000E+00       1.00       0.92   1.6149E+00 disp
 Job ends with exit number :       0
           total wall time:          1.00
           total cpu  time:          0.95

           exit DEFINITION -----
           = 0  job terminates normally
           = 1  job terminates abnormally (check Fatal Error Message in F06)
```

Anzahl Inkremente

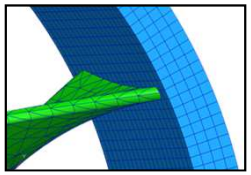
Bleibt Zeitschritt konstant oder wird er kleiner?

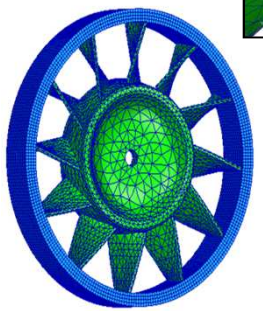
Maximale Verformung – sinnvoller Wert?

© 2018. MSC Software Confidential.

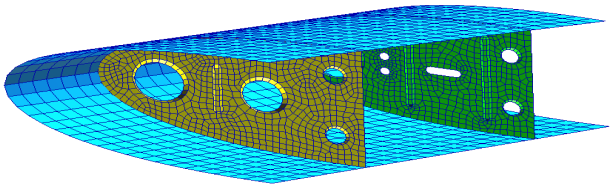
Kontaktberechnung

- Glued contact – Teile sind von Beginn der Rechnung an fest verbunden

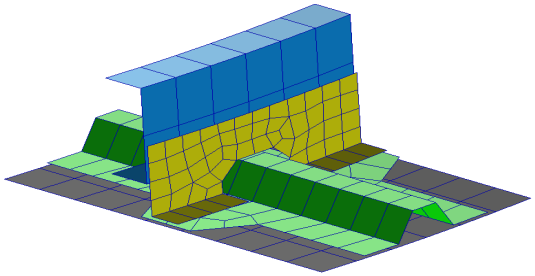




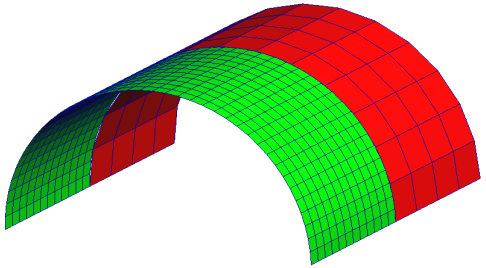
Solids
Fläche zu Fläche



Schalenelemente
Kante zu Fläche



Schalenelemente
Fläche zu Fläche

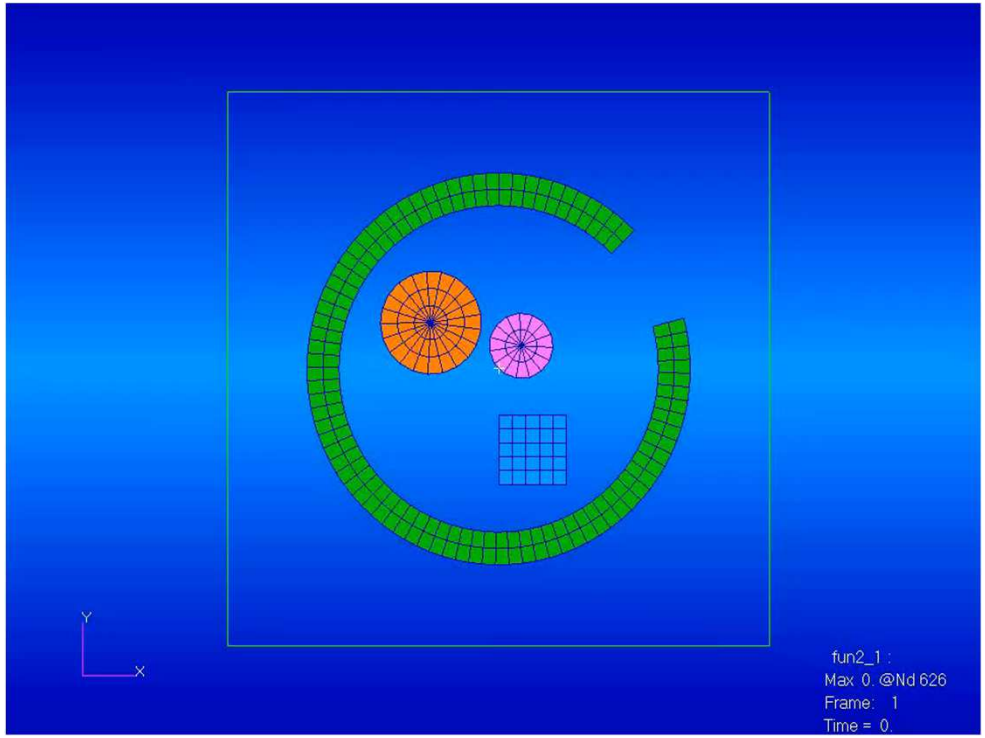


Schalenelemente
Kante zu Kante

© 2018. MSC Software Confidential.

Kontaktberechnung

- Touching contact – Teile kommen erst durch die Last in Kontakt, oder trennen sich



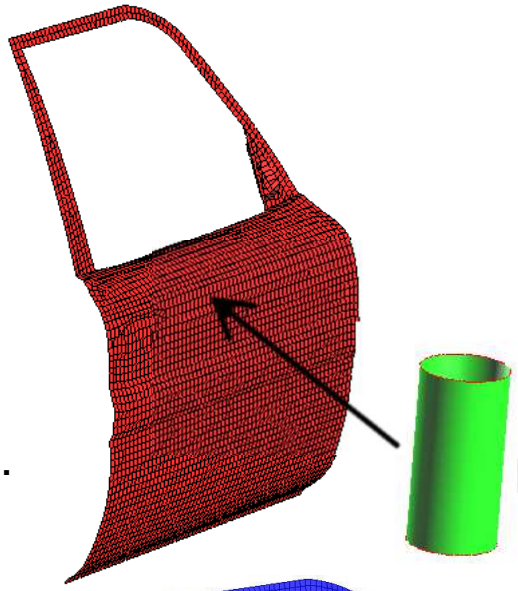
© 2018. MSC Software Confidential.

Kontaktberechnung

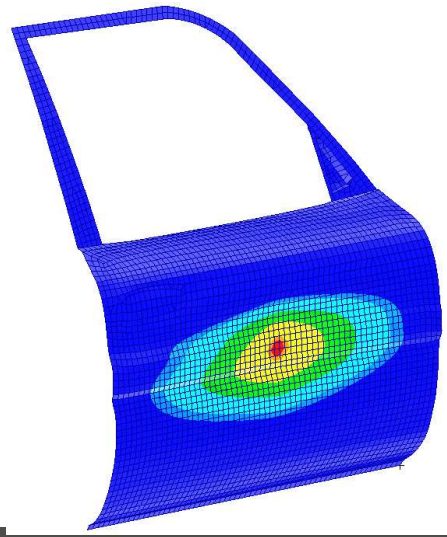
- Deformable and rigid bodies

- **Deformable:**
  - normaler vernetzter Körper
  - kann Verformung, Spannungsverteilung etc. haben

- **Rigid:**
  - wesentlich steifer als der deformable body
  - Verformung, Geschwindigkeit oder Last vorgegeben
  - Keine Spannungsverteilung
  - Z.B. Umformwerkzeug oder starre Wand beim Crash

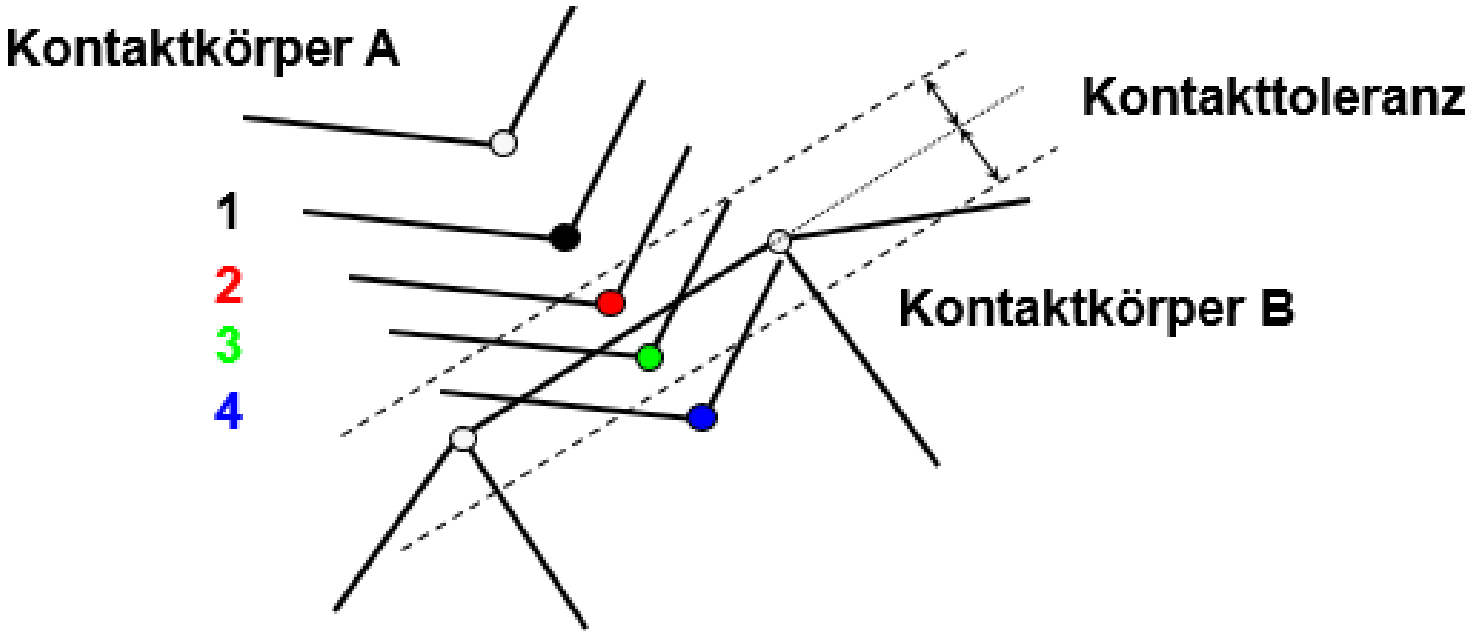


Beispiel: Zylinder beim Eindrücktest als rigid body modelliert



© 2018. MSC Software Confidential.

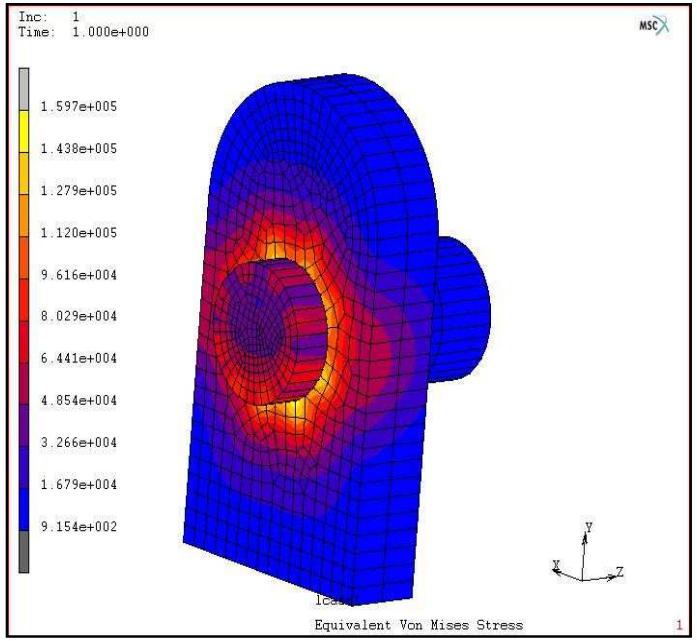
Kontaktberechnung



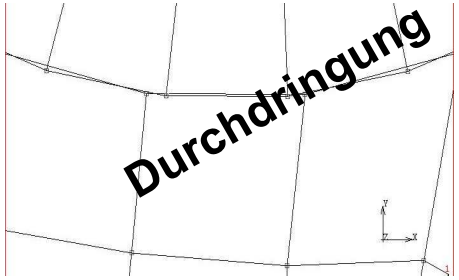
- Kontakttoleranz: wichtiger Parameter
- Zu klein -> höhere Rechenzeit
- Zu groß -> geringere Genauigkeit
- Bias-Wert: verlegt z.B. 90% der Kontakttoleranz nach innen in Kontaktkörper B
  -> optimaler Tradeoff zwischen Rechenzeit und Genauigkeit

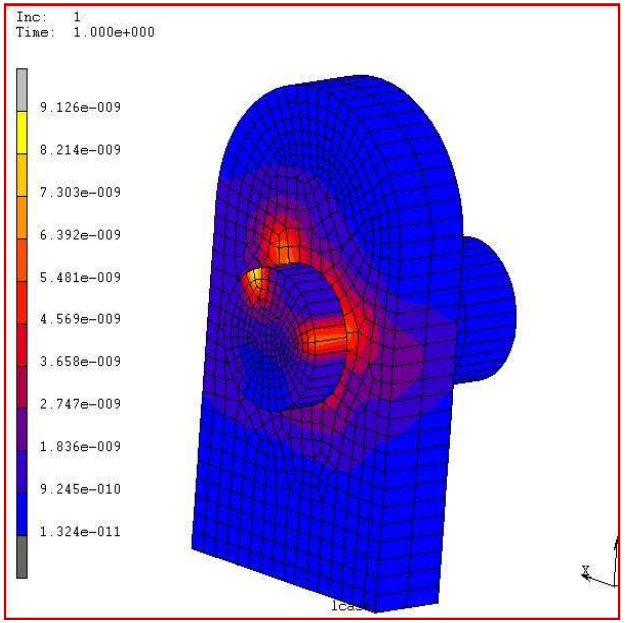
© 2018. MSC Software Confidential.

Kontaktberechnung – Nützliche Features



Normal

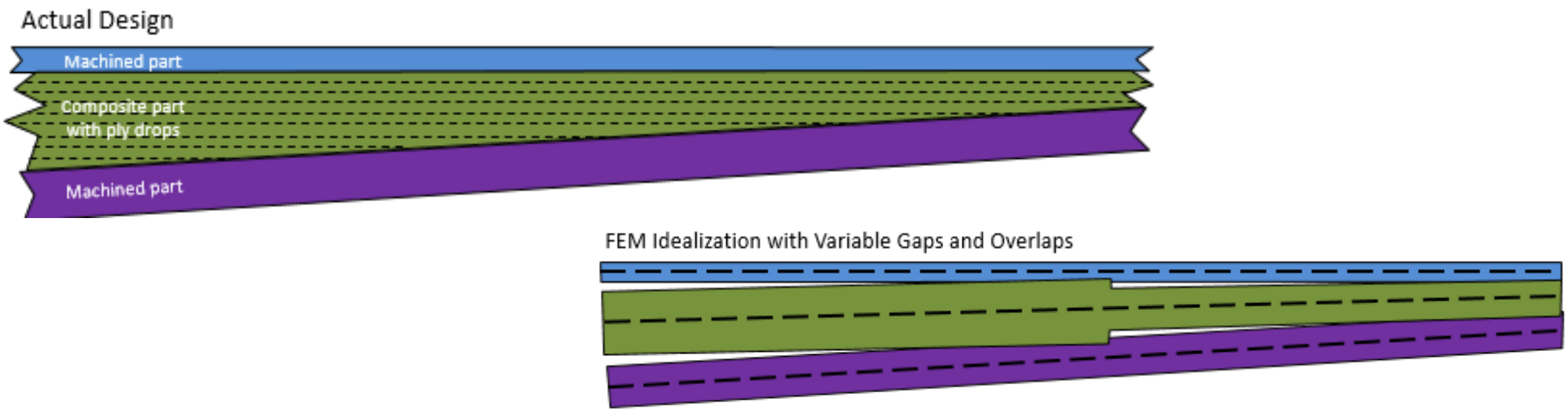




Bessere Spannungsverteilung mit **spannungsfreiem Anfangskontakt**, der die Knoten vor der Rechnung aufeinanderzieht

© 2018. MSC Software Confidential.

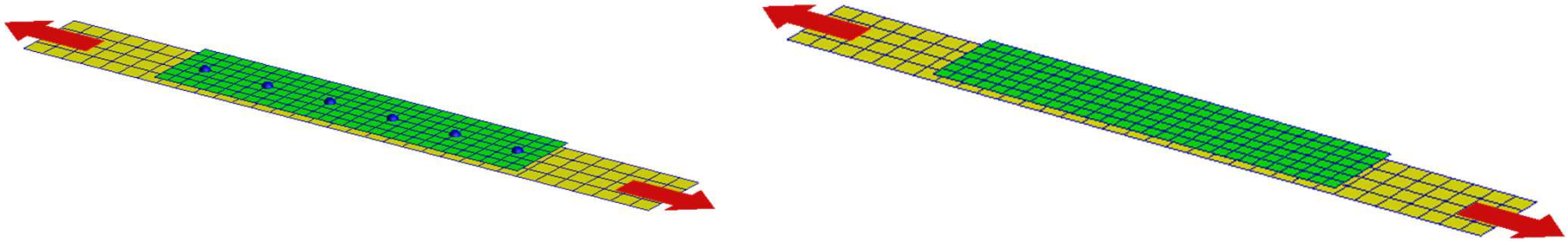
Kontaktberechnung – nützliche Features



Mit **Initial Gap** / **Overlap** kann der Anwender einen überall gleichen Abstand zwischen den Kontaktkörpern definieren

© 2018. MSC Software Confidential.

Kontaktberechnung – nützliche Features

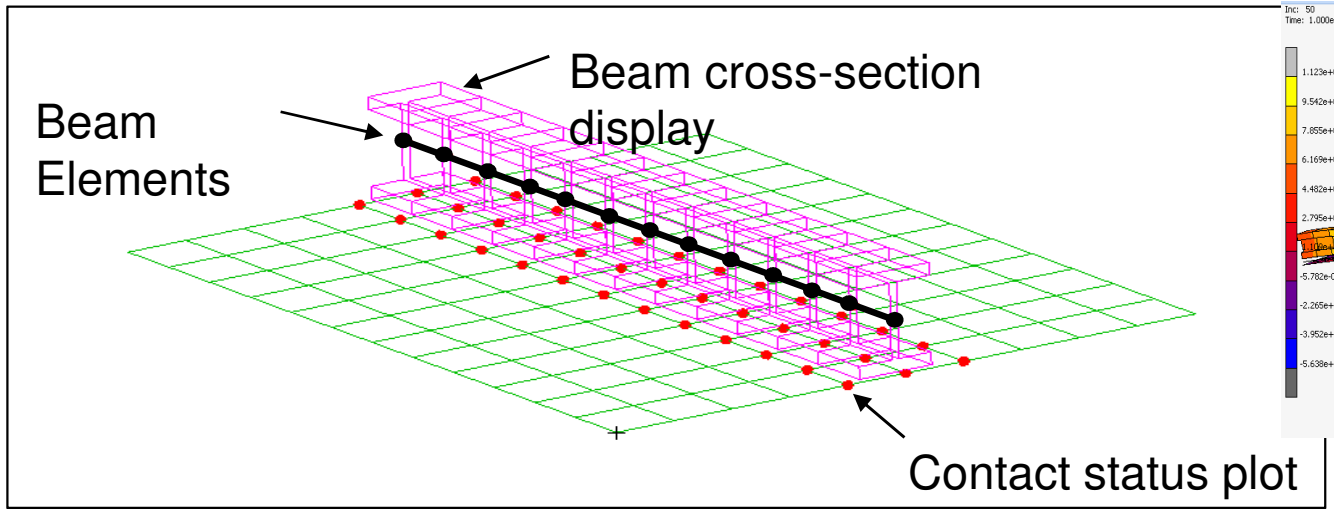


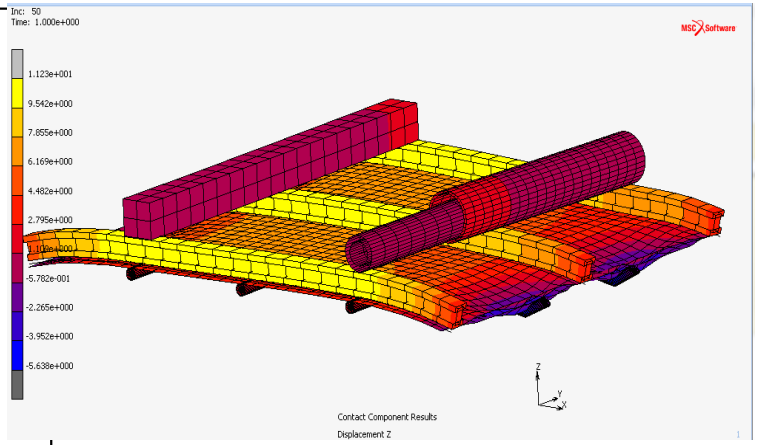
Niete vereinfacht modelliert als verschmierte Kontaktsteifigkeit

Cohesive contact – endliche Steifigkeit für glued contact
Steifigkeit kann auch von der Verschiebung abhängig angegeben werden

© 2018. MSC Software Confidential.

Kontaktberechnung – nützliche Features





Balkenelemente – **3D-Querschnitt** für Kontakt berücksichtigt

© 2018. MSC Software Confidential.

MSC Software

- CAE-Simulationssoftware seit 1963
- MSC hat sich von der “Nastran-Firma” zu einem Anbieter entwickelt, der praktisch den gesamten CAE-Bereich abdeckt
  - Finite-Elemente-Berechnung (FEM)
  - Strömungsberechnung (CFD)
  - Mehrkörpersimulation
  - Simulations- und Prozessdatenmanagement
- Luft- und Raumfahrt, Auto, Maschinenbau und viele andere Industrien
- Software, Dienstleistungen, Training
- Einfacher Einstieg – intuitive Software

Where It All Began: The 10 Original Software Companies

www.MaximumPC.com | Posted June 28, 2011 at 12:47pm | by Gord Goble

In compiling a list of the world's oldest software companies, one comes face to face with an inevitable question. Namely, what is it? What the heck is this thing we call "software?"

We searched the darkest corners of our brains and perused the online dictionaries for quickie text bytes and never really could come up with a single, all-purpose answer. Is it the overtly simplistic "Anything that is not hardware but is used with hardware" or the seemingly too limiting "The programs used to direct the operations of a computer?" How about this metaphysical beauty: "Unlike hardware, software can't be touched." Ouch. That makes our heads hurt.

While it's easy to say that Windows or Office or even the wanton dismemberment of Dead Space 2 are obvious examples of software, where does one draw the line? Did software, for instance, exist before the advent of computers? In our minds, it did. Though the concept of altering the performance of mechanisms by feeding them independent sets of instructions has clearly become rampant in the computer age, it in fact started long before that – the early 18th century, to be exact. And that is precisely where we'll start our journey.

Please remember as you read that software – and for that matter, computers – were with us long before the desktop PCs that so radically changed everything. Moreover, just because Joe Blow in some dungeon in Joe Blow Land cranked out a few lines of code before one of the key players, we've elected for the purposes of this article to ignore Joe and highlight instead those companies that history will see as having made a serious impact. Ergo, our countdown may seem a bit scattered. It isn't. It's perfect.

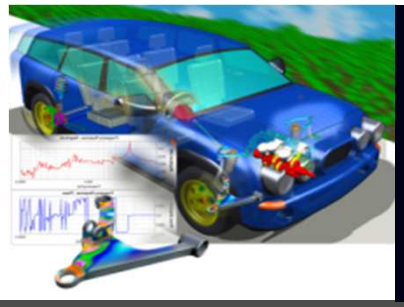
MSC SOFTWARE

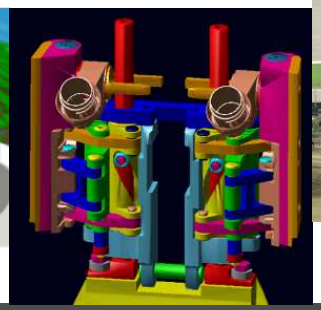
In May of 1962, President John F Kennedy predicted America would by the end of the decade place a man on the moon. Just a year and a half later, the world had lost one of its great leaders. Yet there was no shortage of folks ready to keep Kennedy's grand dream alive over the course of the next six years.

Certainly MSC Software was in there doing its share. Debuting in 1963 as MacNeal-Schwendler Corporation, the company specialized from the start in structural analysis, developing software for pre-PC computers that simulated the functionality of complex engineering designs. Its first product, SADSAM (Structural Analysis by Digital Simulation of Analog Methods), was designed specifically for the aerospace industry, and by 1965, MSC was involved heavily with NASA.

Today, MSC Software employs 1200 people over 23 countries and says it can count virtually every OEM manufacturer in the world as an MSC customer.

MSC Corporation will celebrate it's 50th Anniversary in February 2013.





Noch viel mehr über CAE-Simulation erfahren Sie

- hier am MSC Software Stand

- und auf unserer Anwenderkonferenz

© 2018. MSC Software Confidential.