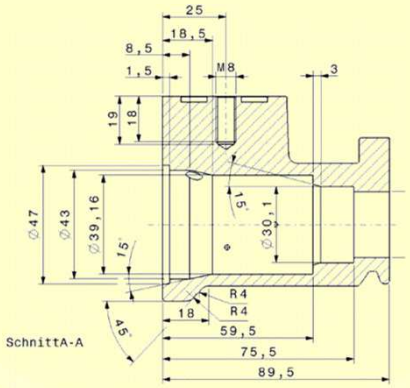
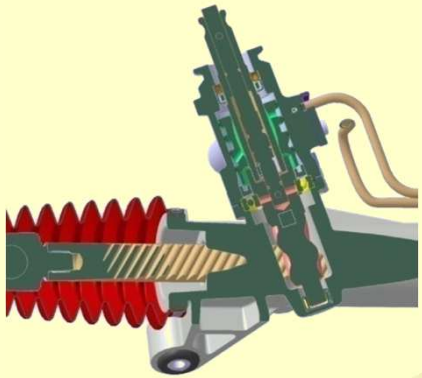
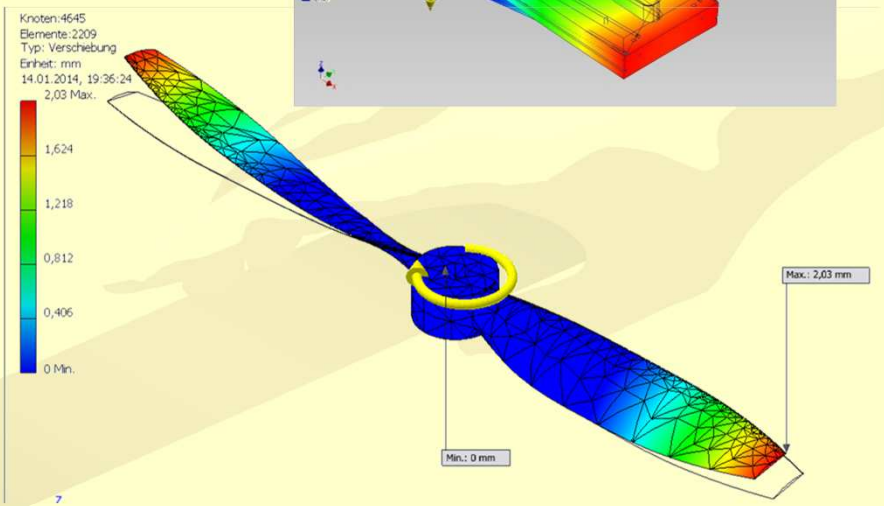
# TRIDOX Tools & Technosystems

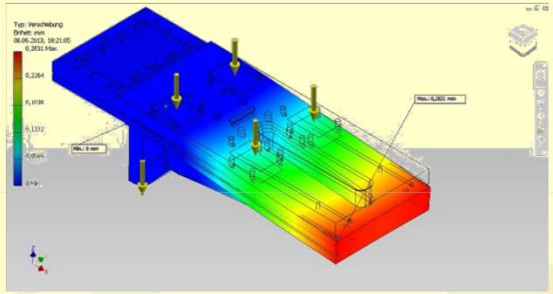
## Your reliable partner for CAD-Services

- **CAD-CAM-Dienstleistungen**
- **CAD-Schulungen in Deutsch und Englisch**
- **CAD- Consulting**





***CAD- Ausbildungspartner der Hochschule Esslingen/Standort Göppingen***
***Fakultät: Mechatronik***

***CAD-Education partner of the SRH-University Heidelberg lecturer in the faculty: School of Engineering & Architecture***

Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

SRH HOCHSCHULE HEIDELBERG


**© TRIDOX Tools &Technosystems**

Serafim Triantafillidis

Stuifenstraße 14, 73550 Waldstetten

Tel:+49 (0)7171 9082171

E-Mail: info@tridox.de

Web: www.tridox.de

# TRIDOX Tools & Technosystems

## Die Philosophie

Unsere Philosophie ist es, mit modernsten Tools, Systemen und didaktischen Methoden, den Bedürfnissen unserer Kunden, speziell in dem Bereich der CAD-Aus und Weiterbildung, zu begegnen, überzeugen und nachhaltig zu befriedigen.

Fachkompetenz aus langjähriger Berufserfahrung und kontinuierlicher Weiterbildung bilden dazu das Fundament.

**Παν Μέτρων Άριστον! „Pan Metron Ariston“**

**Das Maß ist das Mittel aller Dinge!** Kleobulos 600 v.Chr.

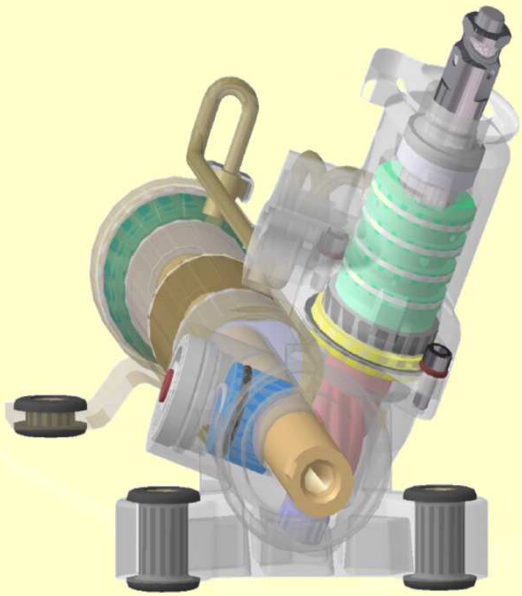
**„Perfection is achieved, not when there is nothing more to add,**

**but when there is nothing left to take away“**

Antoine de Saint-Exupery: 1900-1944

# TRIDOX Tools & Technosystems

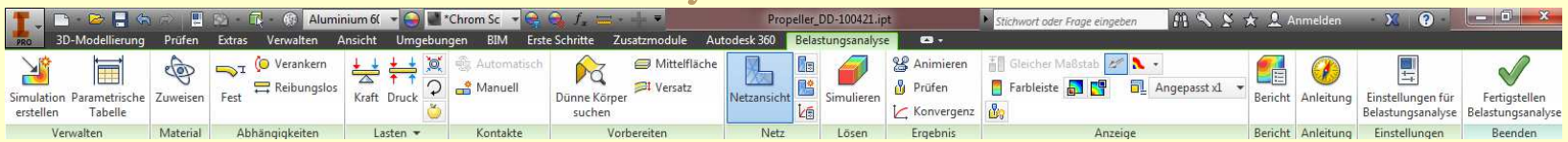
## Auszug aus dem modularen CAD-Lehrplan



- Einführung in die Benutzeroberflächen: INVENTOR-2014/CATIA V5/Solid-Works
- Einstellung der Anwendungs-Optionen
- Definition der Projektdatei/en und Pfade
- Skizzierumgebung: Skizzen editieren, geometrische und parametrische Eigenschaften
- Erstellung und Parametrisierung von Arbeitselementen.
- Part/Volumenkörper Editieren von diversen Geometrie
- Programmierung mit Zuweisung physikalischen Eigenschaften
- Analysieren und bearbeiten von Volumenkörpern
- Erstellen von Mehrkörpermodellen
- Ableitung/Verknüpfung mit **Masterskizzen** und **Mastermodellen**
- Benutzerdefinierte **Parameter** mit Mathematischen **Formeln/Algorithmen**
- Fx- Verknüpfungen mit externen Verweisen aus Excellisten
- Variantensteuerung über I-part und Excel
- Baugruppenmodellierung: Top down/Bottom up Methoden.
- Baugruppen und Unterbaugruppen steuern und analysieren
- Kinematische Abläufe definieren und Interferenzen prüfen.
- **FEM** (Statische & Dynamische) Simulation/Analyse: Bauteilen und Baugruppen
- Exportieren und dokumentieren der Berechnungsergebnisse
- 2-D Zeichnungsableitungen: Erstellung von Ansichten, Schnitten, Explosions-Darstellungen und Positionsnummern.
- Erstellung von Stücklisten in der 2-D Ableitung und exportieren in diverse Dateiformate Bsp. (Excel) etc.

# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

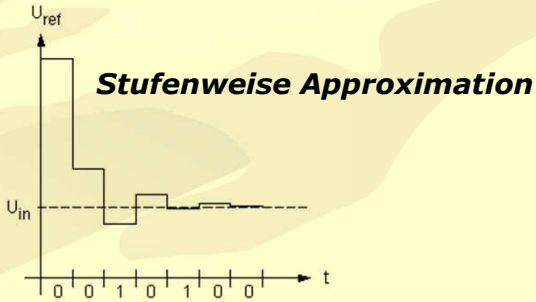



### FEM- Analyse Inhalte

Wie kann der Konstrukteur die FEM- Analyse Umgebung des Inventor-2014 in der Konstruktions- Entwicklungsphase eines Produktes unterstützend und sinnvoll einsetzen.

### Die Schlüsselkonzeption in der FEM-Analyse

- Das FE-Netz (Netzarten)
- Die globalen und lokalen Netzsteuerungs-Tools und Methoden

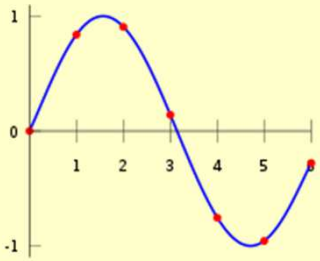



***Stufenweise Approximation***

### Konvergenz

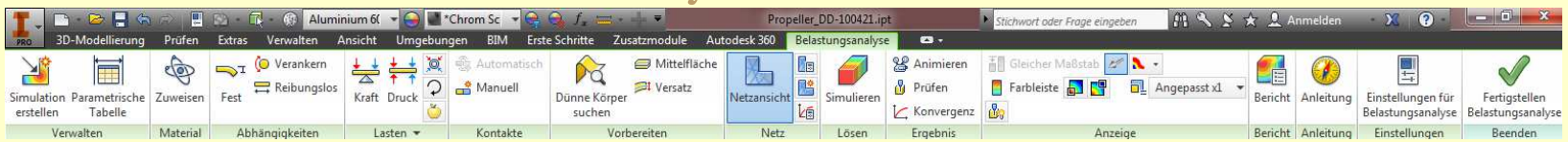
- Die Inventor h-p adaptive Berechnungsmethode (Verfeinerung )
- (h-Methode: Stufenweise *Approximation)/ (p-Methode: Polynom Approximation)*

***Polynom Approximation***



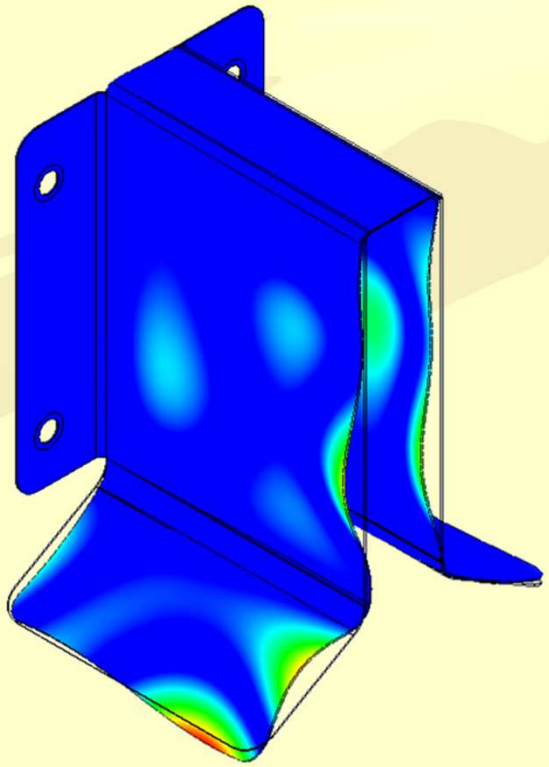
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



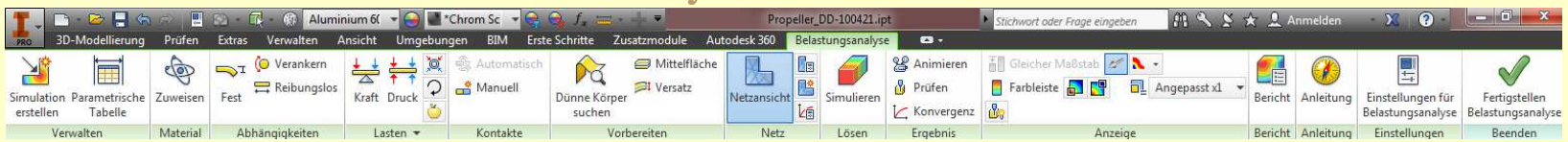

**Wie können Konstrukteure die FEM-Analyse in der Bewertungsphase auf diverse Einflussfaktoren einsetzen/Aufkommende Fragen**

- Ist das konstruierte Bauteil ausreichend dimensioniert?
- Ist es stark genug ausgelegt?
- Ist es anfällig auf Resonanzen (Eigenschwingung)



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



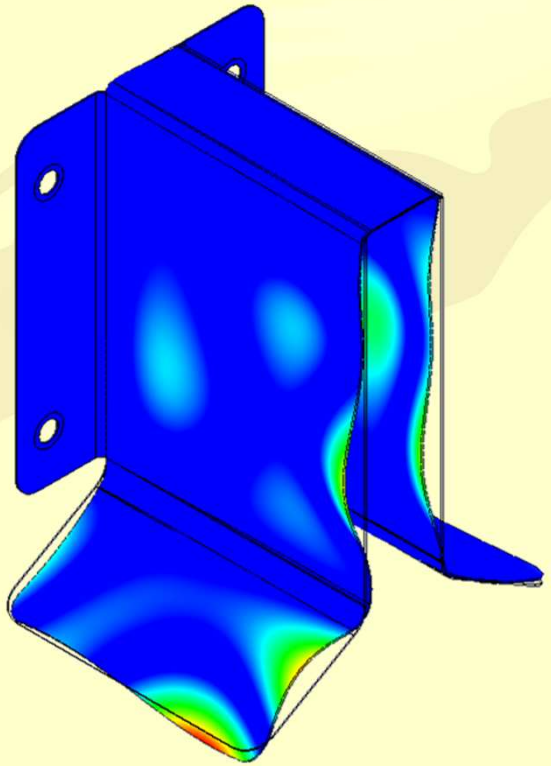

**Wie können Konstrukteure die FEM-Analyse in der Bewertungsphase auf diverse Einflussfaktoren einsetzen/Aufkommende Fragen**

### Fragen zu Optimierung

- Ist die Konstruktion überdimensioniert?

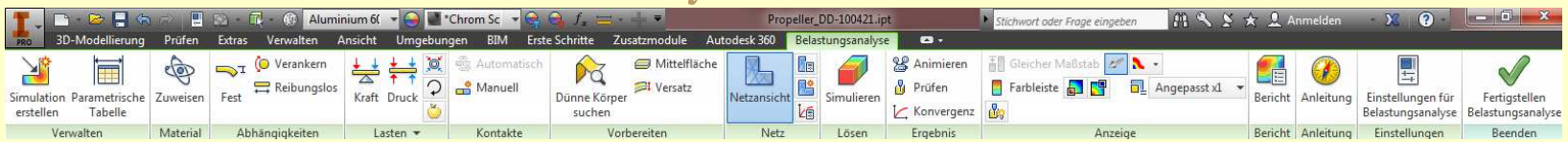
- Ist es möglich ein besseres Konstruktionsziel mittels-
  Modifikation der Geometrie zu erreichen ?
  (Form/Lage- Topologie/Größe)

- Ist es möglich ein besseres Konstruktionsziel mittels-
  Modifikation des eingesetzten Materials zu erreichen?
  (Material, Legierungszusätze, Materialeigenschaften)



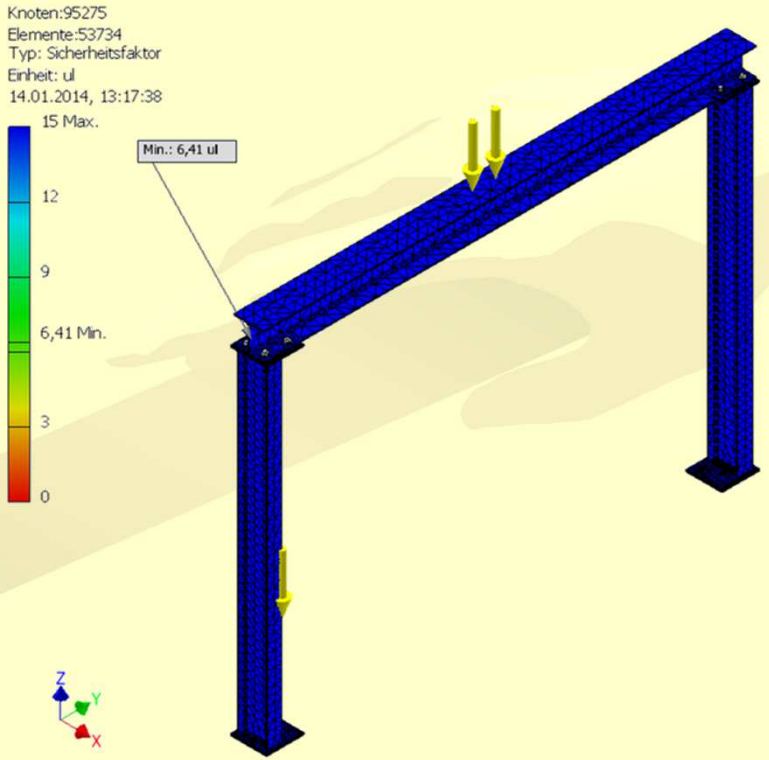
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



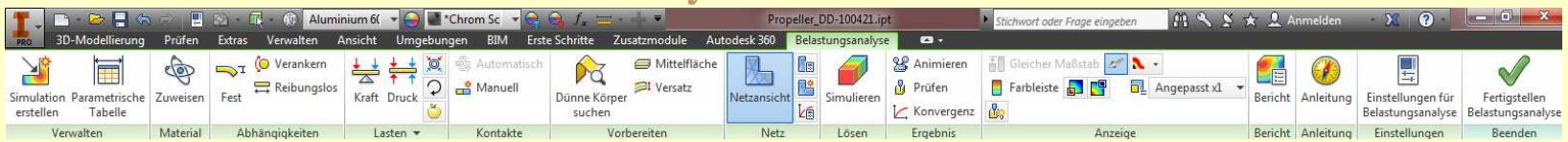

**Was Konstrukteure wissen wollen!**

- Ist die Konstruktion stark genug?
- Min Sicherheitsfaktor Bsp. Träger mit Faktor
- Sicherheitsfaktor = 6,41
  (kann also ein 6-Fache seiner angesetzten-wirkenden Last/Kraft tragen)
- Wie kann die Konstruktion optimiert werden?
- Bsp. Sicherheitsfaktor >=4
- Masse<200 Kg
- Andere Materialauswahl (Material)?



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

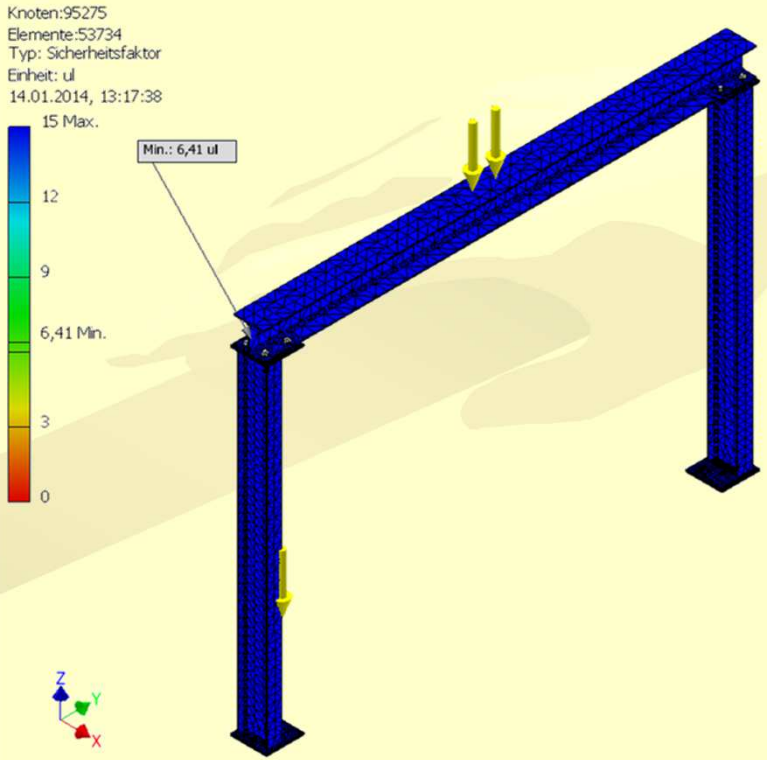



**Was Konstrukteure wissen wollen!**

***Sicherheitsfaktoren für „Standard Bauteile“***

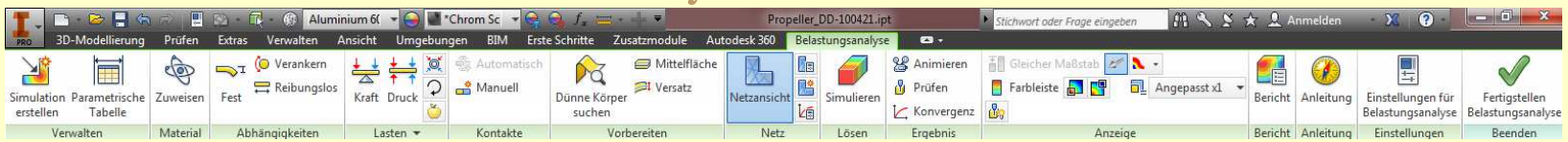
Sicherheitsfaktoren ***Richtwerte*** aus diversen Branchen der Industrie.

- **Flugzeugkomponenten =sf 1,5 bis 2,5**
- **Schrauben = sf 8,5**
- **Hebezeuge =sf 8,5**
- **Baustahl in Gebäuden = sf 4 -6**
- **Baustahl in Brücken = sf 5 -7**



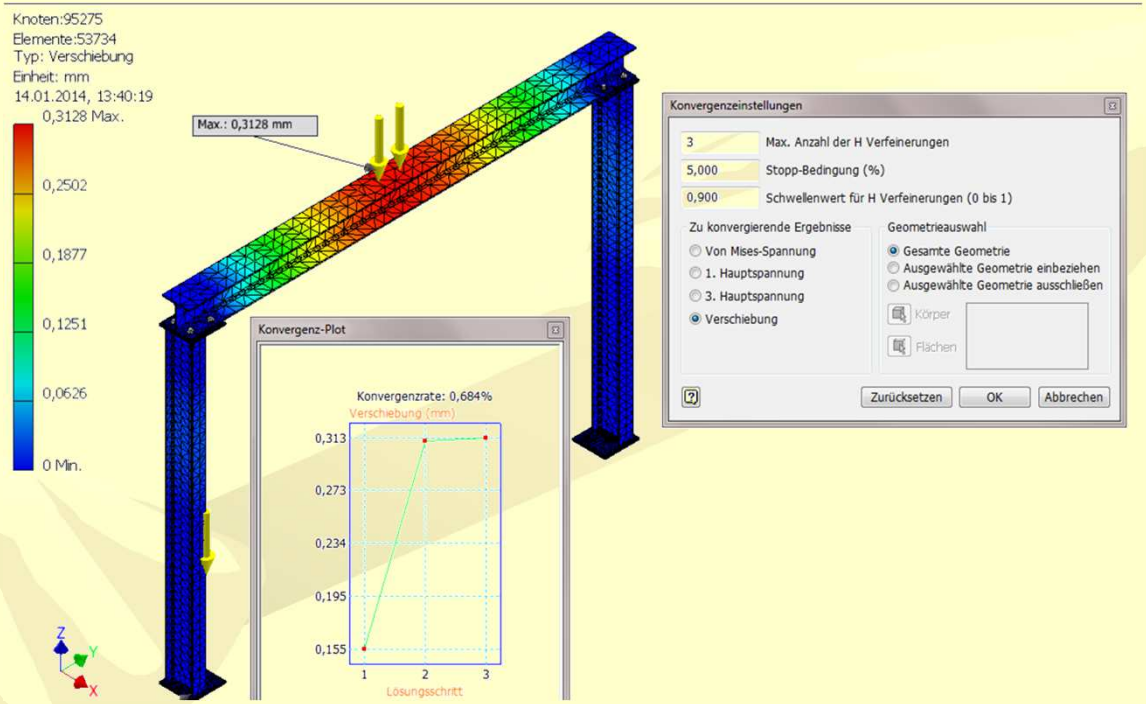
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



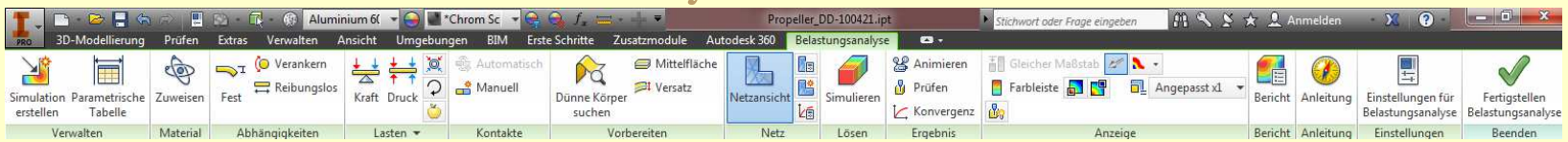

**Die wichtigsten „Stellschrauben“ Schlüsselkonzepte der FEM-Analyse**

- Die Netzerstellung
- Konvergenzeinstellungen
- H-Verfeinerungen
- P- Verfeinerungen
- Verbindungsarten



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



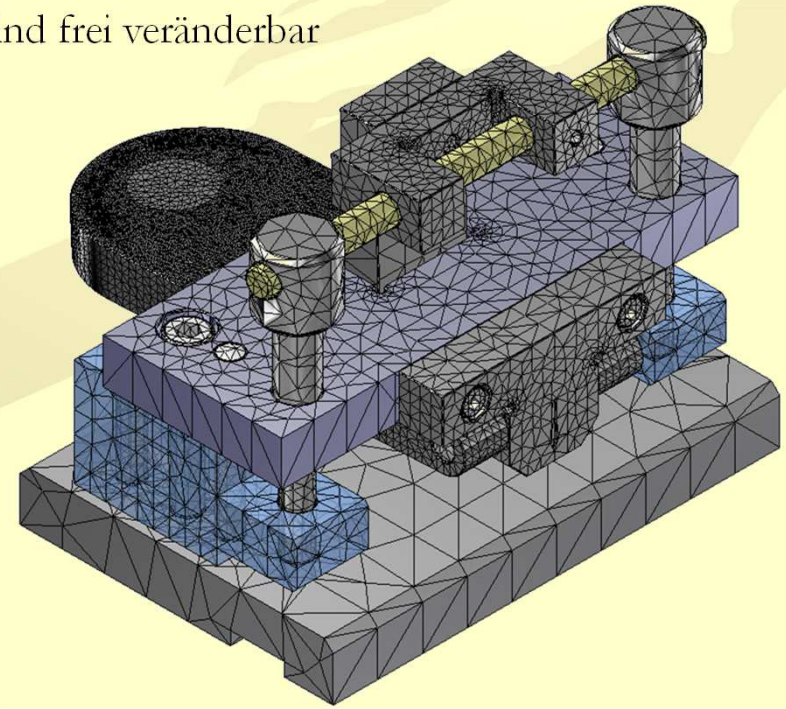

### Das Inventor FEM-Netz und die Netzeinstellungen

- Im Inventor wird ein Tetraeder förmiges Netz zur FEM-Berechnung verwendet.
- Eigenschaften und Stellgrößen der Netzstruktur sind frei veränderbar

***Hinweis/Ansys***: Bei der Netzerzeugung für eine Volumekörper hat sich ein Tetraeder Gitter/Netz bewehrt da es in der Regel relativ einfach erzeugt werden kann.

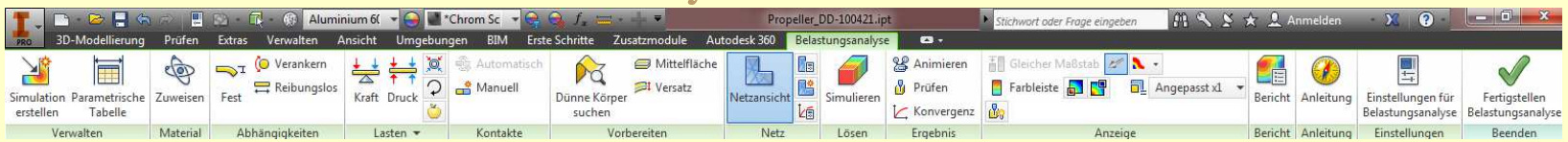
Des Weiteren bietet es die Möglichkeit, Netz- Steuerelemente hinzufügen, um die Genauigkeit in kritischen Bereichen zu erreichen.

Umgekehrt liefert eine Hexaeder Netz allgemein eine genauere Berechnung/Lösung ist aber wesentlich schwierig zu erzeugen.



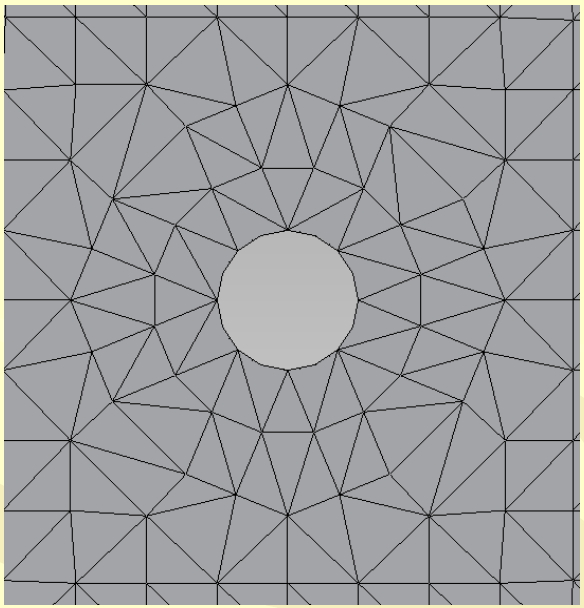
# TRIDOX Tools & Technosystems

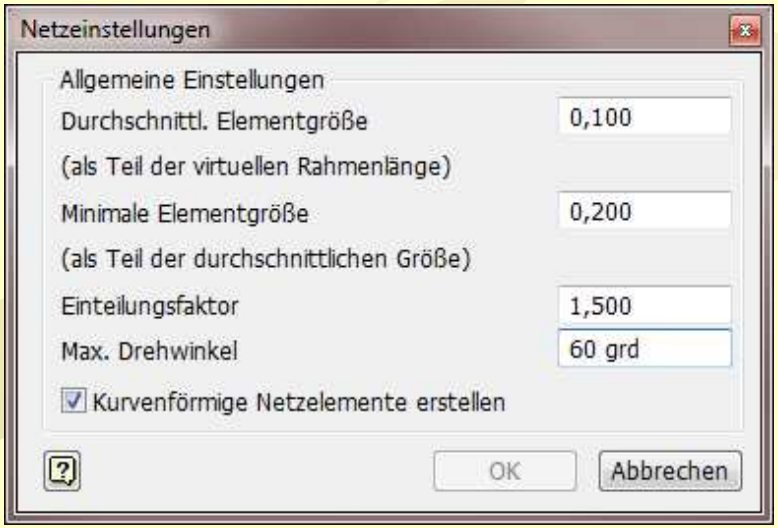
## FEM Analyse mit Inventor-2014




**Das Inventor FEM-Netz und die Netzeinstellungen**

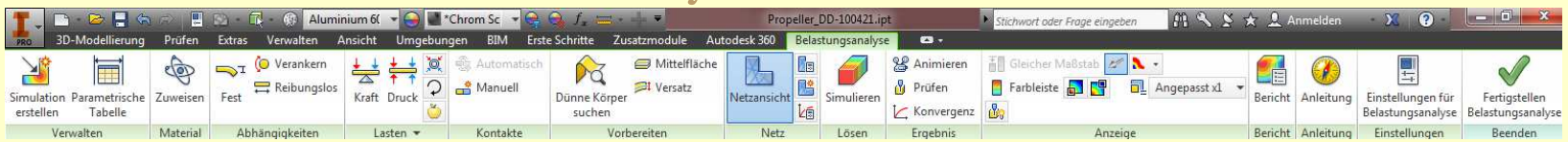
Max. Drehwinkel = 60°





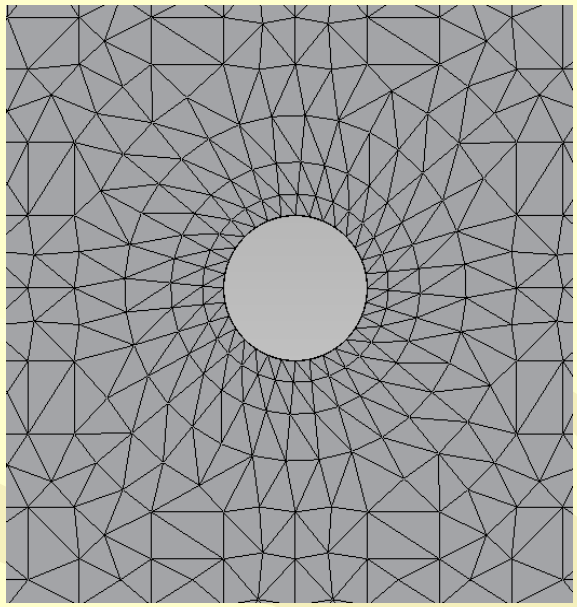
# TRIDOX Tools & Technosystems

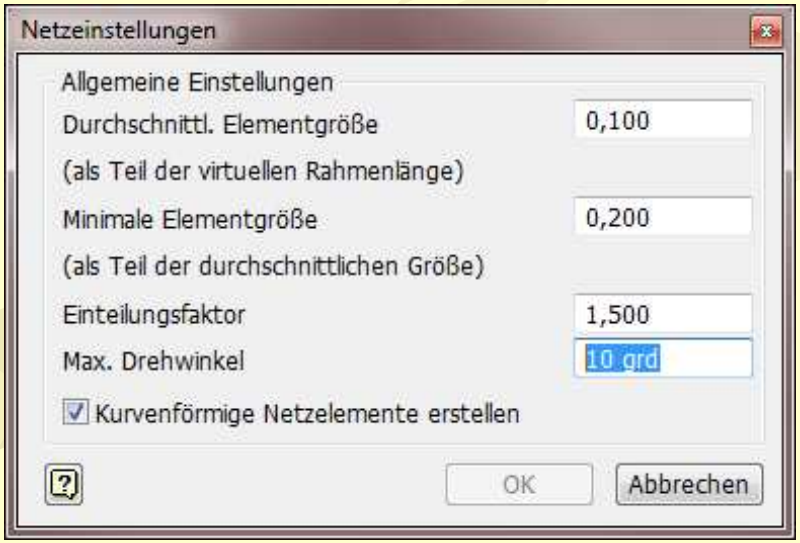
## FEM Analyse mit Inventor-2014




**Das Inventor FEM-Netz und die Netzeinstellungen**

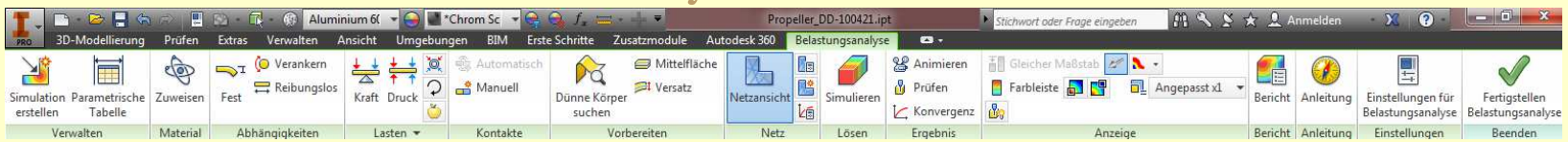
Max. Drehwinkel = 10°





# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

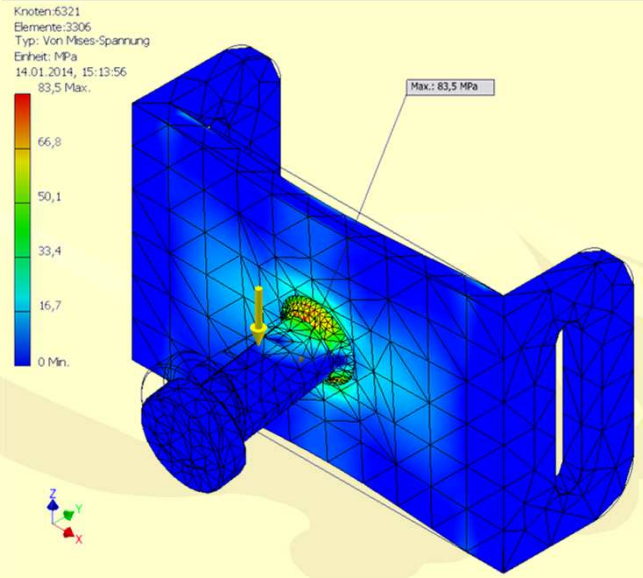



**Warum kann ein "Standard" FEM Ergebnis falsch sein**

Als Beispiel hierzu, haben wir eine kleine Schweißbaugruppe erstellt um die unerwartete Problematik aufzuzeigen, zu analysieren und zu beheben!

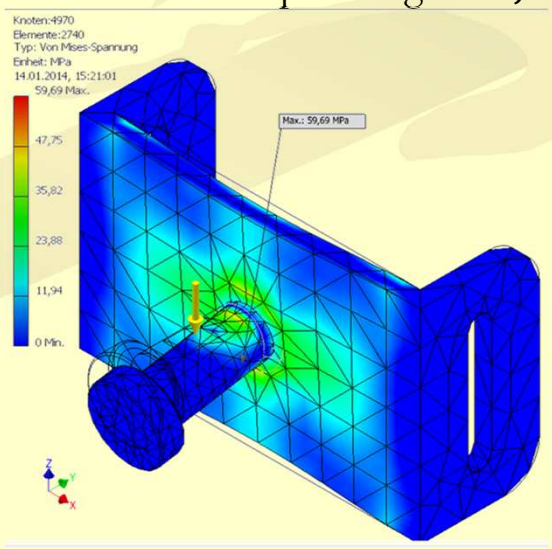
**BG mit Schweißnaht**

Max. Von Mises-Spannung = **83,5 MP**



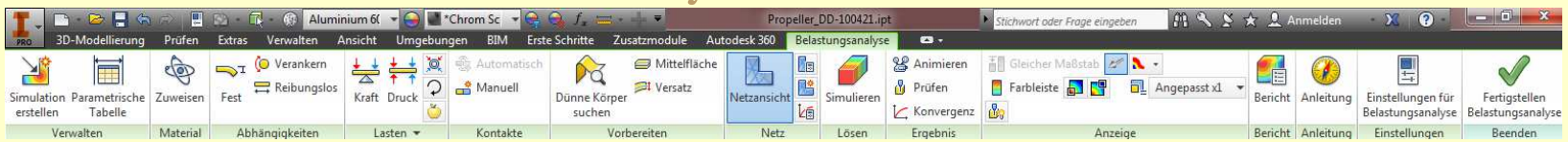

**BG ohne Schweißnaht**

Max. Von Mises-Spannung = **56,7 MP**



# TRIDOX Tools & Technosystems

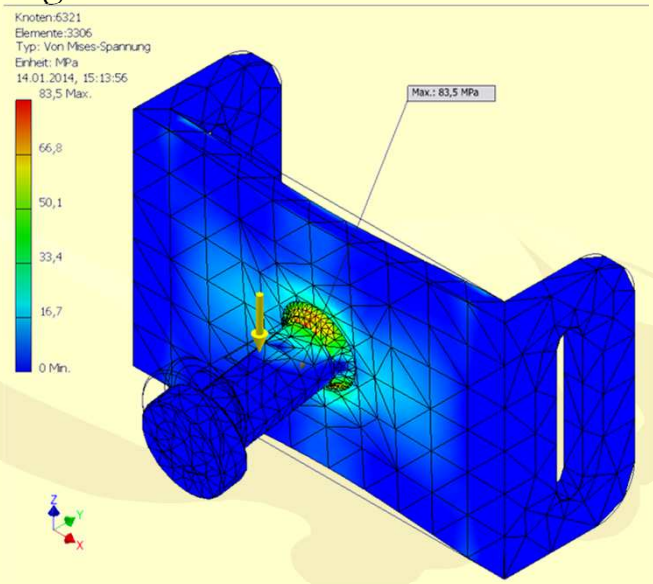
## FEM Analyse mit Inventor-2014

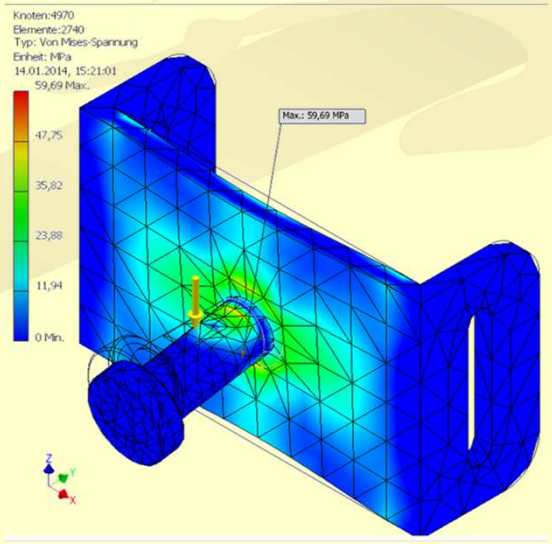



***Warum ist das berechnete Ergebnis falsch!***

Antwort: weil in der Berechnung keine **Konvergenz** (Näherungswerte) eingestellt waren!

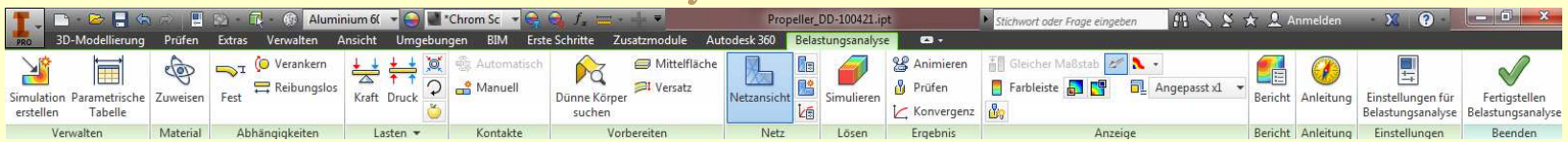
Konvergenzeinstellungen, Iterationen (Anzahl der Rechenoperationen) erhöhen die Genauigkeit der Ergebnisse!



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014




**Konvergenz Verfeinerung Einstellungen**

•Zwei Verfeinerungsmethoden, aber nur eine in der Inventor Dialogbox!

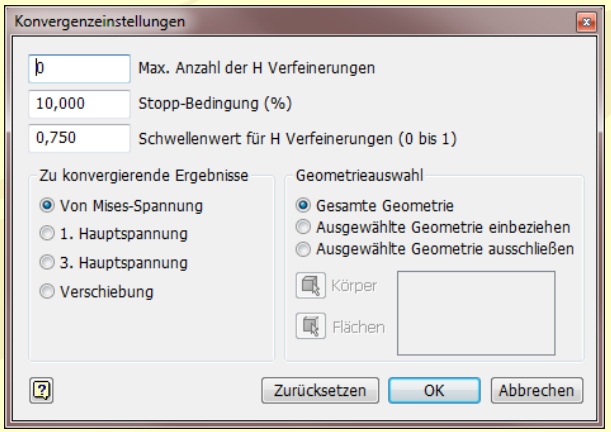
•P-Verfeinerungen sind im System bereits integriert und werden automatisch mitberechnet.

•H- Verfeinerungen (Anzahl der Rechenzyklen) müssen jedoch manuell eingegeben werden.

•In der Dialog box ist Null ist als Standard eingestellt

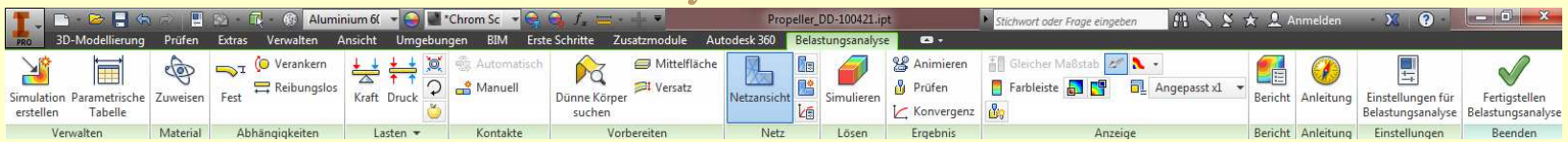
•Der Konvergenz Plot (Graphische Darstellung) ist inaktiv solange die h-Verfeinerung auf null steht. (=0)

•Beide Verfeinerungsmethoden werden in Kombination ***simultan*** berechnet!



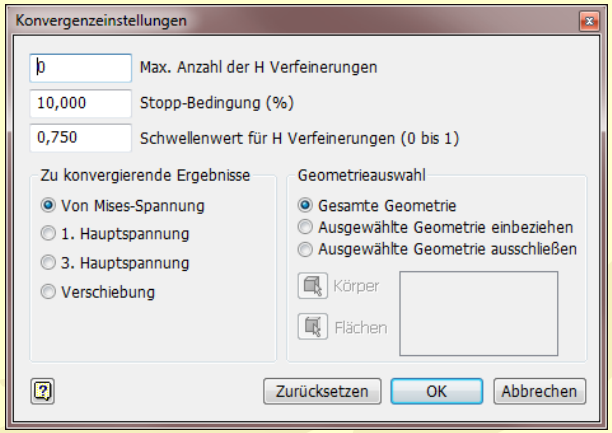
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



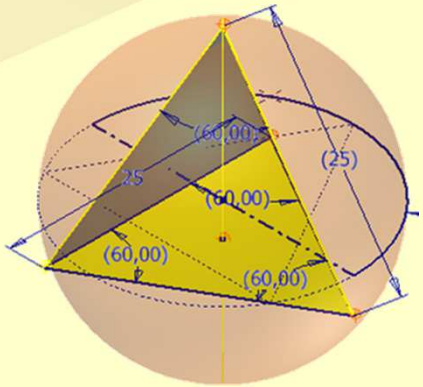

**Konvergenz: Netzeinstellung - Verfeinerungen**

Inventor benutzt beide Verfeinerungs- Methoden: p und h-Verfeinerungen




**P-Verfeinerungen**

P-Verfeinerungen **erhöhen** die Anzahl Polynomreinfolge/**Polynomgrad** der Funktion, hat aber keinen Einfluss auf die Größe der Netz-Elemente.

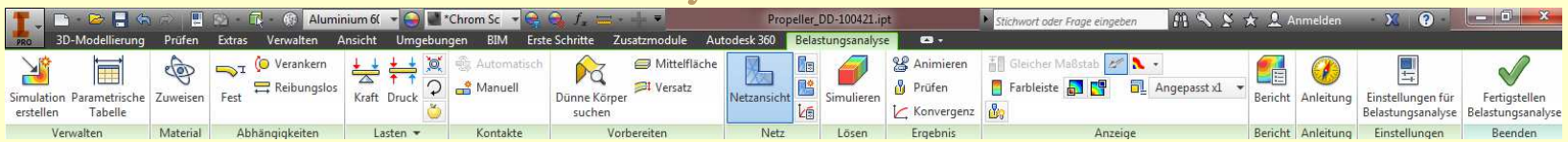



**H-Verfeinerungen**

Beschreiben den **Sphärendurchmesser** (Größe) die das Netzelement umgibt.
**Reduktion** der **Netzelementengröße**

# TRIDOX Tools & Technosystems

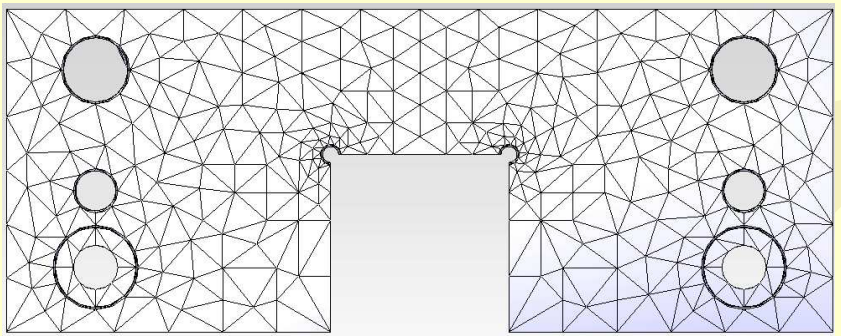
## FEM Analyse mit Inventor-2014



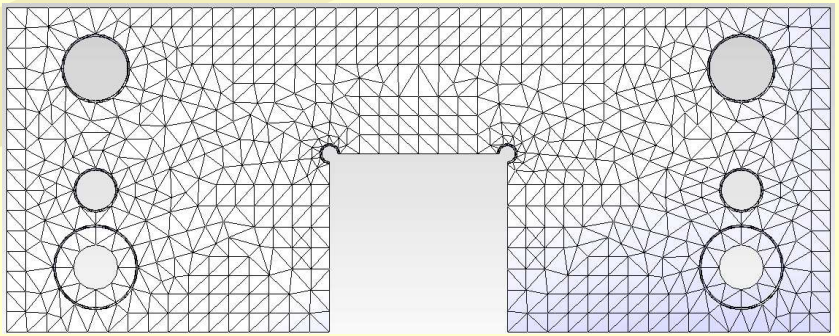

**Der Konvergenzprozess: h-p Verfeinerungen**

Die Netzverfeinerung kann wie folgt-ausgeführt werde:

•**Uniformal** (gleichmäsig) am Gesamtmodel

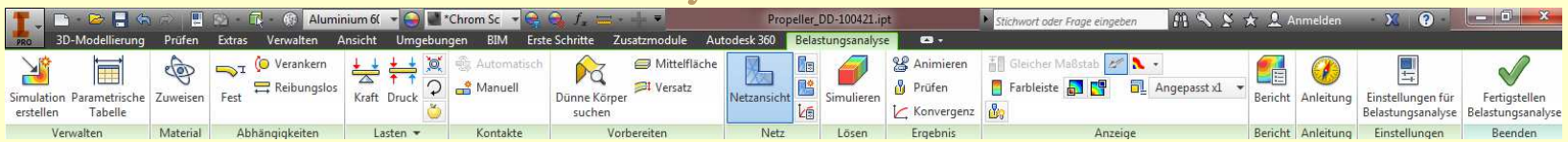


•**Non uniformal** (ungleichmäsig) adaptiv in hochbeanspruchten Regionen



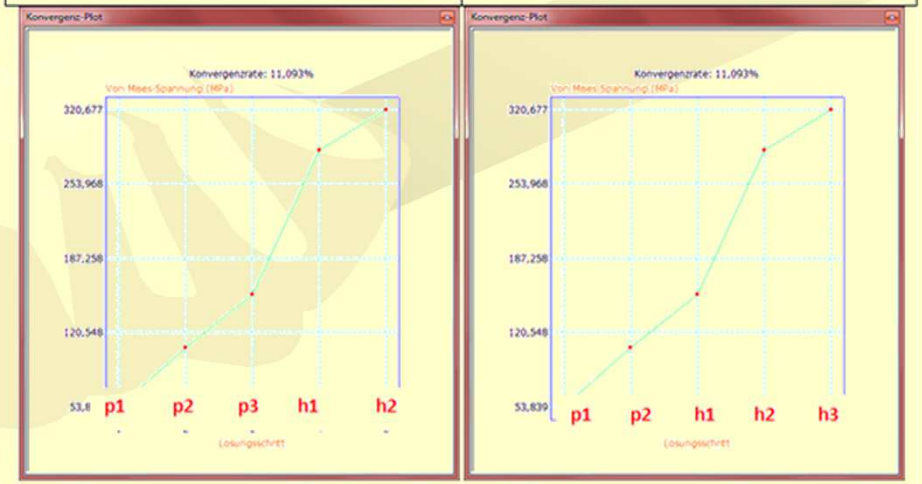
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



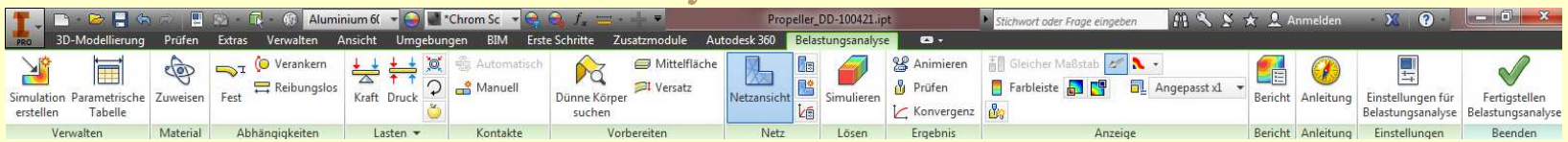

**Konvergenz prozedur: Bauteil vrs. Baugruppe die Unterschiede**

| **Für das Bauteil:** | **Für die Baugruppe:** |
|---|---|
| Für die ersten 3 Rechenzyklen-operationen/Schritte, werden ausschlißlich p-Verfeinerungen generiert! (p1+p2+p3) | Für die ersten 2 Rechenzyklen-operationen/Schritte, werden ausschlißlich p-Verfeinerungen generiert! (p1+p2) |
| In den folgenden Rechenzyklen wird eine Kompination zwischen p & h Verfeinerungen generiert! (h1+p3, h2+p3) | In den folgenden Rechenzyklen wird eine Kompination zwischen p & h Verfeinerungen generiert! h1+p2, h2+p2) |



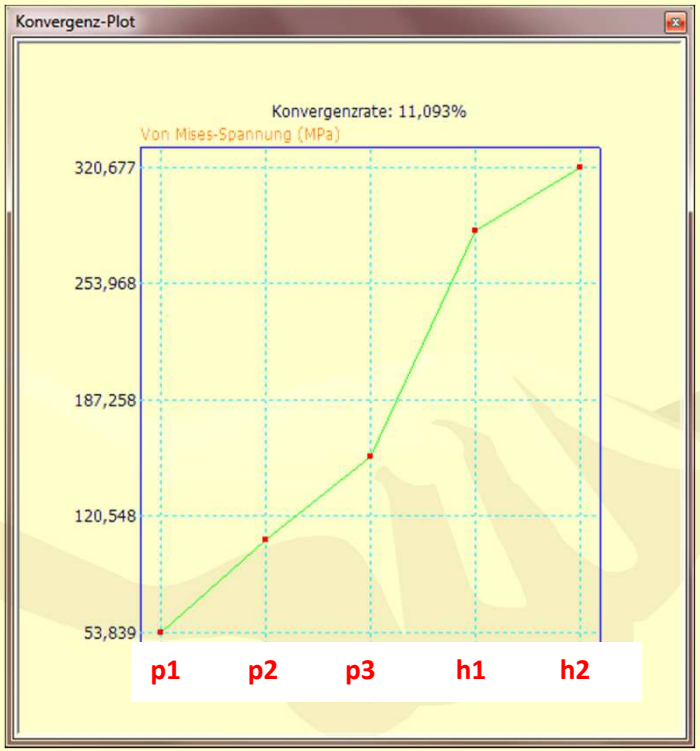
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

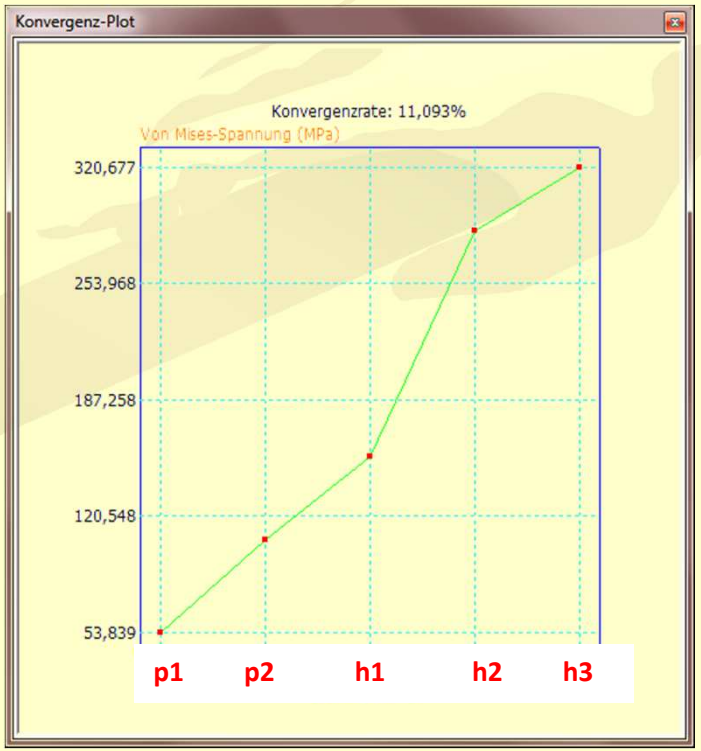



**Konvergenz Prozedur: Bauteil vrs. Baugruppe die Unterschiede**

**Für das Bauteil:**

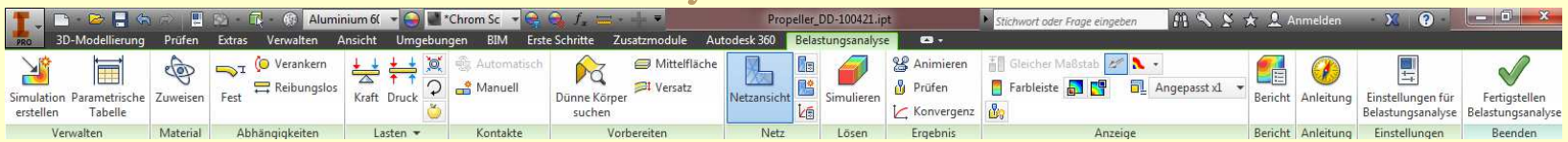



**Für die Baugruppe:**



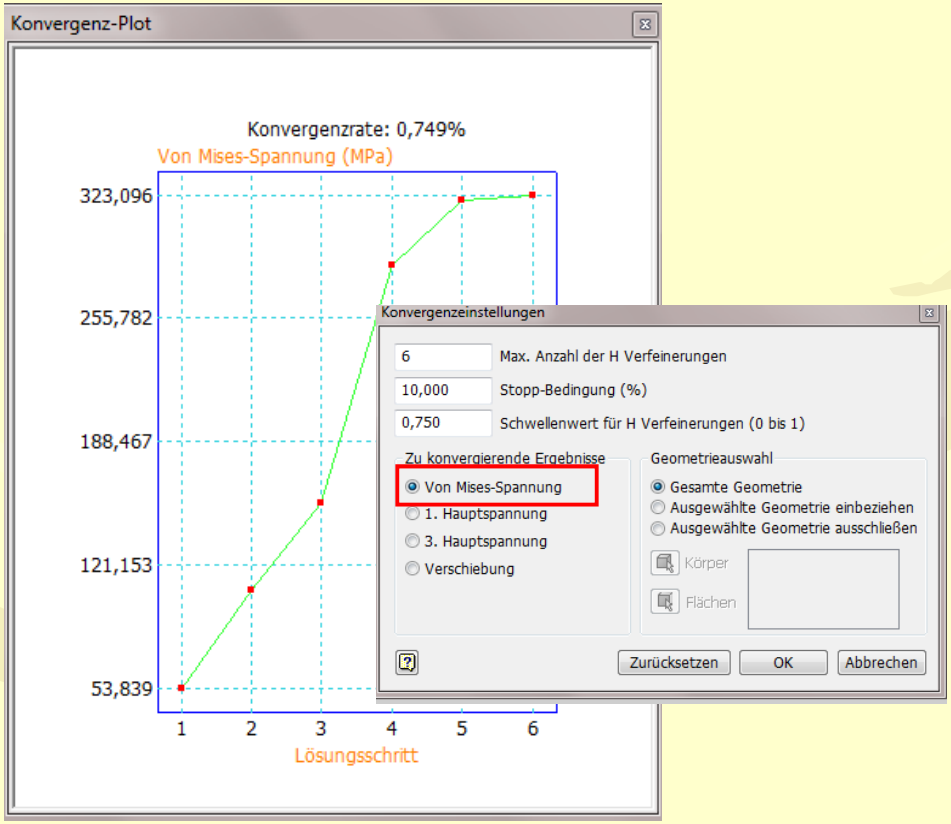
# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014



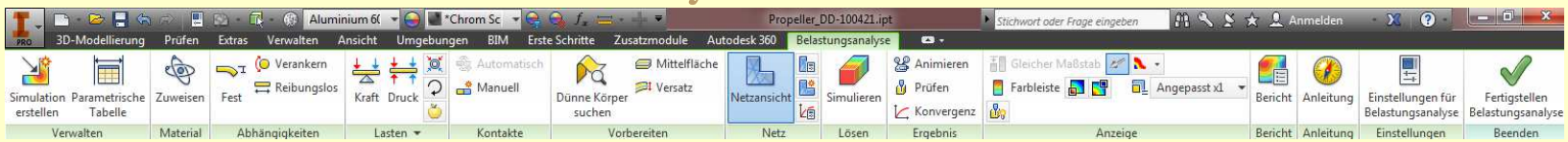

**Konvergenz Plot (Die Graphik)**

Konvergenzrate = max. **(Δ) Delta** zwischen folge Berechnungen /Ergebnissen.



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

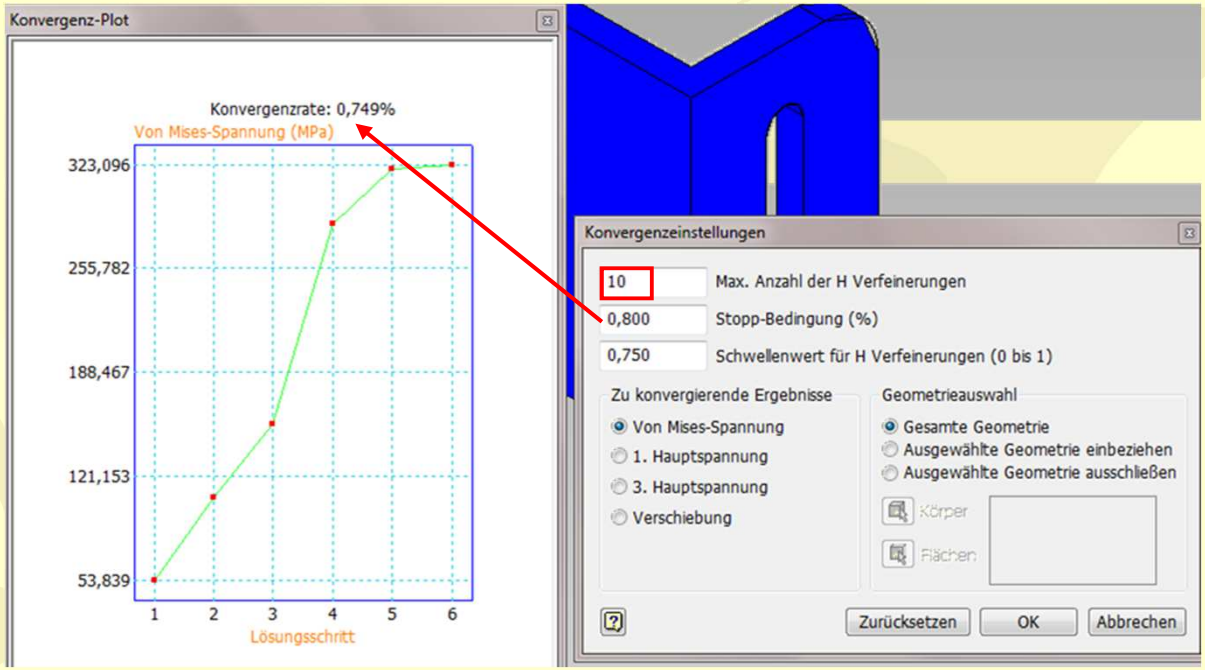



**Konvergenz Plot (Die Graphik)**

Im dargestellten Berechnungsbeispiel, wenn die Konvergenzrate den definierten **Grenzwert** von ***0,8%*** aus den Stopp-Bedingungen (%) unterschreitet, wie in **Schritt 6** erkennbar, dann werden die weiteren Zyklen gestoppt und nicht gerechnet.

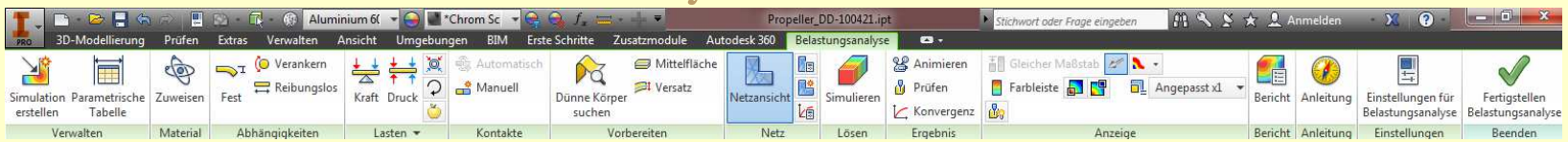
**Ein Ergebnis wurde erreicht!**

Somit ist die weite Berechnung der Schritte 7,8,9,10 nicht mehr notwendig!



# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

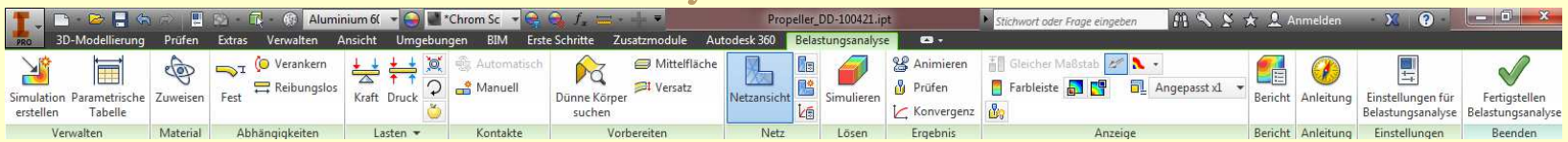



***Richtige Einstellungen in Kombination mit Konvergenz***

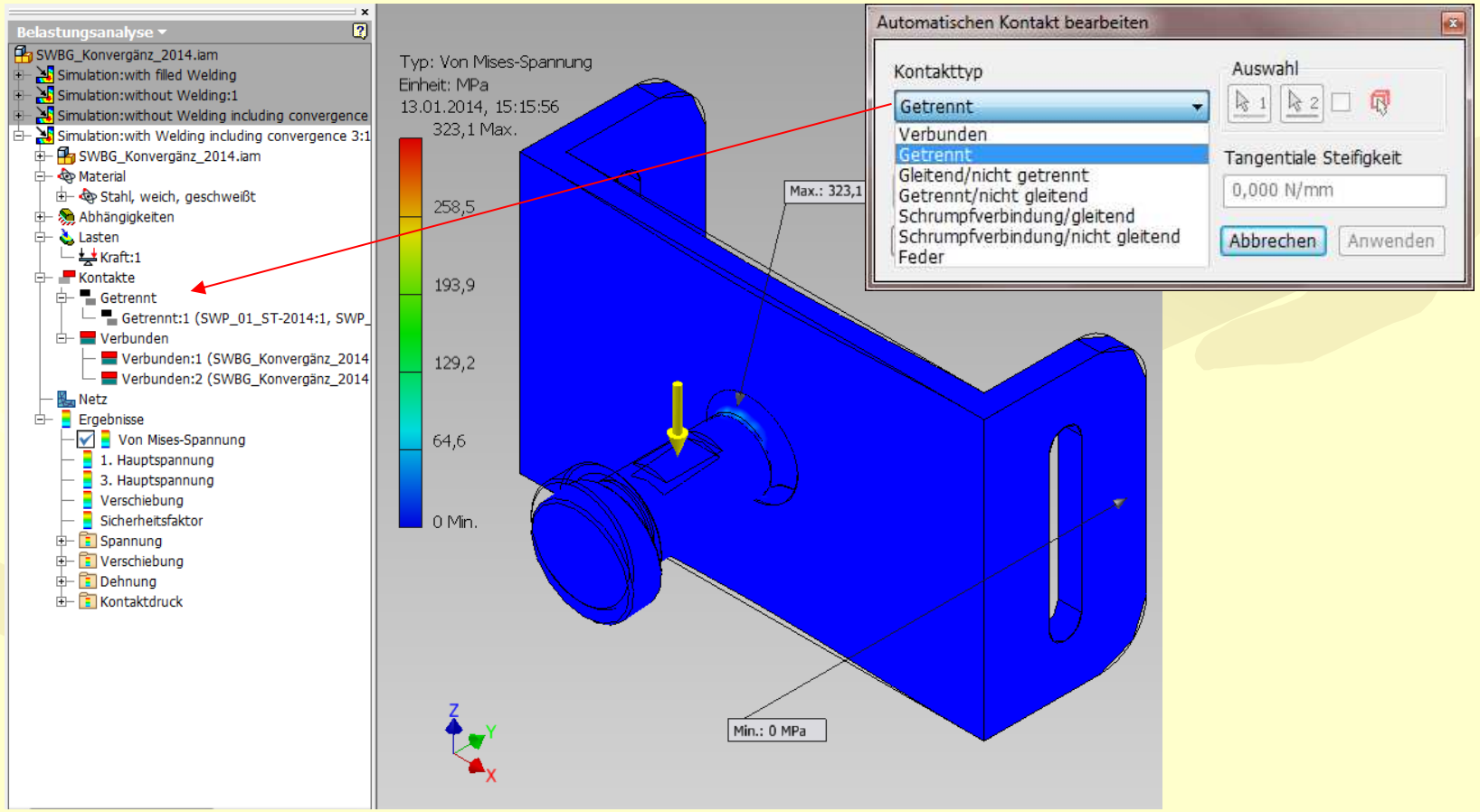
- Weitere wichtige Einstellung in dem Fall der Berechnung von Schweißbaugruppen ist die Vergabe von **Abhängigkeiten in der iam**. Umgebung. (Bsp. Parameter für **Spaltmaße**)
- Speziell in den Bereichen wo, das Schweißmaterial in den **korrespondierenden Flächen** die beiden **Bauteile Verbindet**.
- Bauteilflächen die nicht in der Schweißung mitbeteiligt sind, sind aus den FEM- **Kontakten** mit dem Modus „**Getrennt**“ zu definieren!

# TRIDOX Tools & Technosystems

## FEM Analyse mit Inventor-2014

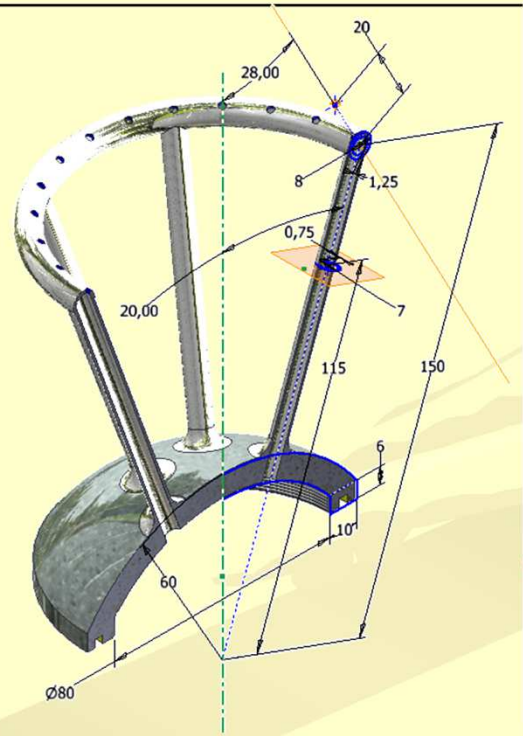


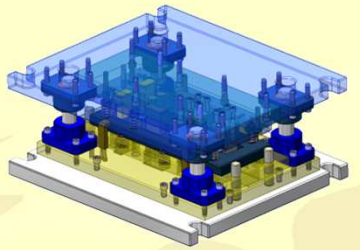

***Richtige Einstellungen in Kombination mit Konvergenz***

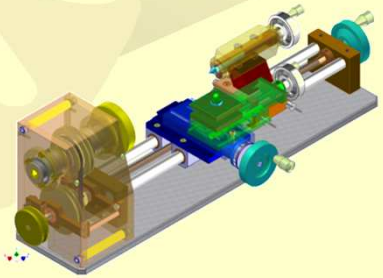


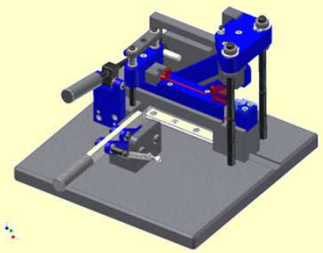
# TRIDOX - Dienstleistungen und Produkte

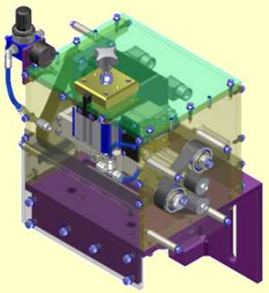
- **CAD-CAM Dienstleistungen**
- **CAD-Schulungen**
- **CAD-Consulting**





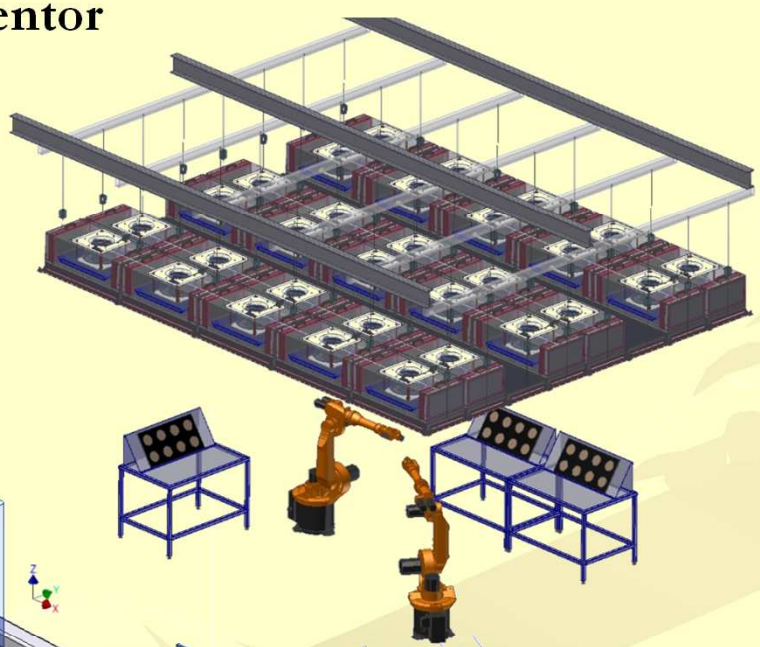


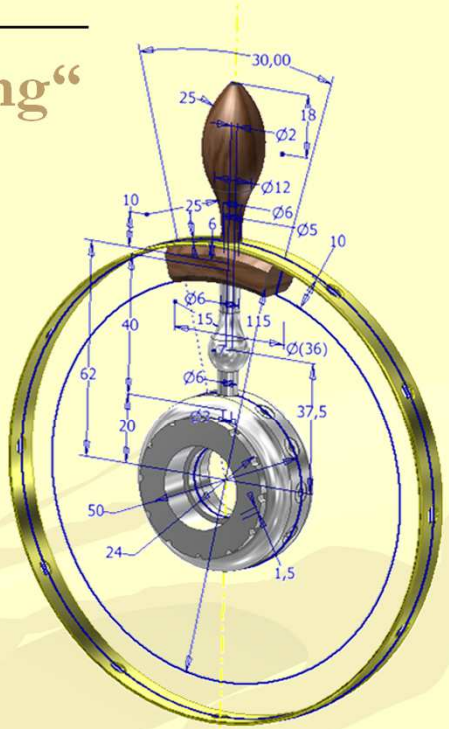


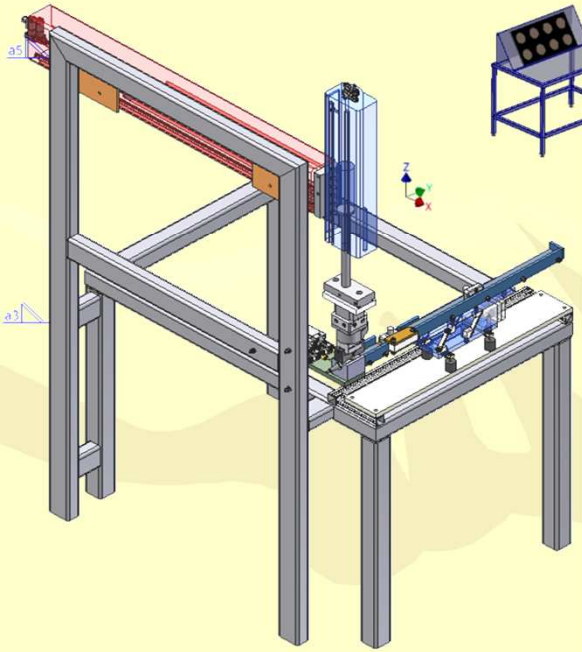
# TRIDOX CAD-Schulungen

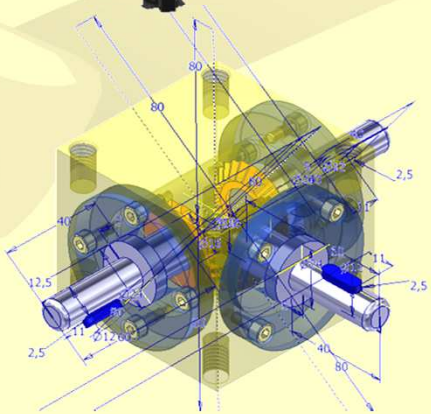
## „In/out house CAD-Training“

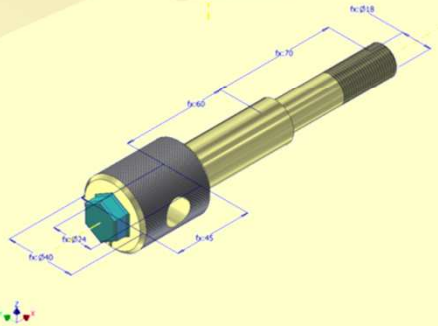
- **Autodesk Inventor**
- **CATIA V-5**
- **Solid Works**









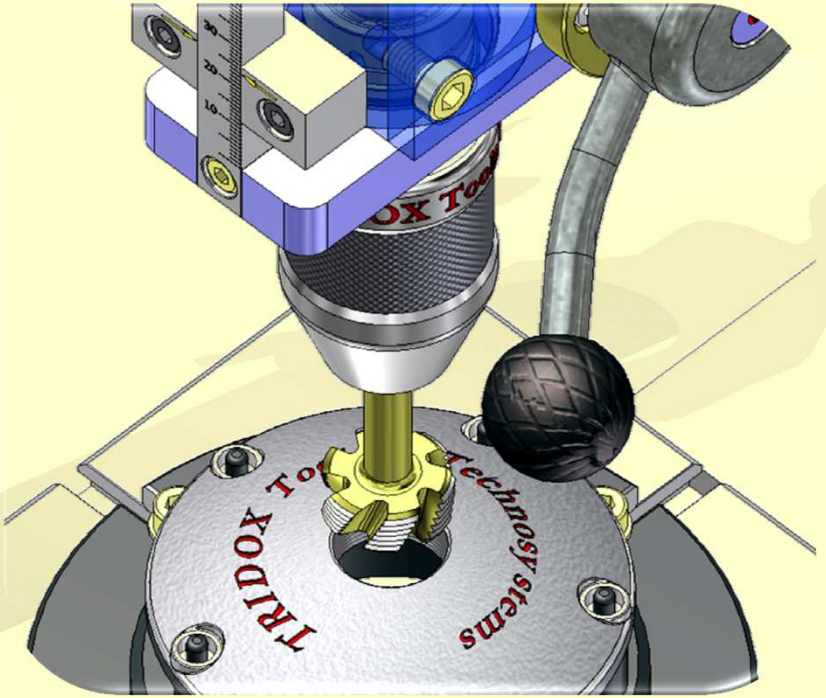
# TRIDOX Tools & Technosystems

## Your reliable partner for CAD-Services

## In/out house CAD-Training

**Bei Fragen,**
**für die Erstellung eines Angebotes oder**
**einen Besuch vor Ort….**

**Stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung!**




**Phone: +49 (0) 7171 9082171**
**Mobile: +49 (0) 176 4010 8530**
**E-Mail:** info@tridox.de
E-Mail: Serafim.Triantafillidis@hs-esslingen.de