



T R I B E C R A F T

Konzept, Berechnung und Design

Dipl.-Ing. Jörg Evertz  
(Tribecraft AG)

# Konzept, Berechnung und Design, Tribecraft AG

## Das Floss

- Projektarchiv, Arbeits- und Entspannungsfläche
- Konzept, Design und Konstruktion



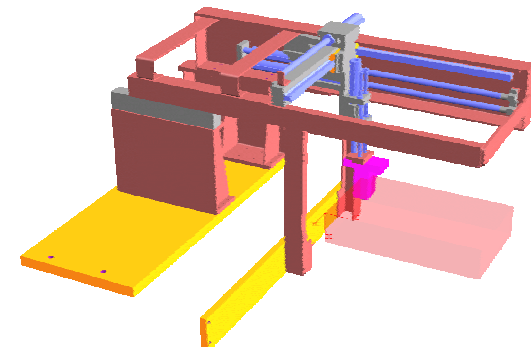
## Der Flyer

- Elektrobike
- Design & Konstruktion



## 3-Achs Linear Roboter

- Steifigkeit, Festigkeit
- Eigenfrequenzen
- FEM-Analyse



# Überblick Tribecraft AG

## Dienstleister

- Produktinnovation und -entwicklung
- Neue Lösungen in serienreife Produkte umsetzen
- Unsere Stärke ist Konzeption
- Gestaltung und Konstruktion ohne Kompromisse
- Produkte mit Qualität und Charakter

## Team

- 2 Industriedesigner
- 6 Ingenieure (Maschinenbau)
- Werkzeuge, offener Horizont und spezifisches Fachwissen über
  - Kommunikation, Interaktion, Ergonomie
  - Konstruktion, **Berechnung**, Fertigungstechnik
- Verflechtung von Design und Engineering

## Entwicklungsumgebung

- „Zonenbüro“ mit Projektbereichen, persönlichen Arbeitsplätzen, Sitzungsbereiche,...
- Kaum Wände, keine sichtbehindernden Schränke
- Ruhezone (siehe Projekt „Floss“)



# Überblick Tribecraft AG

## Software

- FEM: Ansys Structural & Design Space
- Maple/Matlab/Office
- Windows NT 4.0

## Hardware:

- Verschiedene Workstations bis 1GB RAM



# Floss: Ausgangssituation und Zielsetzung



Büro im Leerzustand

Helles Büro ohne Zwischenwände

Bedarf an:

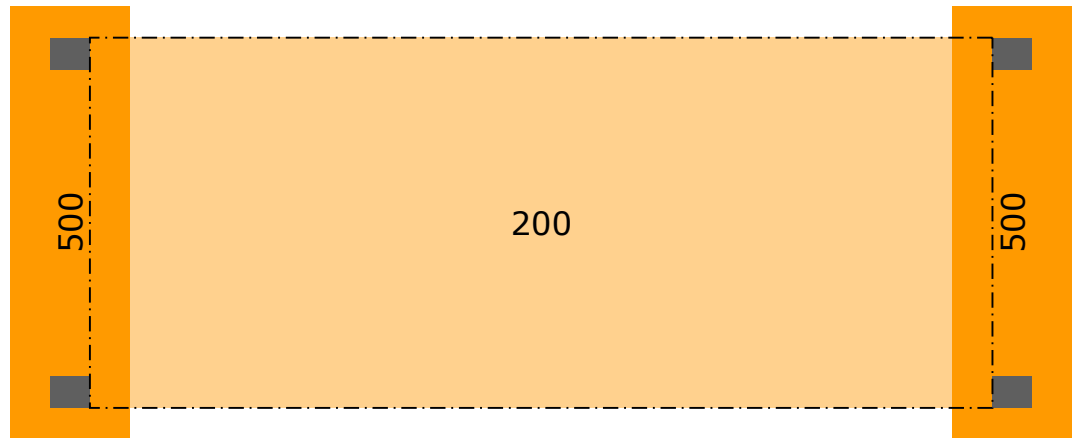
- Projektarchiv
- Präsentationsfläche
- Platz zum lesen, studieren, sitzen, liegen,... „sein“

Idee: Doppelnutzung als Archiv & Lebensraum

# Floss: Strukturelle Situation

## Gebäude

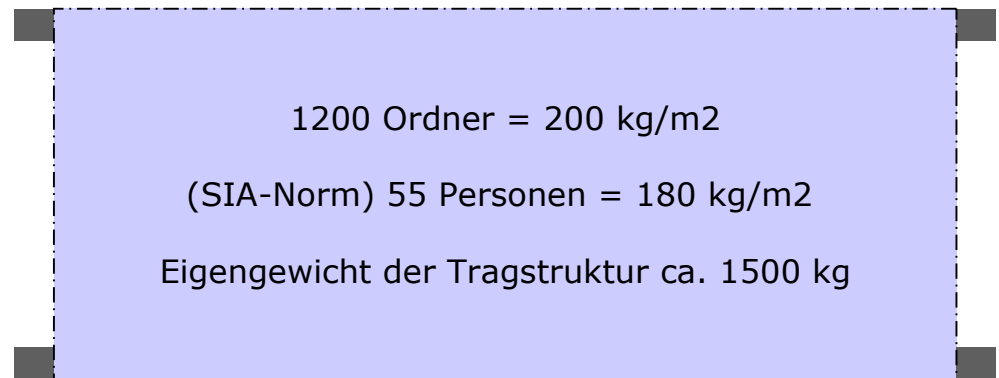
- Zulässige Bodenbelastung [kg/m<sup>2</sup>]



Zulässige Bodenbelastung

## Belastung

- 1200 Ordner (10 Jahre...)
- 55 Personen
- Eigengewicht der Tragstruktur



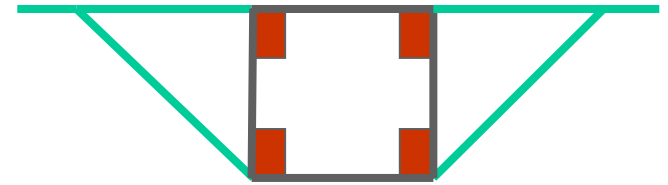
Vorhandene Belastung

→ Struktur zwischen den Säulen abstützen: „Brücke“

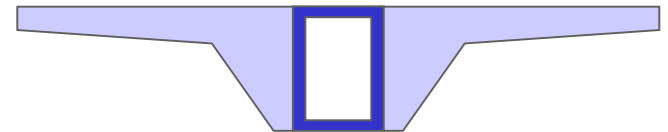
# Floss: Strukturanalyse

## Strukturkonzepte

- Holzbauweise
  - warmes Gefühl, Holz duftet
  - aber: komplexe Verbindungstechnik
  - Balken nicht auf Torsion belastbar!
- Stahlbauweise
  - eher kühl
  - entspricht Gebäudekonstruktion



Querschnitt Hauptträger, Holzbauweise

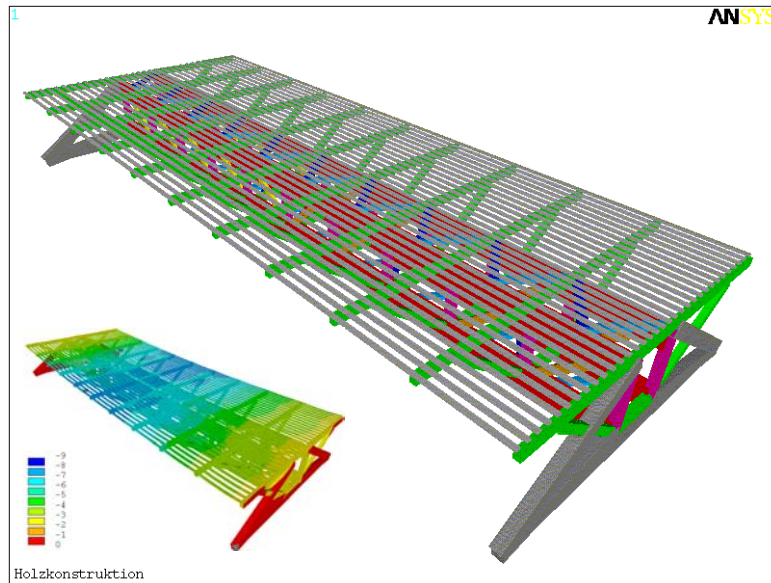


Querschnitt Hauptträger, Stahlbauweise

## FEM-Analyse

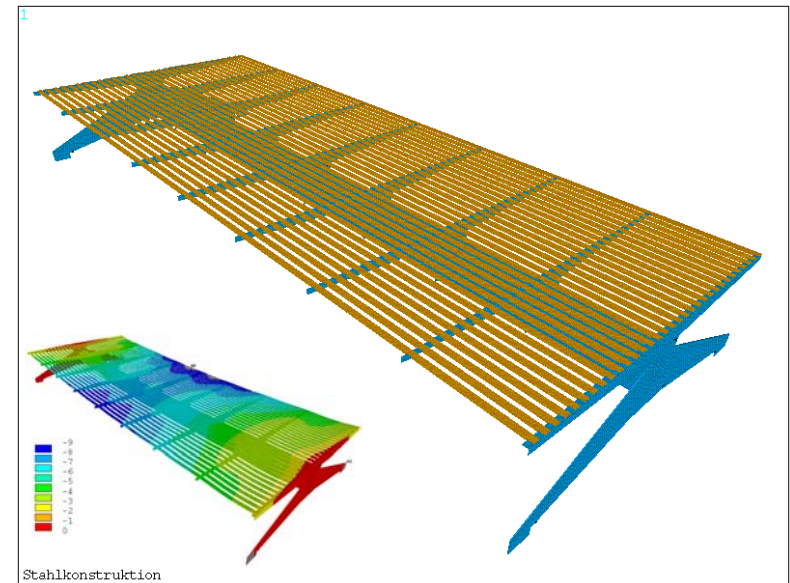
- ANSYS
- Geometrie und Modellerstellung mittels Scriptsprache (APDL)
- Parametervariation (Querschnitte, Werkstoff, Lastverteilung)
- 2 Lastfälle
- Erlaubte Durchbiegung nach SIA Norm:  $1/350$

# Floss: Ergebnisse der Strukturanalyse



## Holzbauweise

- strukturell machbar
- kostengünstig
- sehr breiter Hauptträger
- eingeschränktes Archiv
- negativer Einfluss auf Optik



## Stahlbauweise

- strukturell machbar
- teurer
- schmaler Hauptträger
- Struktur tritt optisch zurück
- Designentscheid

# Floss

## Zusammenfassung

- Strukturanalyse als Grundlage für Design
- Nutzfläche schwebt über dem Projektarchiv
- Floss entspricht der Lage am See
- FEM-Analyse
  - Ohne CAD-Modell
  - Möglichst früh Rechnen: vor der Detailkonstruktion
  - Nutzung von Balken und Schalenmodellen, dadurch schnelle Variation von Querschnitten
  - Aufwand: 1 Tag / Konzept



Designentwurf Floss, Tribecraft AG, 2002

# Flyer

## KTI-Projekt

- ETH-Zürich (ZPE)
- BKTech AG Burgdorf

## Ziel

- Neuentwicklung eines vollgefederten Elektrovélo (schnelle Klasse)
- Fertigung in der Schweiz zu minimalen Kosten
- Neue Massstäbe setzen in Bezug auf Fahrkomfort, Handling und Design



Flyer I

## Team

- BKTech AG
  - ETH: 3 Maschineningenieure
  - Industriedesigner
  - externe Dienstleister
- } Spin-Off Tribecraft AG

Projektdauer: 2 Jahre

# Flyer: Konzeption und Entwicklung des Rahmens

Designvision liegt vor

- Hauptrahmen und Sattel durch 4 Rohre verbunden
- Akkubox dazwischen

Strukturelle Beurteilung

- Ansys Schalen-/Balkenmodell
- 7 Lastfälle

Resultat

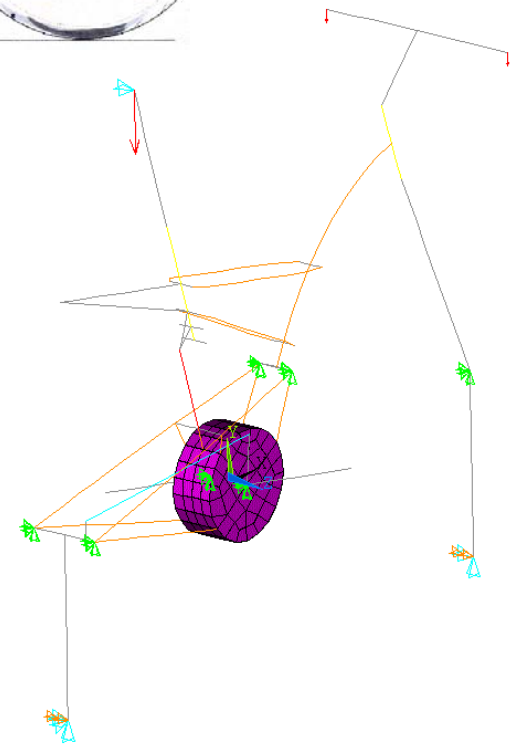
- Zu geringe Sattelsteifigkeit
- Designvision technisch nicht realisierbar
- Quantitativer Entscheid

Aufwand

- 1/2 Tag



Designvision Flyer, D. Irányi, 1997



FEM-Analyse, Lastfall ‚Landung sitzend‘

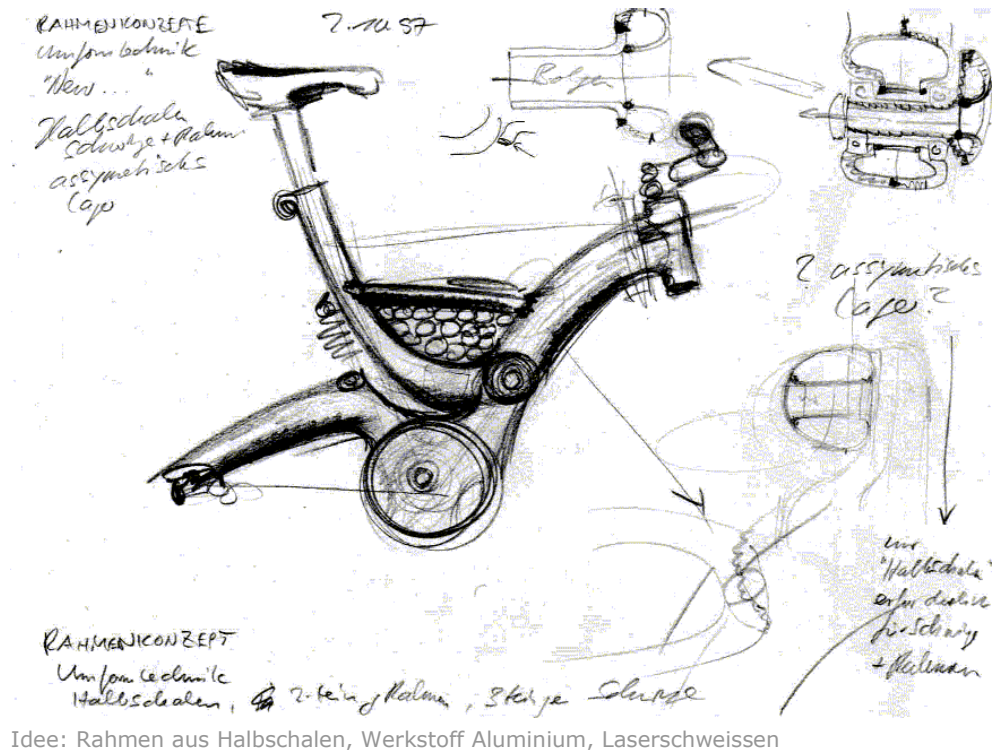
# Flyer: Bewertung Fertigungsverfahren Umformen

## Idee

- Rahmen und Schwinge aus Halbschalen herstellen
- Fertigungsverfahren Tiefziehen, Werkstoff Aluminium
- Naht Laserschweißen

## FEM-Analyse

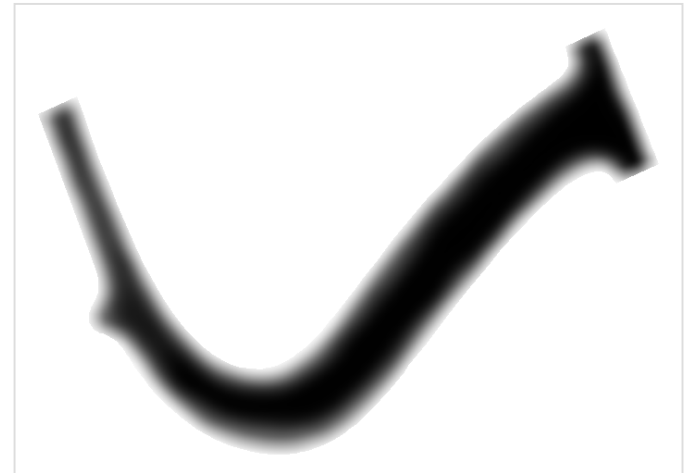
- Strukturelle Prüfung des Konzeptes
- Bestimmung der erforderlichen Wandstärken
- Erkennen von Problemzonen



# Flyer: Bewertung Fertigungsverfahren Umformen

## Vorgehen

- Mittels Photoshop wurden „Röntgenbilder“ des Rahmens und der Schwinge gezeichnet
- Grauwert entspricht der Höhe
- Matlab-Programm erstellt Ansys FEM-Modell ab skaliertem Bitmap
- Balken für die Krafteinleitungspunkte hinzugefügt



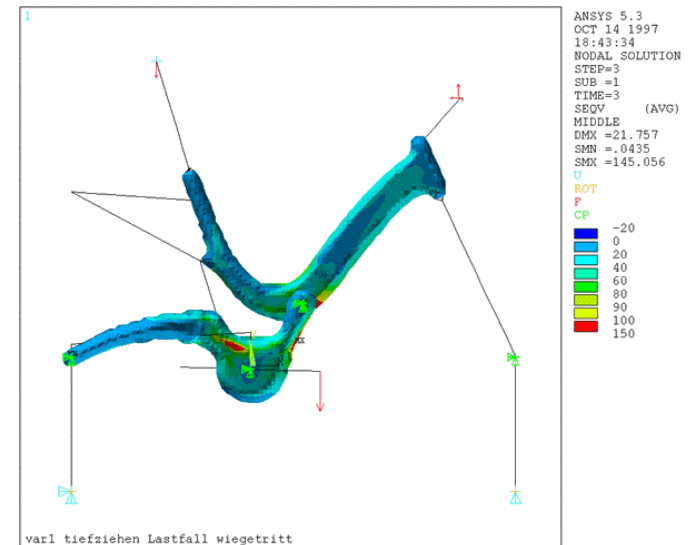
Photoshop: „Röntgenbild“ des Rahmens

## Resultat

- Halbschalenkonzept strukturell machbar
- Konzept ausgeschieden aufgrund fertigungstechnischer Aspekte (lokaler Umformgrad, Laserschweissen)

## Aufwand

- 2 Tage



Schalenmodell des Rahmens auf Basis Röntgenbild

# Flyer: Auslegung Schwinge

## Schwinge

- Konzeptwechsel
  - Motor muss abnehmbar sein (nicht motorisierte Variante ‚Call a Bike‘)
  - Kein integrales Motorgehäuse möglich
  - Schwinge aus Aluminium Druckguss
  - Ist Konzeptwechsel strukturell möglich?
- Design sichtbarer verrippter Teile?

## FEM-Analyse

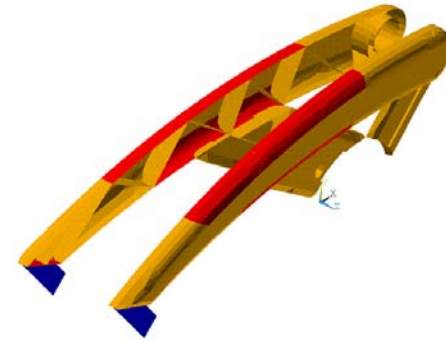
- Strukturelle Machbarkeit prüfen
- Positionieren der Rippen
- Auslegung der Wandstärke
- Abstimmung mit Design

## Resultat

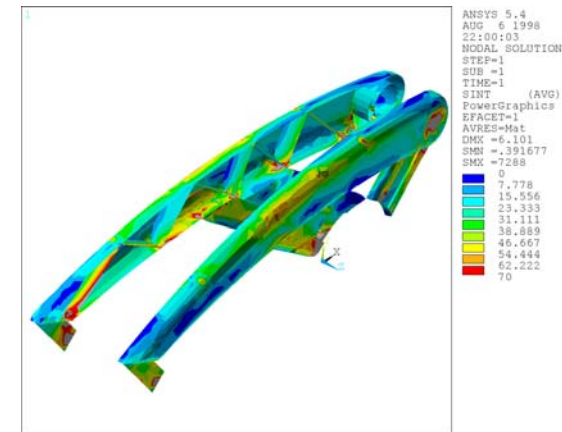
- Konzeptänderung angenommen

## Aufwand:

- 2 Tage



CAD-Konzeptmodell der Schwinge



FEM-Analyse, Lastfall Wiegetritt



CAD-Modell Schwinge Flyer

# Flyer

## Zusammenfassung

- Konstruktionsbegleitende Berechnung überwiegend in der frühen Phase des Projektes
- Vor der Detailkonstruktion war die strukturelle und fertigungstechnische Machbarkeit abgeklärt
- Massive konzeptuelle Änderungen konnten verkraftet werden
  - Änderung Schwinge von Strangpressprofil auf verripptes Gussteil
- Seriefreigabe erfolgte für die meisten Bauteile ohne abschliessende Festigkeitsanalyse
  - Sicherheit in Konzeptphase
  - Extremer Zeitdruck
  - Beschränkte ETH-Lizenz (Modellgrösse)
- Bis heute kein Bruch von Rahmen und Schwinge

→ Risiko oder Glück gehabt?

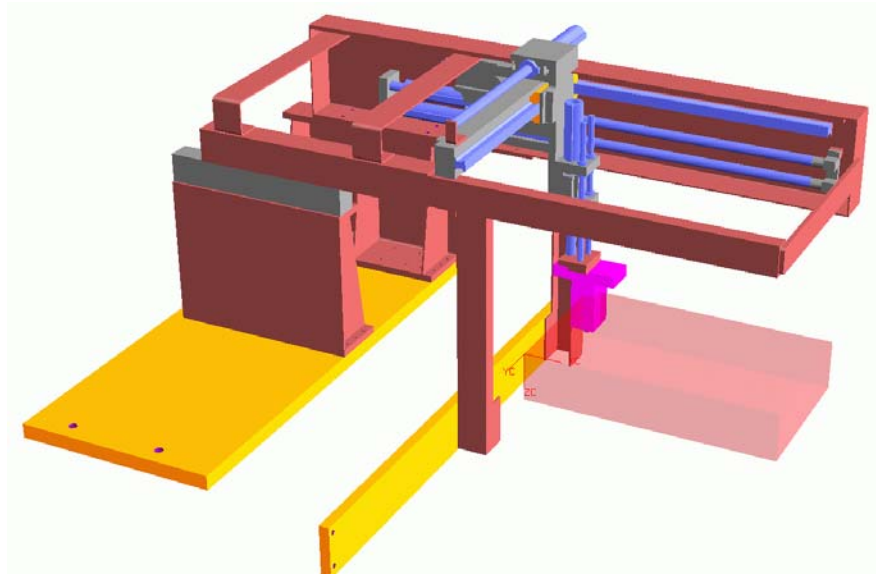


# 3-Achs Linear Roboter

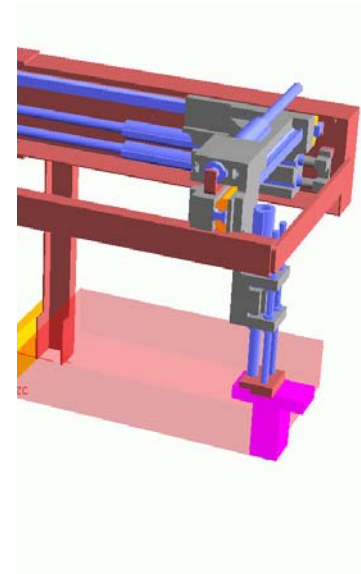
Berechnungsauftrag vor Freigabe für die Fertigung von Prototypen

Zielsetzung

- Steifigkeitsbestimmung
- Festigkeitsrelevante Bauteile lokalisieren
- Eigenfrequenzverhalten ermitteln
- Verschiedene Greiferlagen untersuchen



CAD-Modell 3 Achs Linear Roboter, Lage 1



Lage 2

# 3-Achs Roboter

## Vorgehen

- CAD-Geometrie via STEP importiert
  - teilweise Oberflächenmodell anstatt Solids
- CAD-Modell nachbearbeitet
  - Rollenkontakt
  - Führungen quadratisch statt rund
  - miteinander verschraubte Teile aus gleichem Werkstoff vorher vereinigen (unite)
  - Details wie Löcher usw. sind vernachlässigbar
- Import zu Design Space (via Direktschnittstelle UG→DS)
  - Probleme mit Reihenfolge der Solids, wenn andere Greiferstellung untersucht wurde → Abhilfe geschafft durch das UG-Feature ‚Wave Geometry linker‘
- Kontakte überprüfen
  - Alle Kontakt löschen, und manuell erstellen, um sicher zu sein, dass genau der Kontakt gewählt wird, der erforderlich ist (reibungsfrei, verbunden usw.)
  - Relativ zeitintensiver Prozess
- Lasten, Randbedingungen definieren: geringer Aufwand
- Rechnungen
  - Meistens über Nacht, sehr rechenintensive Baugruppe



# 3-Achs Linear-Roboter: Ergebnisse

## Steifigkeiten

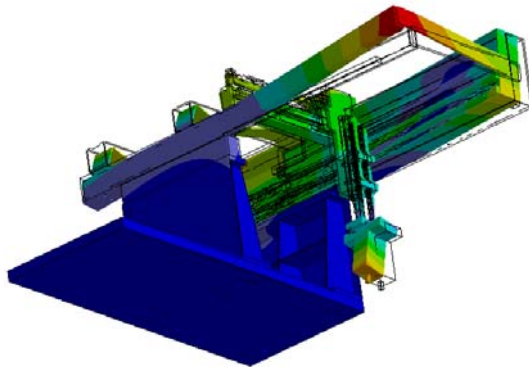
- für drei Raumrichtungen bestimmt, in ‚place‘ position sehr hoch

## Festigkeiten

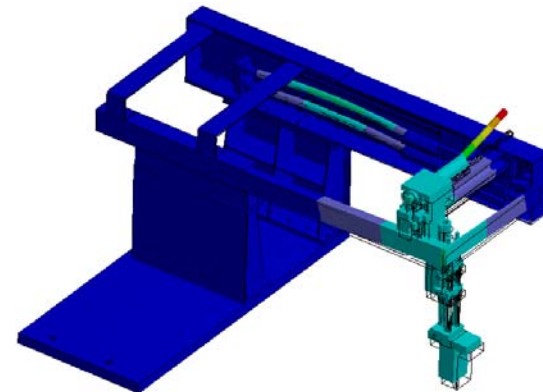
- Baugruppe unter Maximallast ausreichend dimensioniert

## Eigenfrequenzanalyse

- Aufgrund des Fahrprofils hochfrequente Anregungen, Steifigkeiten eher am unteren Limit
- Teilweise unausgeglichene Wahl der Komponenten (Linearmotoren zeigen deutliches Schwingungsverhalten, Vertikalachse insgesamt zu schwach dimensioniert)



4. Eigenfrequenz, seitliches Schwingen des Greifers



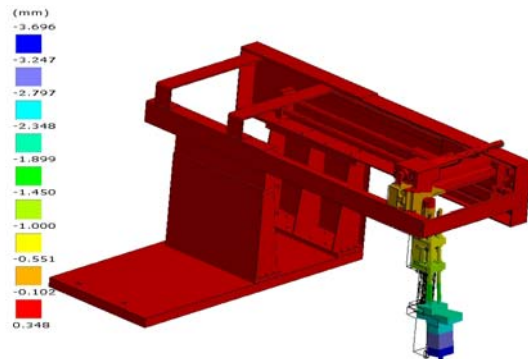
4. Eigenfrequenz, Schwingungen der Linearantriebe

# 3-Achs Roboter: Vergleich Solid und Balkenmodell

## Steifigkeitsvergleich in Hauptrichtung

### Solidmodell

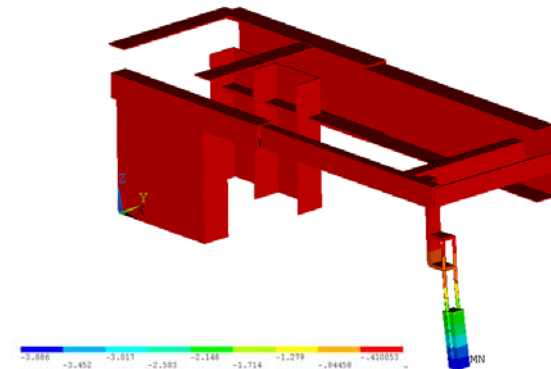
- 3D CAD Modell
- Design Space
- Erheblicher Aufwand bei der Nachbearbeitung des CAD-Modells (Tage)
- Rechenzeit 5h



- Deformation 3.7 mm

### Balken-/Schalenmodell

- Kein CAD-Modell
- Ansys, Beam 188
- Modellerstellung 2 h
- Rechenzeit „0“



- Deformation: 3.9 mm

# 3-Achs Roboter

## Zusammenfassung

- Umfangreiche Analyse
- Brachte dem Kunden viele Erkenntnisse
- Relativ hoher Aufwand
- Auch hier hätte es kostengünstiger und schneller sein können, noch früher, vor der Detaillierung im CAD, eine grobe Analyse durchzuführen



# Konstruktionsbegleitende Berechnung

- Grösster Nutzen, bei geringem Aufwand ist dann Vorhanden, wenn die Analyse möglichst früh durchgeführt wird.
- FEM-Berechnungen immer durch grobe analytische Modelle überprüfen. Dies wird um so wichtiger, je früher FE eingesetzt wird.
- Kreativität und Abstraktionswille sind gefordert, um „aus dem Nichts“ quantitative Resultate zu erarbeiten.
- Früher Einsatz von FEM bedeutet hohe Anforderungen an den Benutzer in Bezug auf Software- und Theoriekenntnisse, um Ergebnisse richtig zu interpretieren.
- Später Einsatz von FEM (z.B. Seriefreigabe auf Basis vollständiger CAD Modelle) stellt geringere Anforderungen an den Anwender, jedoch steigen die Anforderungen an die Genauigkeit der Lastannahmen und Werkstoffdaten.

