Simulation und Optimierung des PETRA III-Undulators UE65

Dr. Stefan Reul, PRETECH GmbH, Hamburg

Was ist ein Undulator ?

Bilder

Anforderungen

Modelle

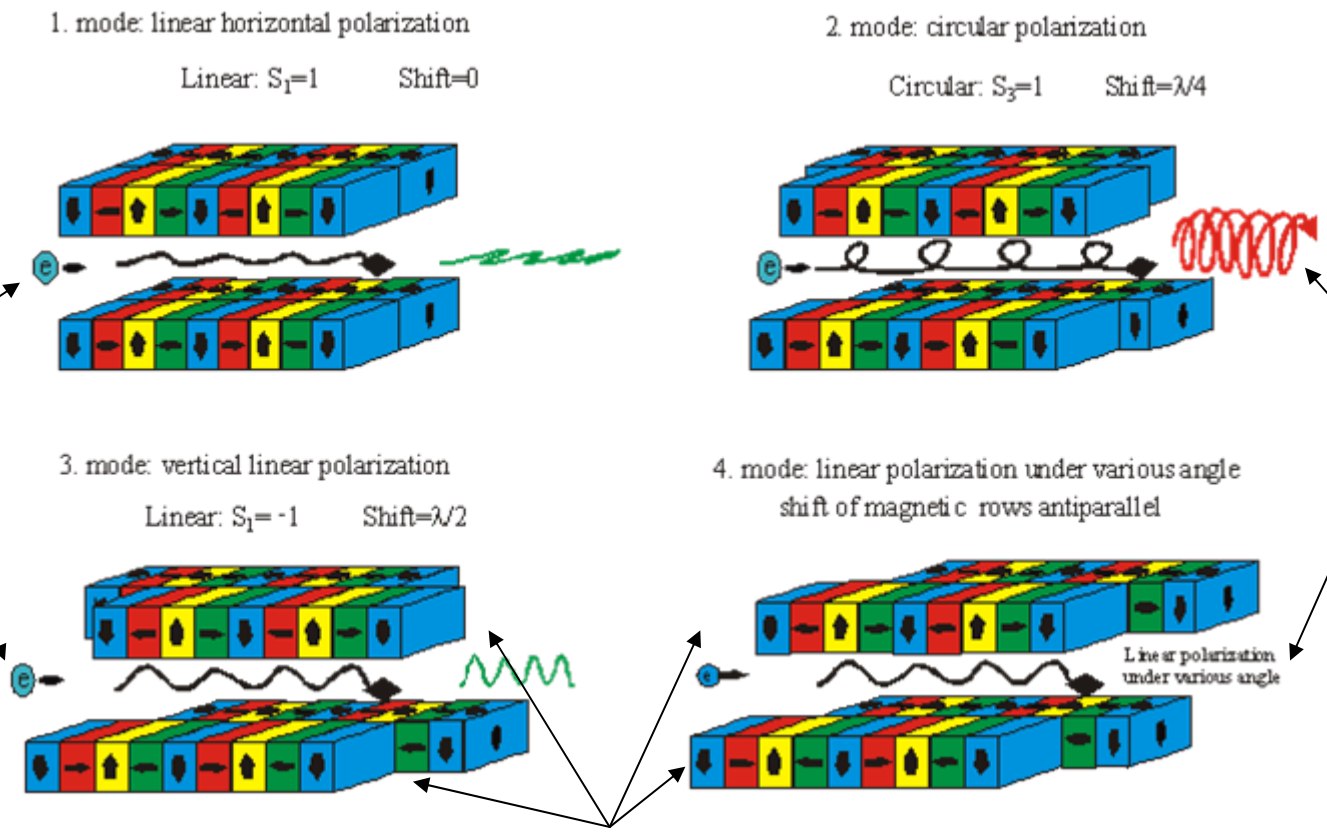
Beispiel: Ergebnisse Fall LF3

Zusammenfassung

Mit freundlicher Genehmigung von DESY, Hamburg, und BESSY, Berlin
29. Oktober 2009

Was ist ein Undulator ?

Elektronenstrahl



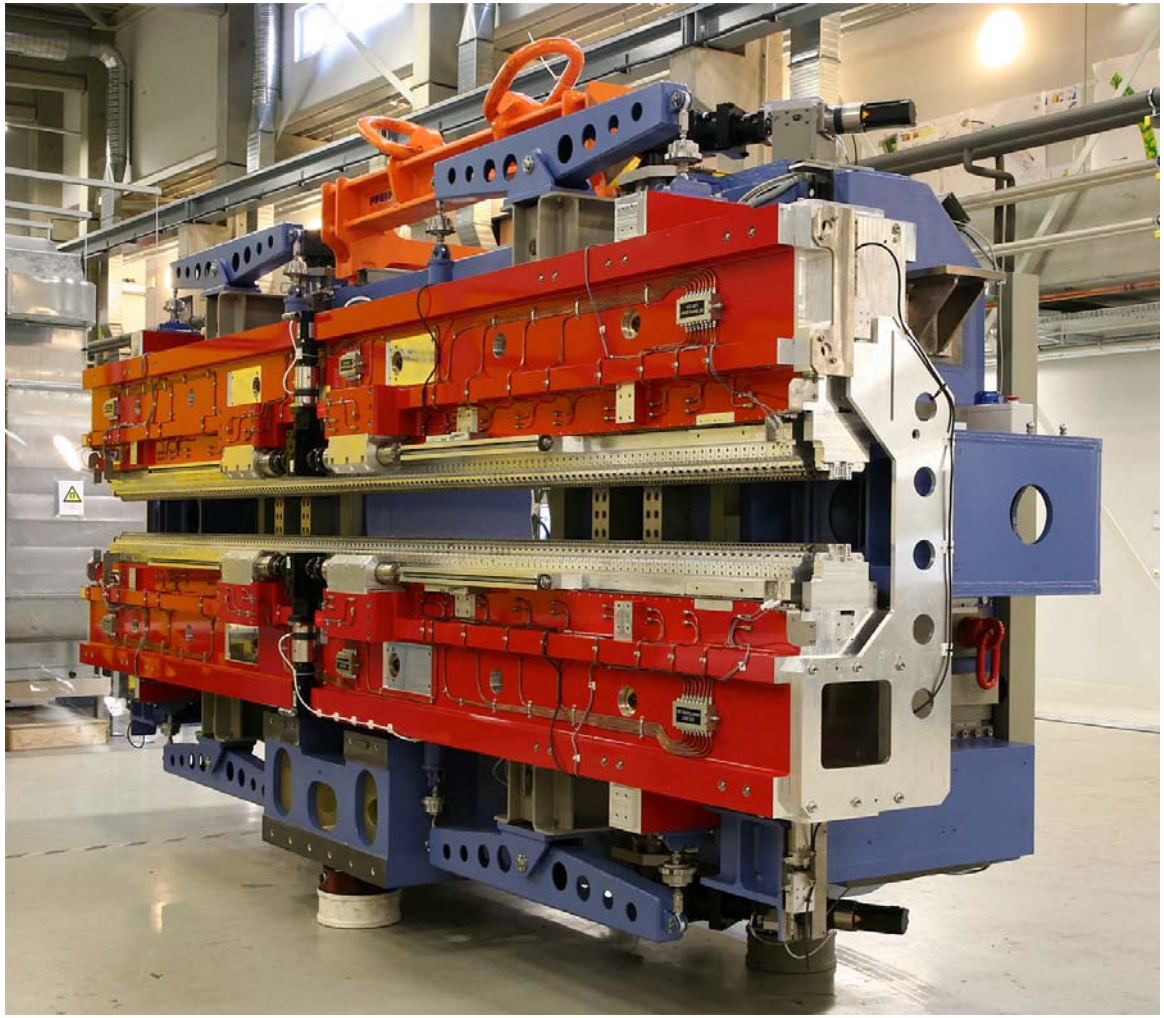
Synchrotronstrahlung

Magnetreihen

See: Design report of the helical undulator for the PETRA III storage ring, U. Englisch, 03.01.2007

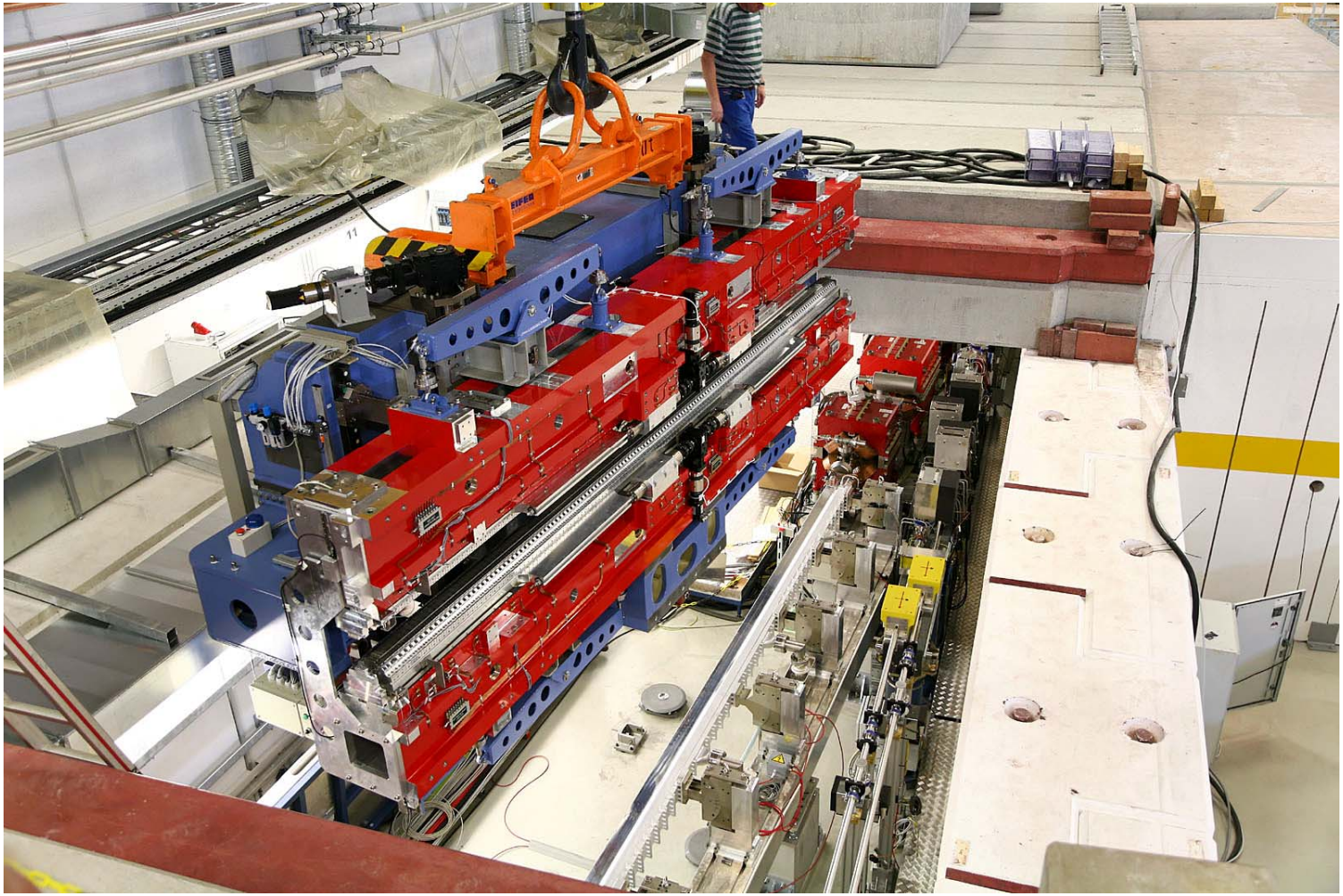
All rights reserved – Copyright per DIN 34

UE65 bei Anlieferung



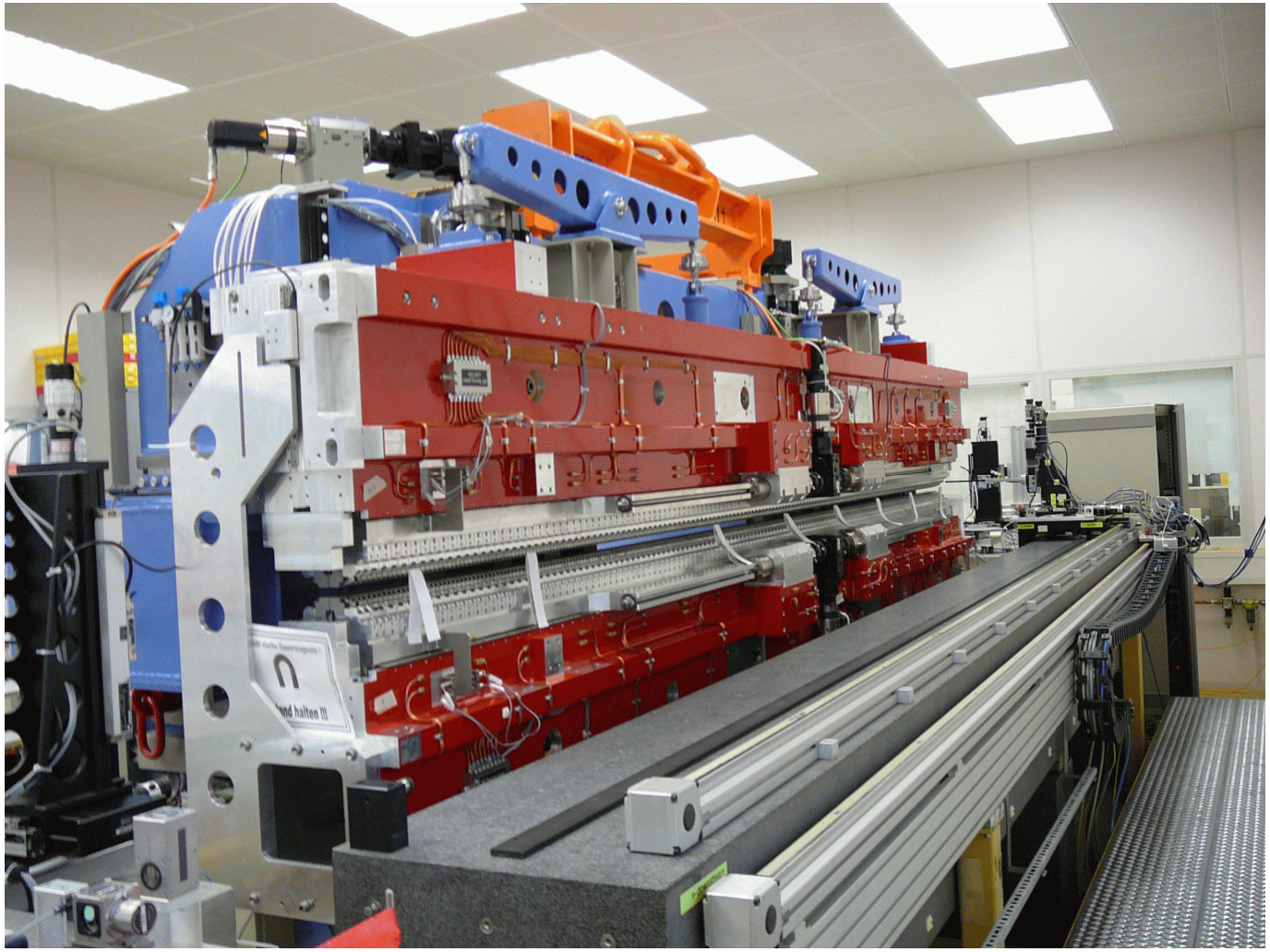
All rights reserved – Copyright per DIN 34

UE65 beim Einbau in den Ring



All rights reserved – Copyright per DIN 34

UE65 beim Vermessen



All rights reserved – Copyright per DIN 34

UE65-Gestell mit Lagern

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Einige allgemeine Daten zum Undulator UE65

- 288 Magnete je Reihe plus Endmagnete (72 Perioden)
- 4 bewegliche Magnetreihen (Nadellager-Linearführungen)
- Min. vertikaler Magnetabstand (‚Gap‘) 11 mm
- Trägerlänge ca. 5.000 mm
- Trägerhöhe ca. 450 mm, Breite ca. 410 mm (vorgegeben)
- Traversenkonstruktion und alle Lager vorgespannt
- Gesamtmasse ca. 17 t (davon ein Al-Träger ca. 2,6 t)
- Einbau in PETRA III Ring im August 2009
- PETRA III liefert bis zu 6 GeV Elektronen und max. 3.000 eV Photonen-Energie

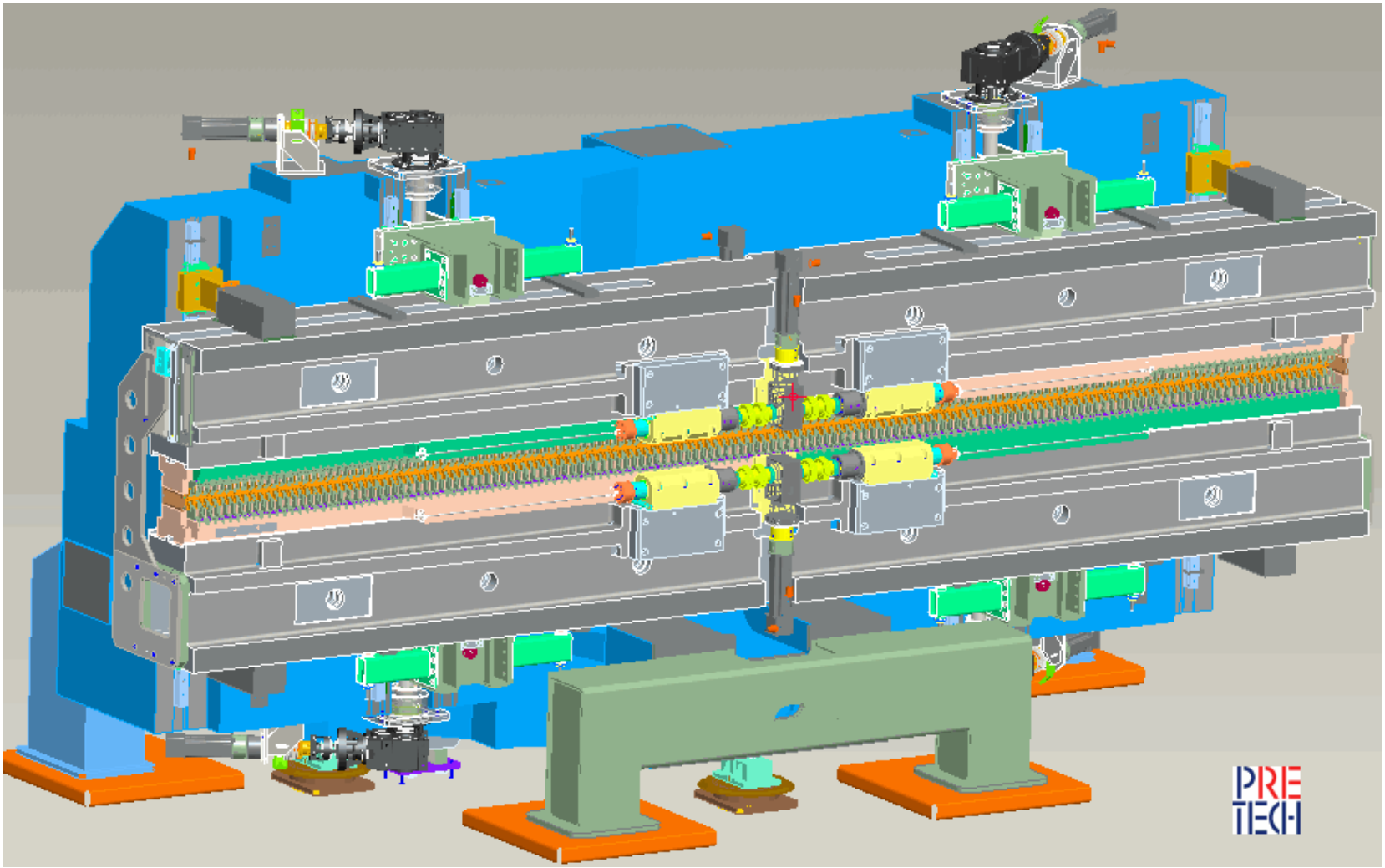
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Anforderungen an den UE65

- Vertikale Durchbiegung eines Trägers <10 µm
- Vertikale Ausrichtung (z-Richtung) kann durch die Gap-Antriebe ausgeregelt werden (‚Verkippung‘ durch Momente weitestgehend vermeidbar)
- Versatz zum Elektronenstrahl in Querrichtung (x-Richtung) <±30 µm (kann nicht ausgeregelt werden)
- -> Querlager müssen in x sehr steif sein, aber weich in y-Richtung)
- Längsversatz (y-Richtung) kann durch Shift-Antriebe ausgeregelt werden
- -> Längslager in y sehr steif, aber in x- und insbesondere in z-Richtung sehr weich

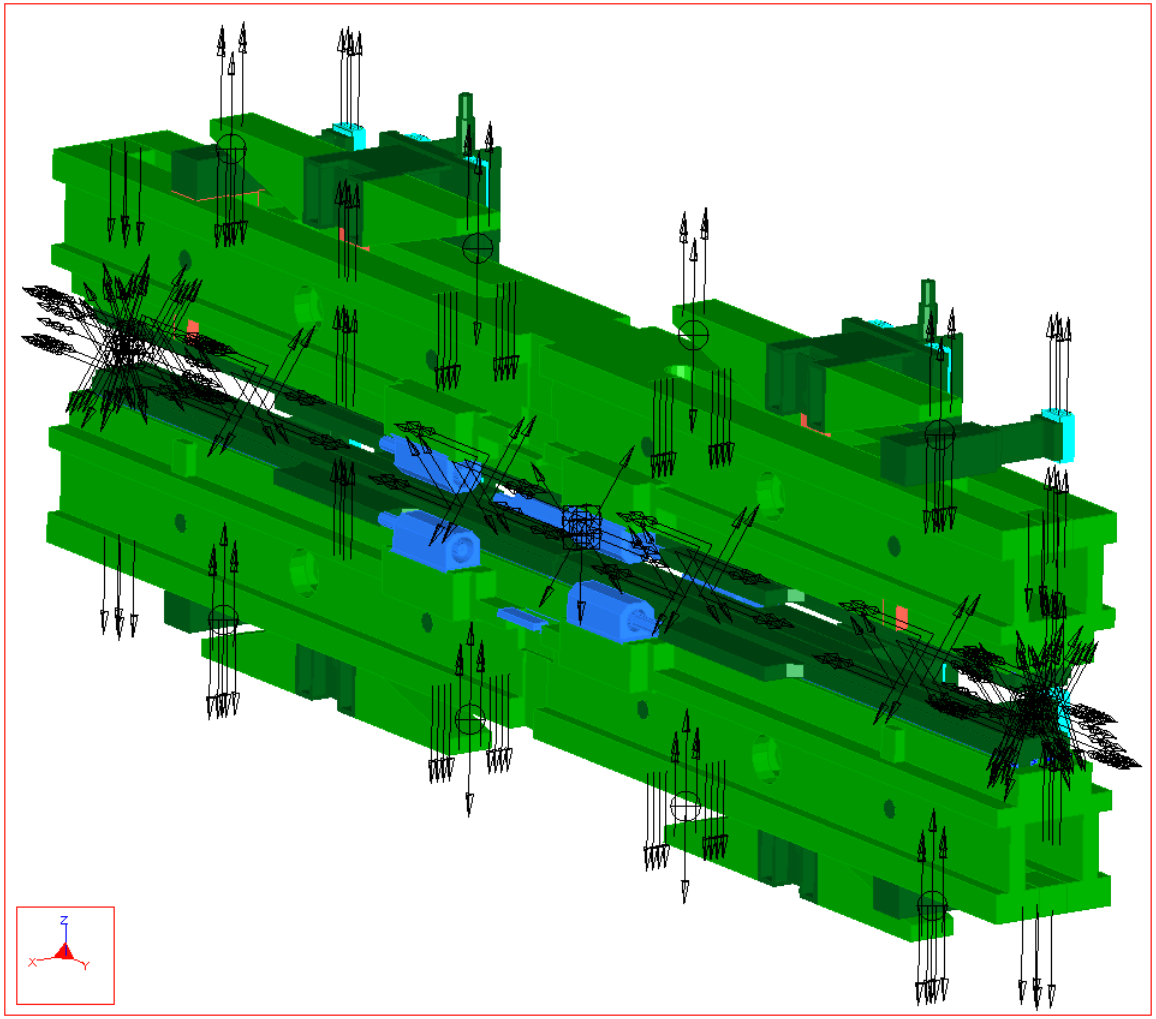
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Frühes Pro/ENGINEER-Modell



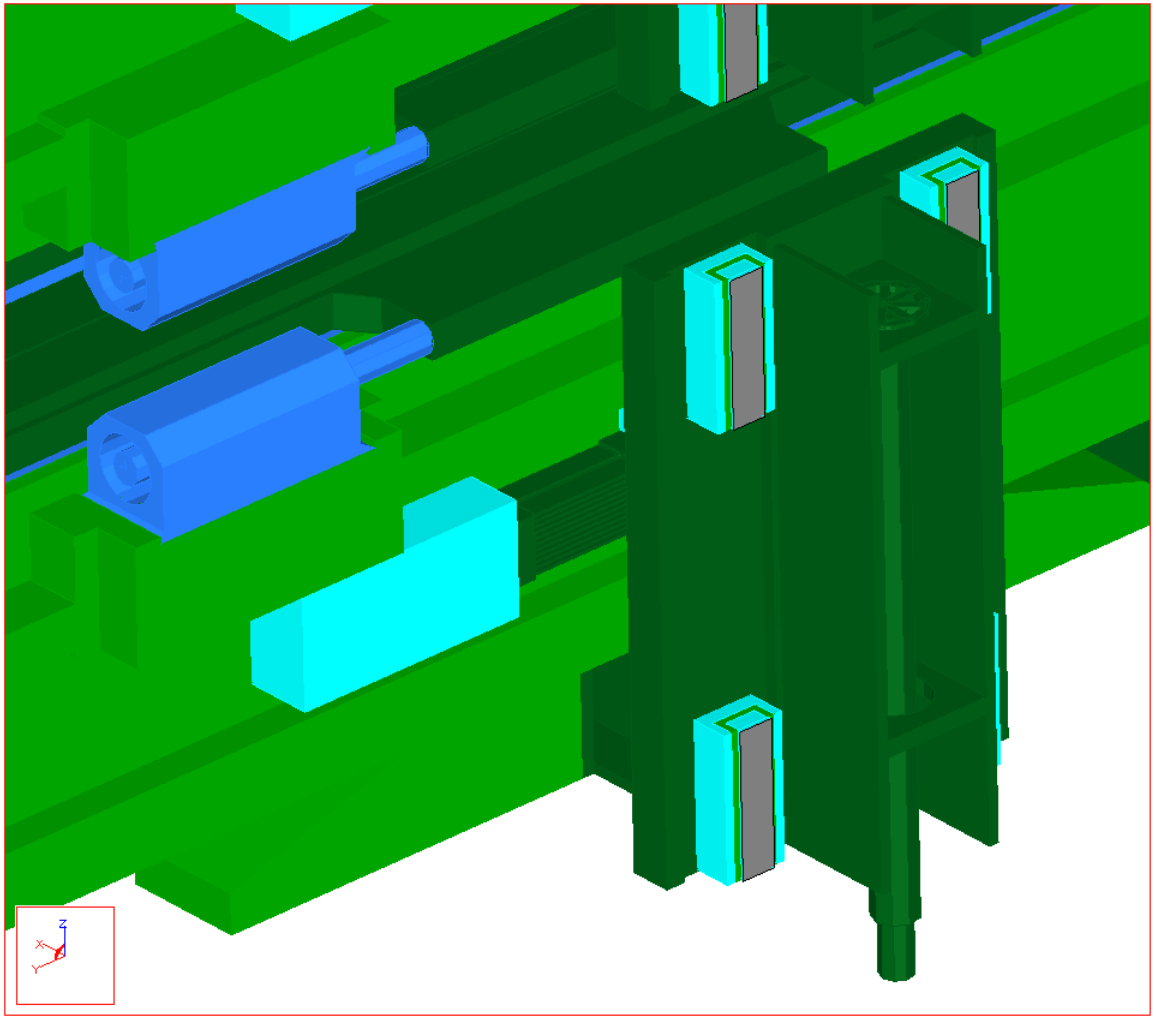
All rights reserved – Copyright per DIN 34

MECHANICA-Träger-Modell



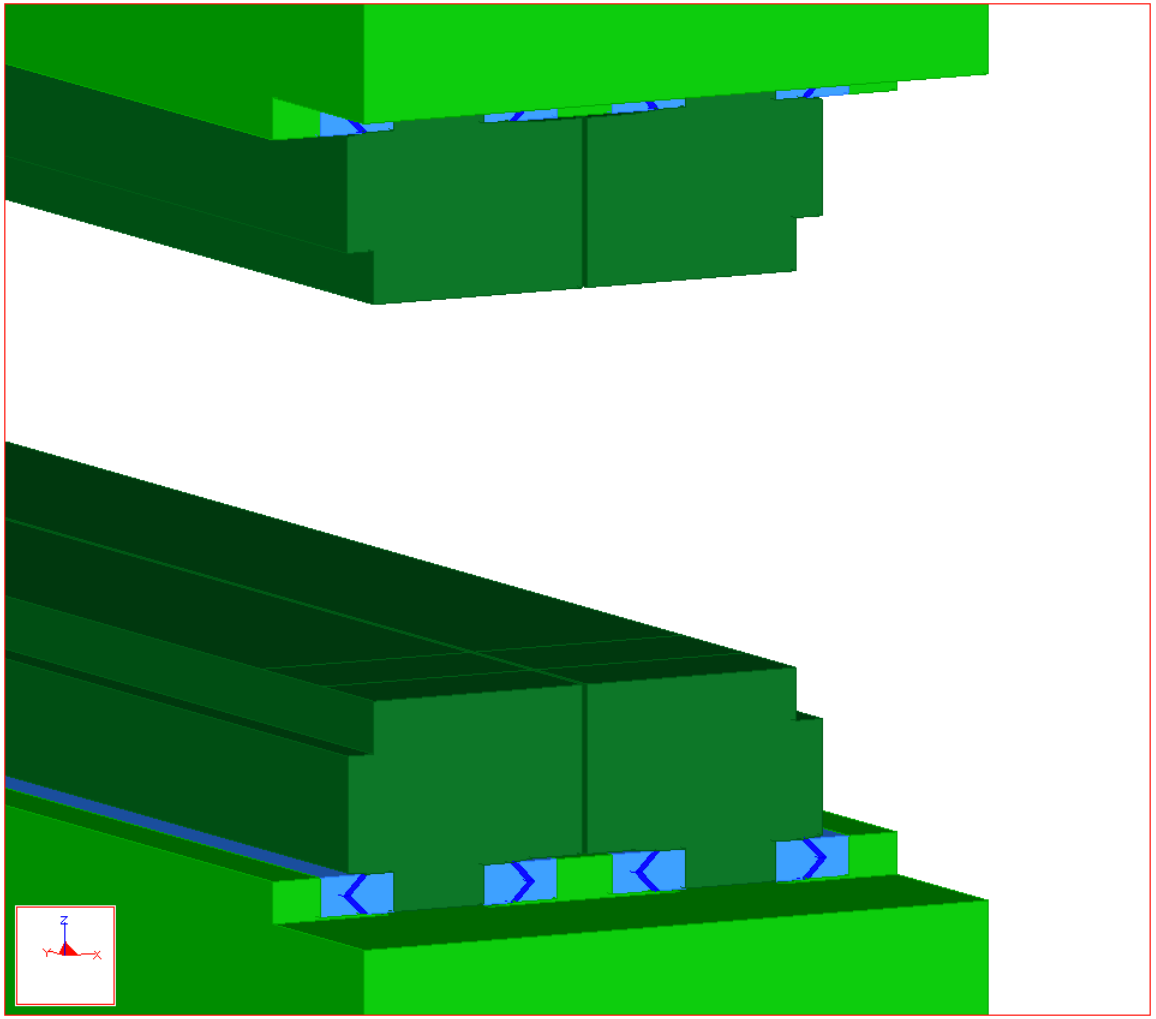
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Detail Längslager/Shift-Antrieb



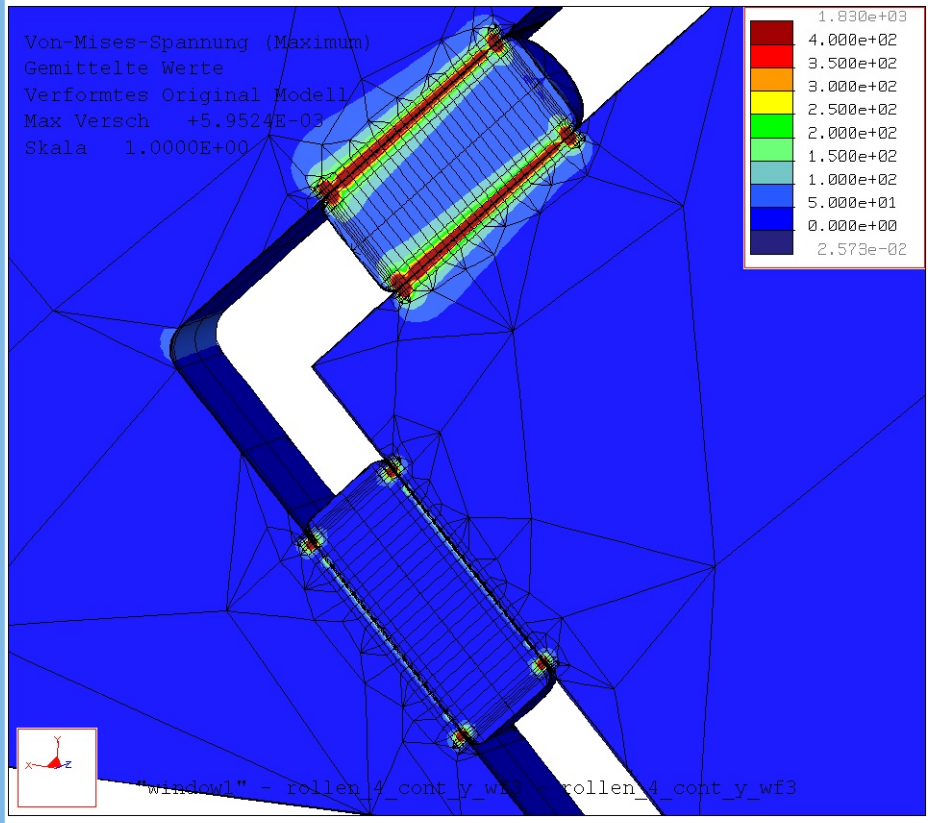
All rights reserved – Copyright per DIN 34

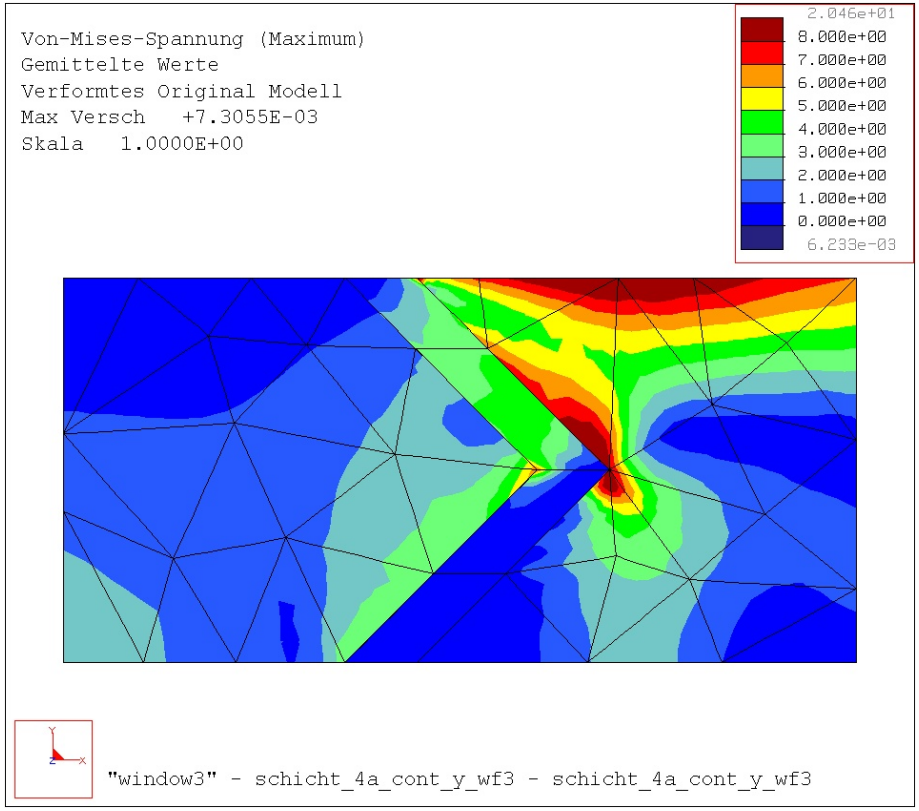
Detail Shift-Führungen



All rights reserved – Copyright per DIN 34

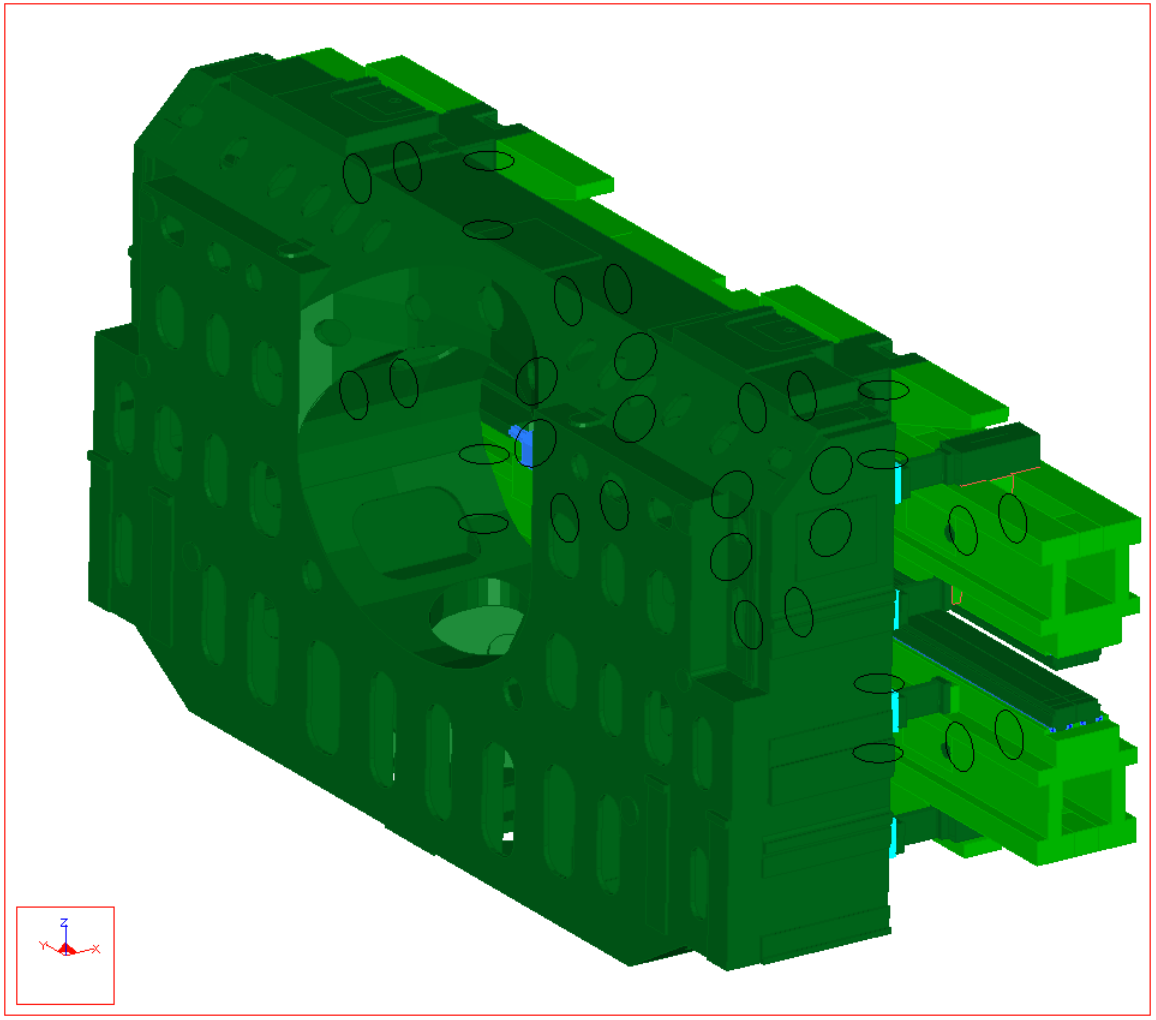
Detail Rollen-Führung und Ersatz-Modell





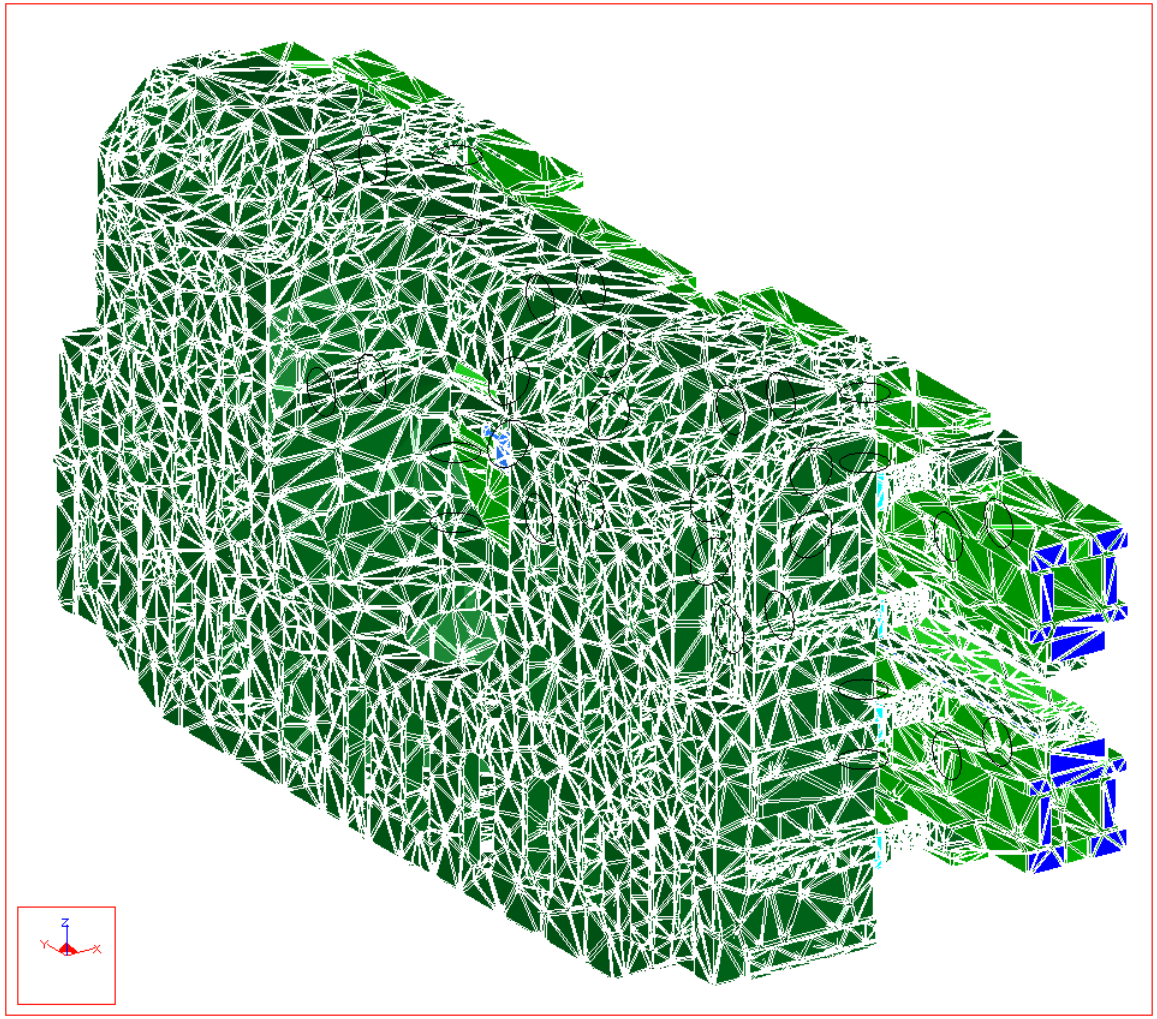
All rights reserved – Copyright per DIN 34

UE65 Gesamt-Modell



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Elementierung GEM-Modell



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kenndaten Gesamt-Modell

- Balken: 1.234
- Schalen: 2.182
- Volumen-Elemente: 115.941 (Tetraeder und Keile)
- Verbindungen: 74 (davon 8 starre)
- Beispiel Magnet-Lasten LF3 je Träger, periodischer Teil (Shift 16,4 mm, Gap 11 mm; Vorzeichen wechseln !):
  - Quer (x): 11.685 N
  - Längs (y): 52.611 N
  - Vertikal (z): 3.420 N
- Weitere Lasten z.B.:
  - Vorspannungen
  - Eigengewichte und Aggregat-Massen

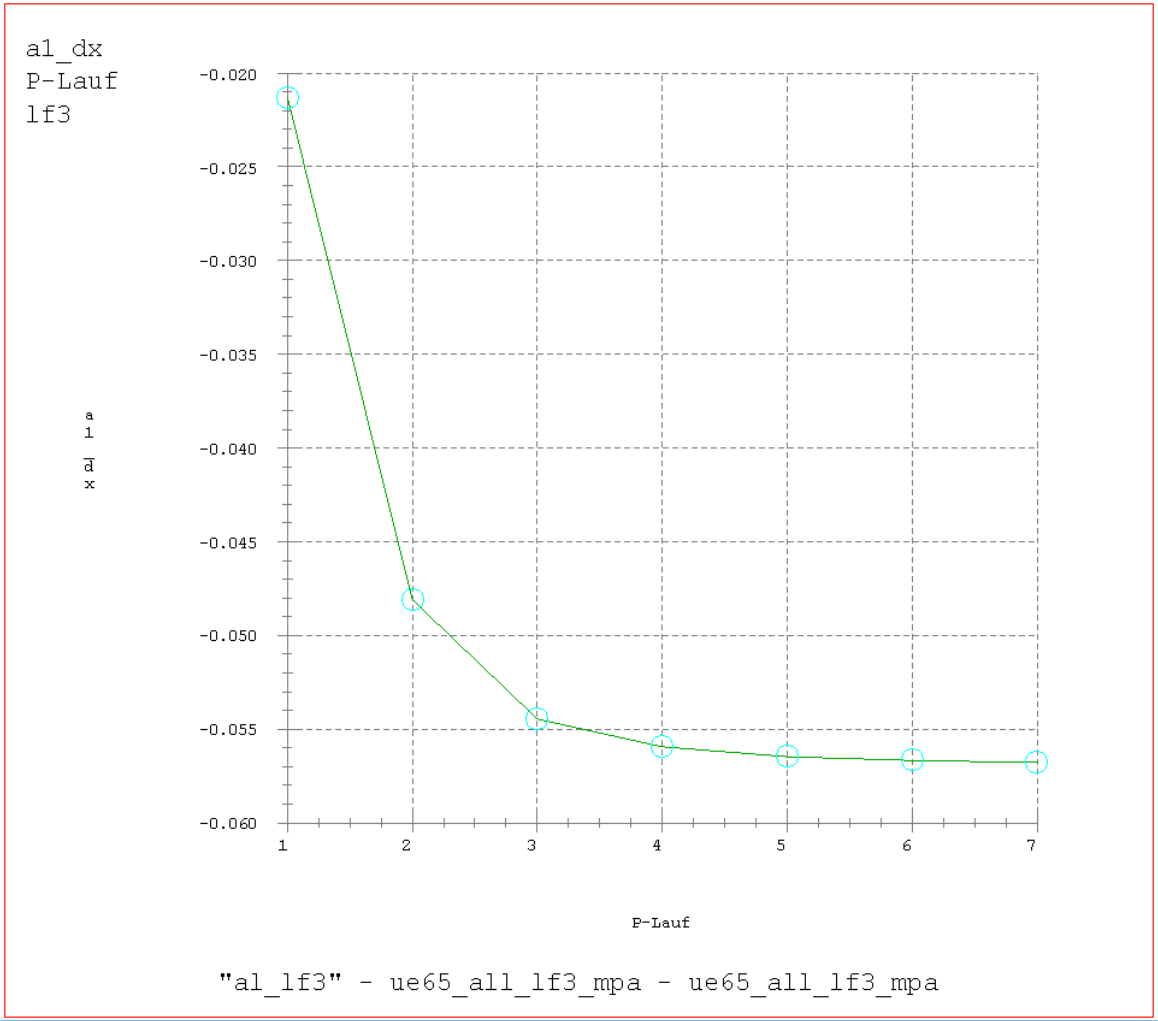
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Ergebnisse für LF3

- Freiheitsgrade im Pass 7: 16.480.168
- 3 Lastsätze berechnet (LF3, nur Gewicht und 100 N)
- Rechenzeit (CPU-Zeit): 36,9 h
- Verweilzeit: 21,3 h
- Speicherbelegung, max.: 12,5 GB
- Plattenbelegung, max.: 175,5 GB
- Ergebnisse 5,1 GB
- Konvergenz Verschiebungsbetrag: <1,2 %
- Konvergenz RMS-Spannungsfehler: <0,2 %

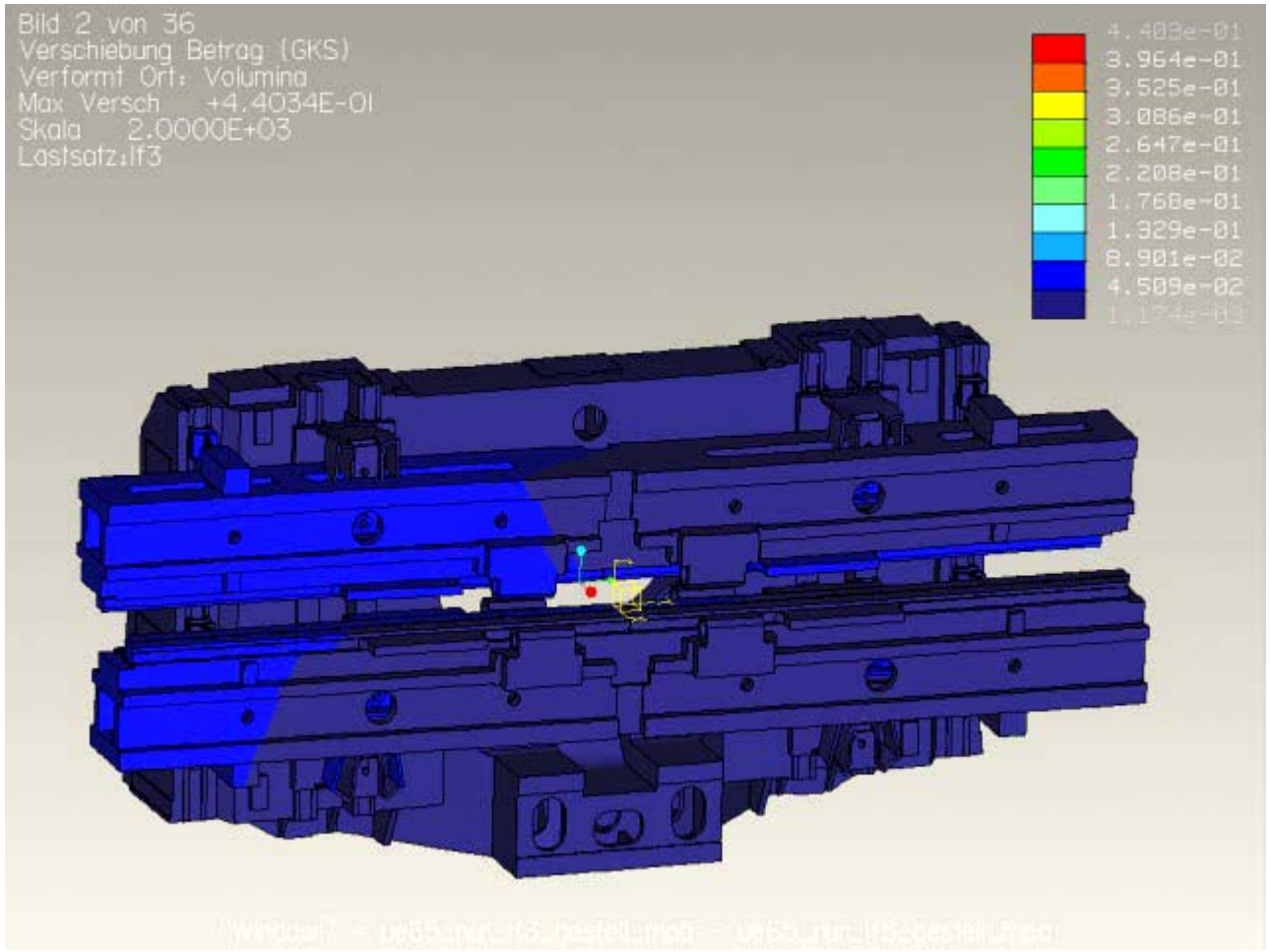
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Konvergenz dx an a1 für LF3



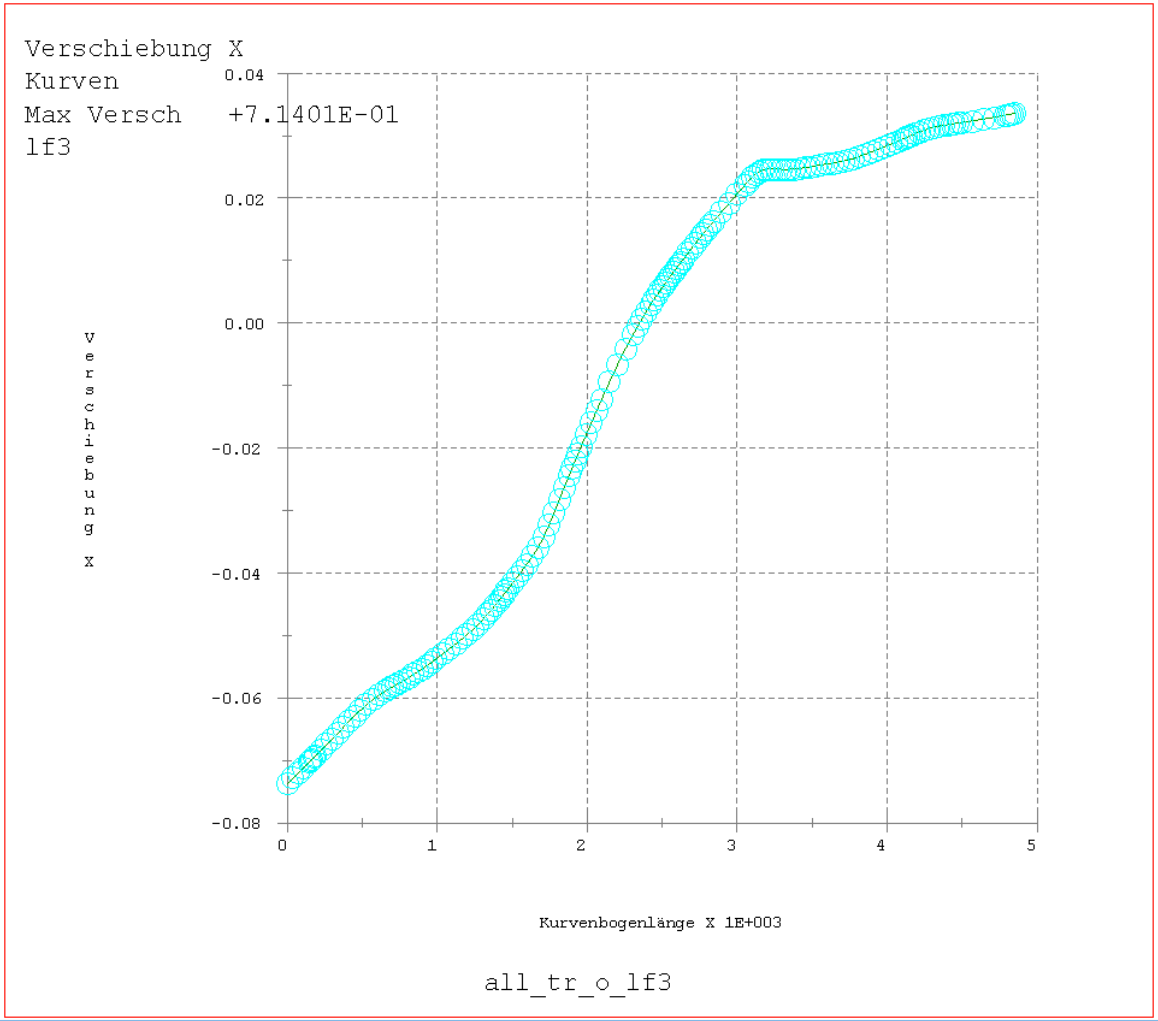
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Verformungen für LF3



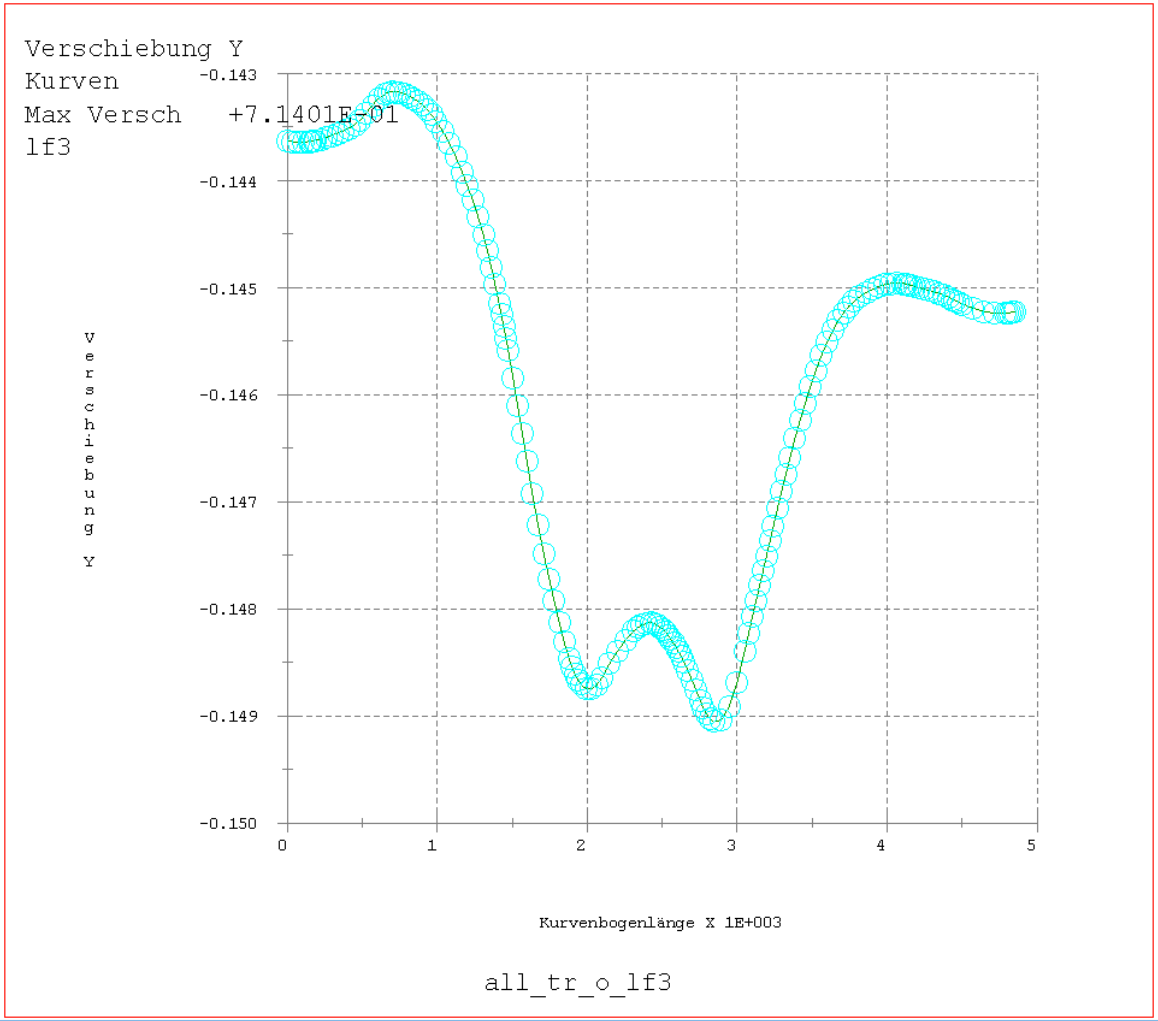
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Verschiebung dx oberer Träger für LF3



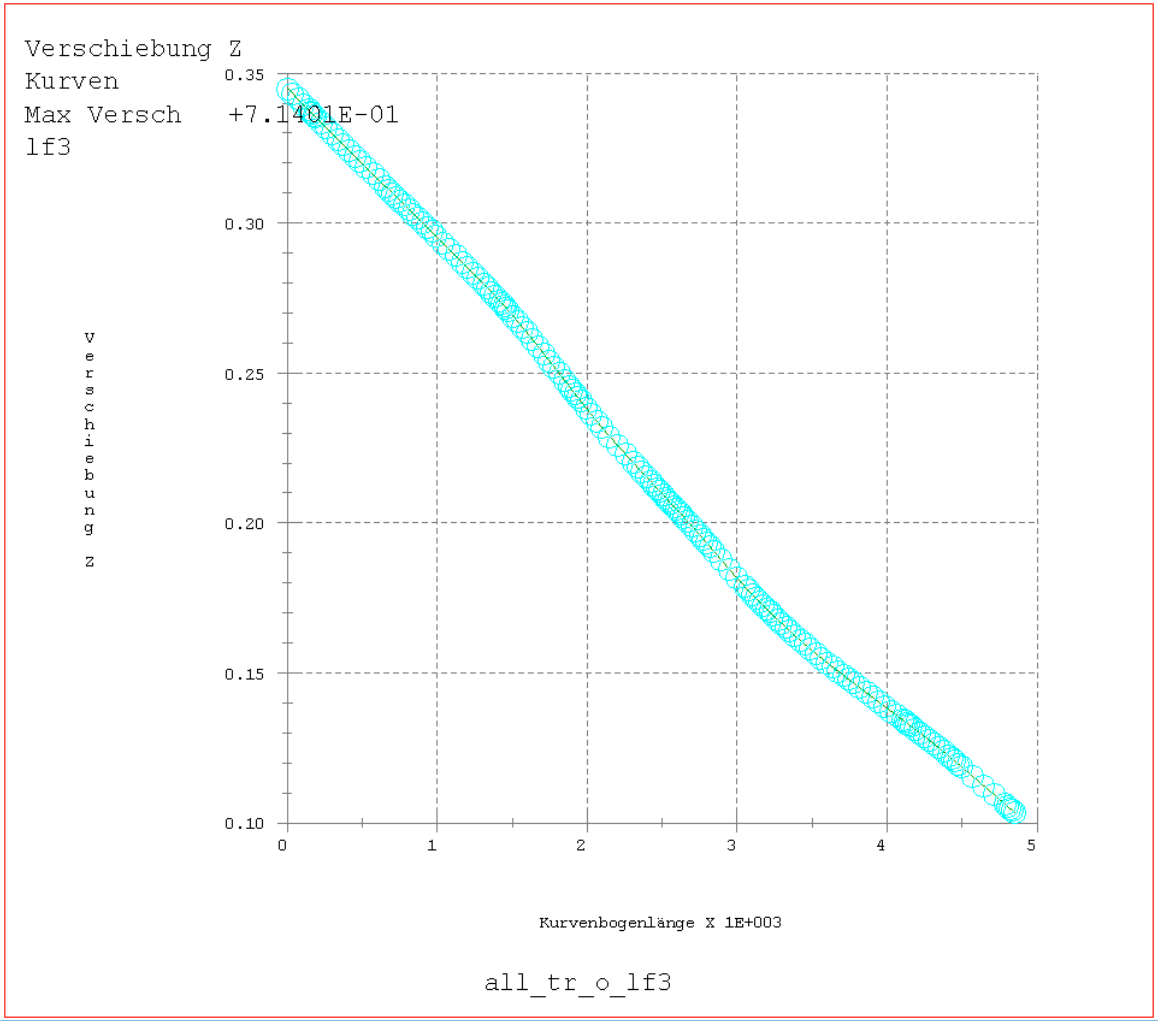
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Verschiebung dy oberer Träger für LF3



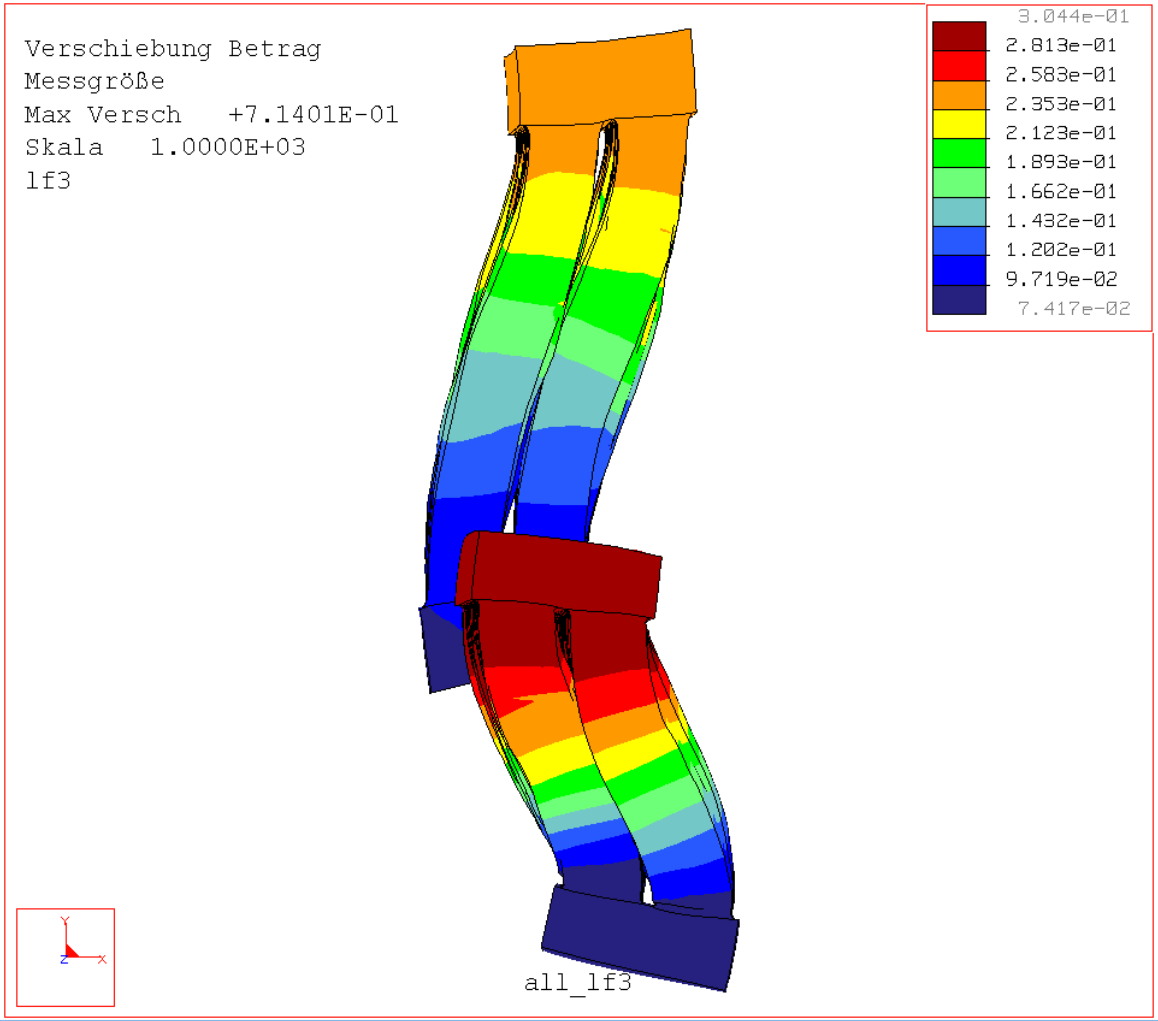
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Verschiebung dz oberer Träger für LF3



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Verschiebungen Längslager für LF3



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Zusammenfassung Ergebnisse für LF3

- Entscheidend für realitätsnahe Analysen ist die korrekte Berücksichtigung aller Lager- und Führungssteifigkeiten
- Alle Nadel- und Rollenlager werden durch Ersatz-Modelle nachgebildet (Vermeidung von Kontakt-Analysen)
- Die transversale (x-)Verschiebung bei LF3 gegen den Elektronenstrahl erreicht ca. ±10 µm bis ±35 µm; das ist nicht ausregelbar, kann aber geduldet werden
- Die longitudinalen Verschiebungen der Träger bzw. der Magnetreihen sind mit ca. ±130 µm bzw. ±270 recht groß, können aber durch die Shift-Antriebe ausgeregelt werden

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Zusammenfassung Ergebnisse für LF3

- Die vertikale (z-)Durchbiegung der Träger erreicht ca. ±7,5 µm; auch diese ist nicht ausregelbar
- Die Trägerschiefstellung (in z) ist mit ±260 µm pro 5.000 mm recht hoch, kann aber ausgeregelt werden
- Der Undulator wurde u.a. bei LF3 vermessen; es zeigte sich, dass die errechneten Verschiebungen und Verdrehungen/Verkippungen im wesentlichen mit den Messungen gut übereinstimmen (Details siehe zukünftige Veröffentlichung Dr. Bahrdt SRI2009)
- Diese Arbeiten lieferten wertvolle Hinweise für die Auslegung noch präziserer Undulatoren (z.B. f. XFEL)

All rights reserved – Copyright per DIN 34

» Danke !

All rights reserved – Copyright per DIN 34