

OBACHT – Optical Bench for Automated Cavity Inspection with High Resolution on Short Time Scales.



M. Lemke; E. Elsen; S. Aderhold; U. Cornett; G. Falley; S. Karstensen; T. Külper; A. Navitski; J. Schaffran; F. Schländer; L. Steder; M. Wenskat

ILC-HiGrade-Report-2013-001

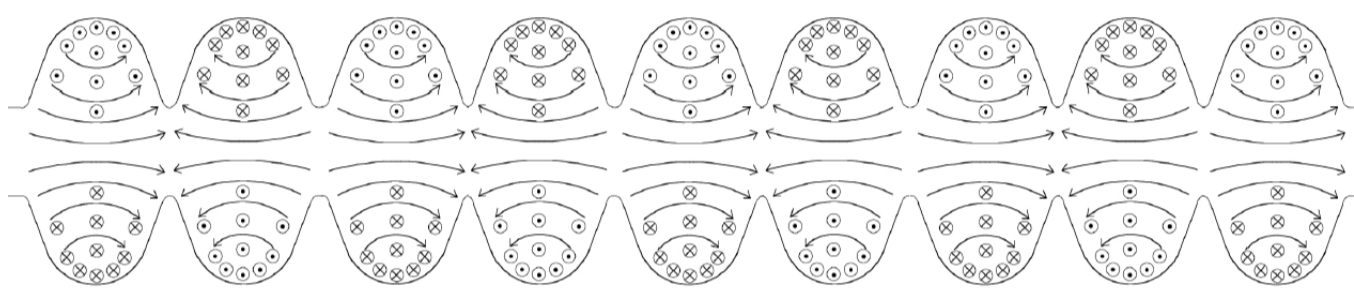
Daten zum Projekt

- Auftraggeber/Projektleitung: E. Elsen (FLA)
- Technische Spezifikation/Anforderungsliste: J. Schaffran (FLA)
- Konstruktion: M. Lemke (ZM1)
- Elektrik/Elektronik: T. Külper (ATLAS)
- GUI: S. Aderhold (FLA); S. Karstensen (FLA); F. Schländer (FLA); A. Navitski (FLA)
- digitale Bildverarbeitung: L. Steder (FLA); M. Wenskat (FLA)
- Kyoto Camera System (Hardware): Leihgabe KEK (Japan)
- Projektzeitraum:
 - 1) Konstruktion Nov. 2009 bis Dez. 2010
 - 2) Fertigung April 2010 bis März 2011
 - 3) Montage Linearachse Sept. 2010 (mit FLA-Team)
 - 4) Montage Rotationsachse April 2011 (mit Kollegen von ZM31)
 - 5) Inbetriebnahme/Testbetrieb seit Mai 2011
- Standort Geb. 30 (HF-Labor)

Spezifikationen von OBACHT

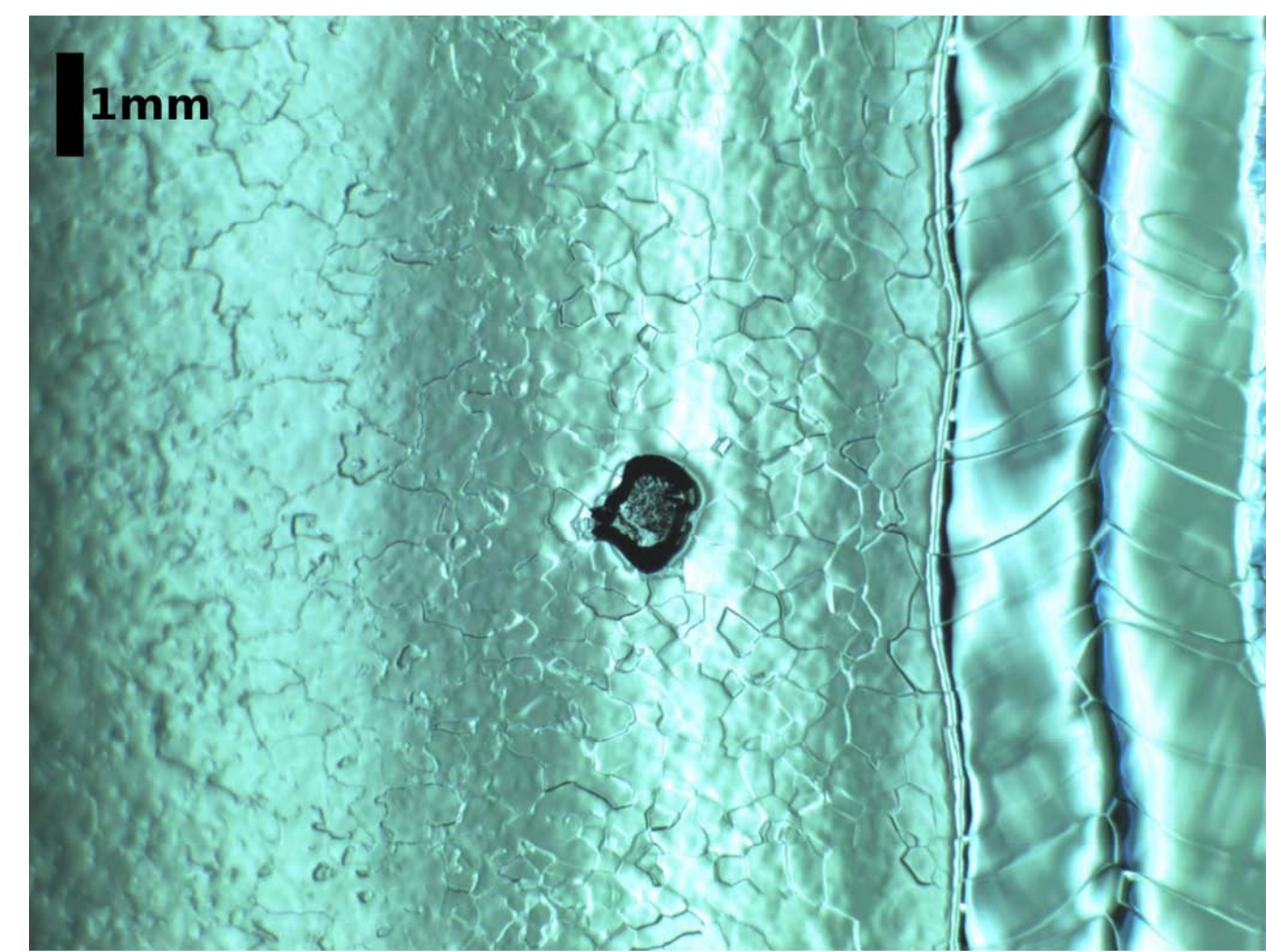
- In-situ Inspektion der inneren Resonator-Oberflächen
- Messung von Cavity mit und ohne Heliumtank
- Auflösung Kyoto Kamera am Äquator ca. $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$
- Unterschiedliche Ausleuchtung der reflektierenden Metalloberfläche durch einzeln ansteuerbare Lichtbänder der Kyoto Kamera
- Präzise Vermessung der Resonator-Geometrie mit $5\ \mu\text{m}$ Positionsgenauigkeit
- Anlage kann mit rechts- oder linksseitigem Zugang für Cavity-Bestückung aufgebaut werden
- Zwei Messmethoden anwählbar:
 - 1) Vollautomatische Messung oder
 - 2) Step-by-Step-Messung.
- Optischer Kollisionstest vor Hinfahren der Kamera in Cavity
- Export der Datentabelle mit dem Ort der Aufnahme (translatorische und rotatorische Pos.) und der Beleuchtung als ASCII Datei
- ca. 2h je Cavity für vollständige Messung (1.170 Bilder)

Optische Inspektion der Cavity von Innen – Warum?



Elektrisches Feld im Inneren des Cavity (F. Schländer, 2012)

- 1.3GHz 9-zelliges SRF Cavity (nach TESLA)
- 18 tiefgezogene Niob-Halbschalen werden mit Elektronenstrahl-Schweißverfahren am Äquator (großer Durchmesser) und Iris (kleinerer Durchmesser) verschweißt
- Cavity-Werkstoff Niob (supraleitend unter $9,2\ \text{K}$)
- Betriebstemperatur $2\ \text{K} \Rightarrow$ Supraleitung
- HF-Feld, stehende Welle/Resonanz bildet sich im Inneren des Cavity \Rightarrow Wandströme an der Innenwandung des Cavity induziert \Rightarrow elektrisches Feld in Längsrichtung von Iris zu Iris (oszillierend)
- Für hohe Beschleunigungsgradienten sehr glatte Innenflächen notwendig \Rightarrow aufwendige Nachbehandlung
- Mögliche Defekte an Cavities, die die Beschleunigungsleistung negativ beeinflussen:
 - 1) Verunreinigungen im Werkstoff Niob,
 - 2) Geometrische Defekte/Imperfektionen und
 - 3) Defekte, die durch das Elektronenstrahl-Schweißen hervorgerufen wurden
- Einflüsse der Defekte auf Leistungsfähigkeit der Cavities:
 - 1) Widerstand im Niob \Rightarrow lokaler Temp.-Anstieg \Rightarrow bei schlechtem Abtransport der Wärme \Rightarrow lokaler Quench
 - 2) Lokale Feldemissionen (Emissionen von Elektronen)
- Behandlungsmethoden der Innenwandung:
 - 1) EP (Elektro-Polieren)
 - 2) Buffered Chemical Polishing (BCP)



Beispiel für einen Defekt, Aufnahme von OBACHT (S. Aderhold, 2012)

Qualitätssicherung der Cavity-Fertigung

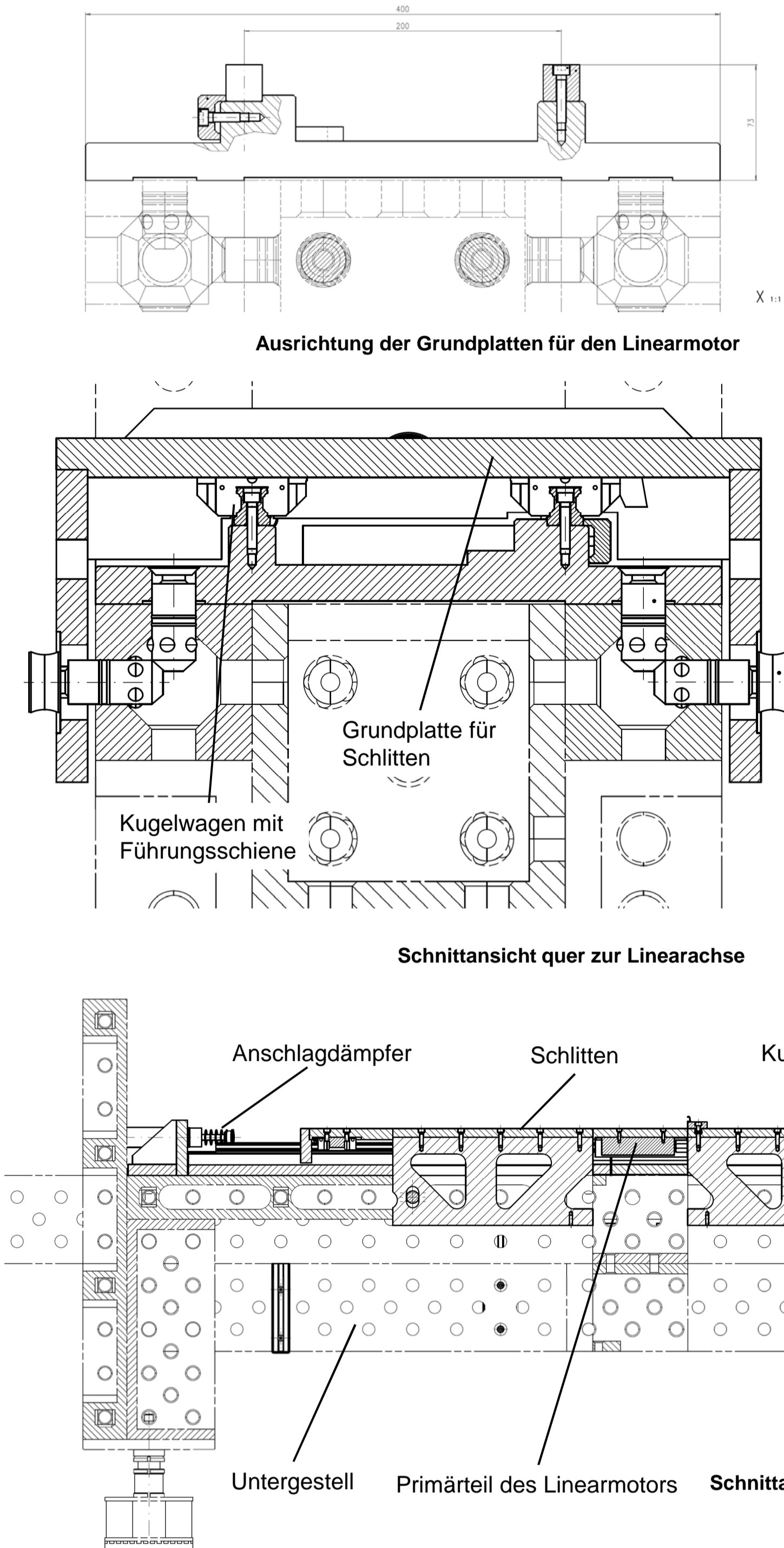
Vorhandene Methoden bei DESY zur Überprüfung der Cavity

- Manuelle optische Inneninspektion der Cavity \Rightarrow Dauer mehr als 2 Tage für ca. 1.170 Bilder/Cavity \Rightarrow Einzelmessung
- Temperature Mapping (T-Mapping) \Rightarrow Temperaturmessung an den Außenflächen des Cavity \Rightarrow für mittelgroße Serien geeignet
- 2nd Sound-Messung bei kaltem Performance-Test in den Vertical Inserts (AMTF-Halle) \Rightarrow lokaler Quench in Cavity erzeugt messbaren Heat Pulse \Rightarrow Großserien-Testeinrichtung

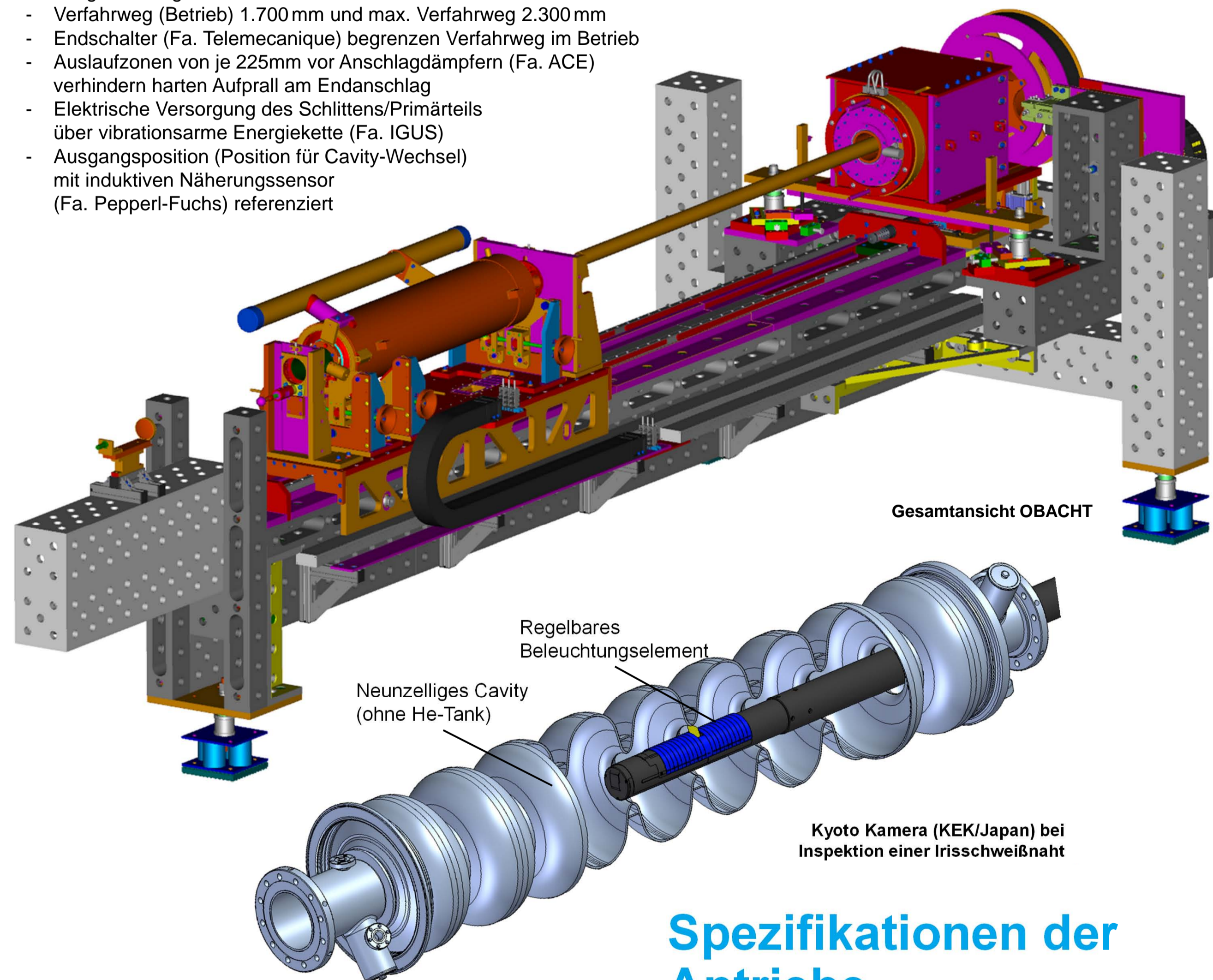
Einsatz von OBACHT für die Qualitätssicherung der Cavity-Produktion

- Überprüfung aller 24 ILC-HiGrade Cavities über die verschiedenen Bearbeitungsschritte bis zum Erreichen eines maximalen Beschleunigungsgradienten
- Untersuchung/Überwachung von:
 - 1) Oberflächenrauigkeit der Cavity-Innenwandung,
 - 2) Schweißnähten und
 - 3) Oberflächendefekten.
- Stichprobenartige Untersuchung von XFEL-Cavity (ca. 800 Stück insgesamt) aus der Produktion \Rightarrow Bilder als Feedback an Firmen

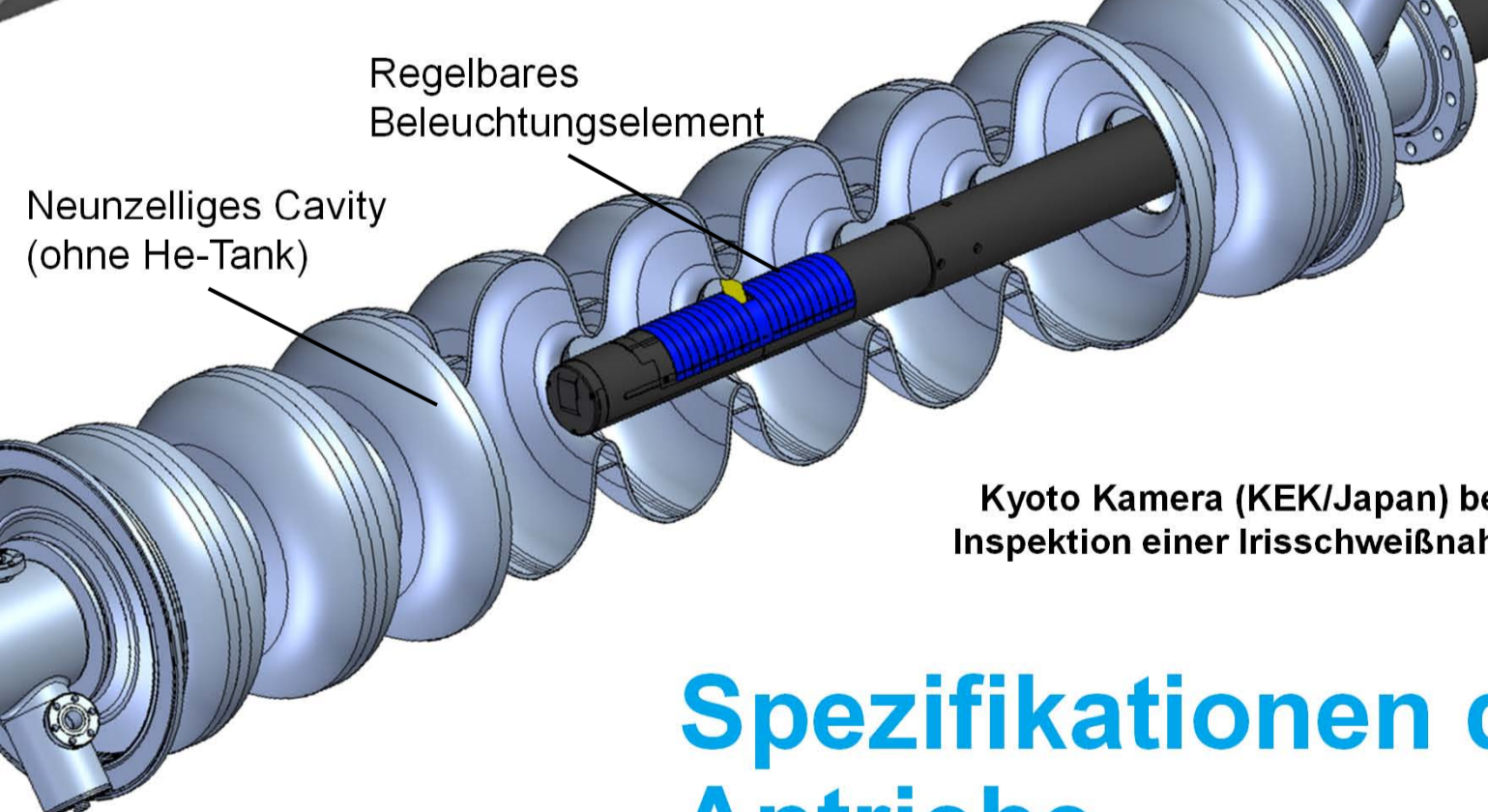
Aufbau der Linearachse



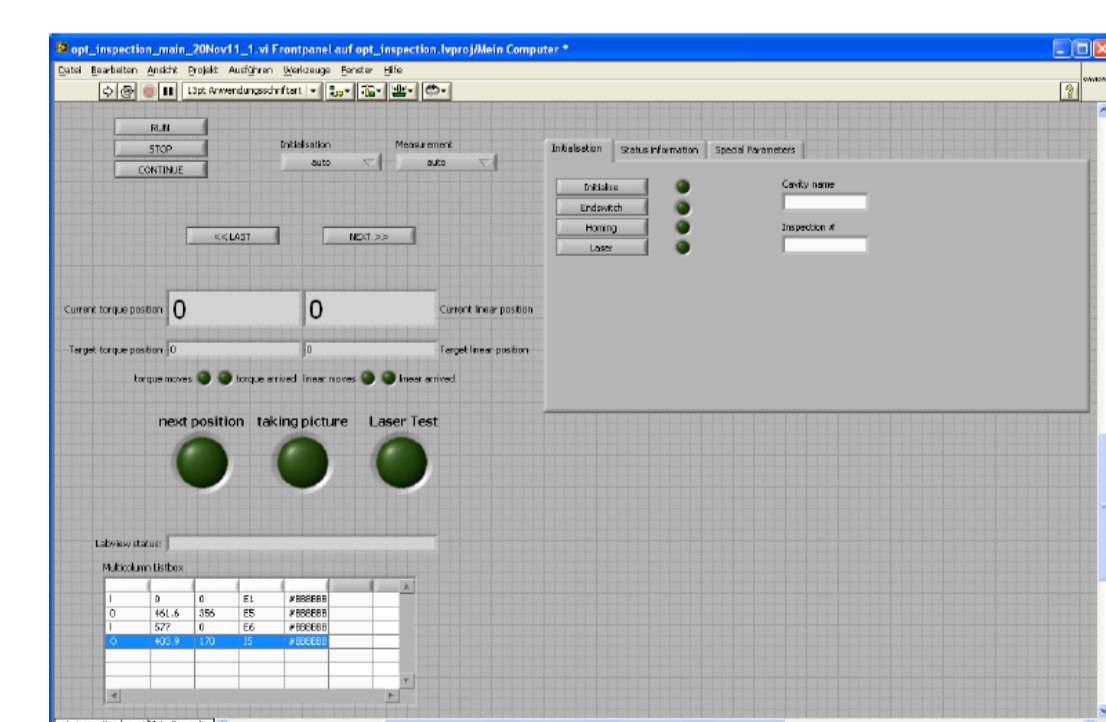
- Stahlgrundgestell aus Präzisions-Kaufteilen der Fa. Demmeler aufgebaut (System D28)
- Festes Lochraster der Passbohrungen bieten flexible und genaue Anschraubpunkte für Messeinrichtungen/Zubehör
- Vier separate Grundplatten mit Stahlleisten ausgerichtet und dann mit dem Grundgestell verschraubt
- Grundplatten bilden Basis für Kugelschienen der Linearführung und für Sekundärteile des Linearmotors
- Länge der Kugelschienen 3.600mm
- Verfahrgew (Betrieb) 1.700mm und max. Verfahrgew 2.300mm
- Endschalter (Fa. Telemecanique) begrenzen Verfahrgew im Betrieb
- Auslaufzonen von je 225mm vor Anschlagdämpfern (Fa. ACE) verhindern harten Aufprall am Endanschlag
- Elektrische Versorgung des Schlitzen/Primärteils über vibrationsarme Energiekette (Fa. IGUS)
- Ausgangsposition (Position für Cavity-Wechsel) mit induktiven Näherungssensor (Fa. Pepperl-Fuchs) referenziert



Gesamtansicht OBACHT

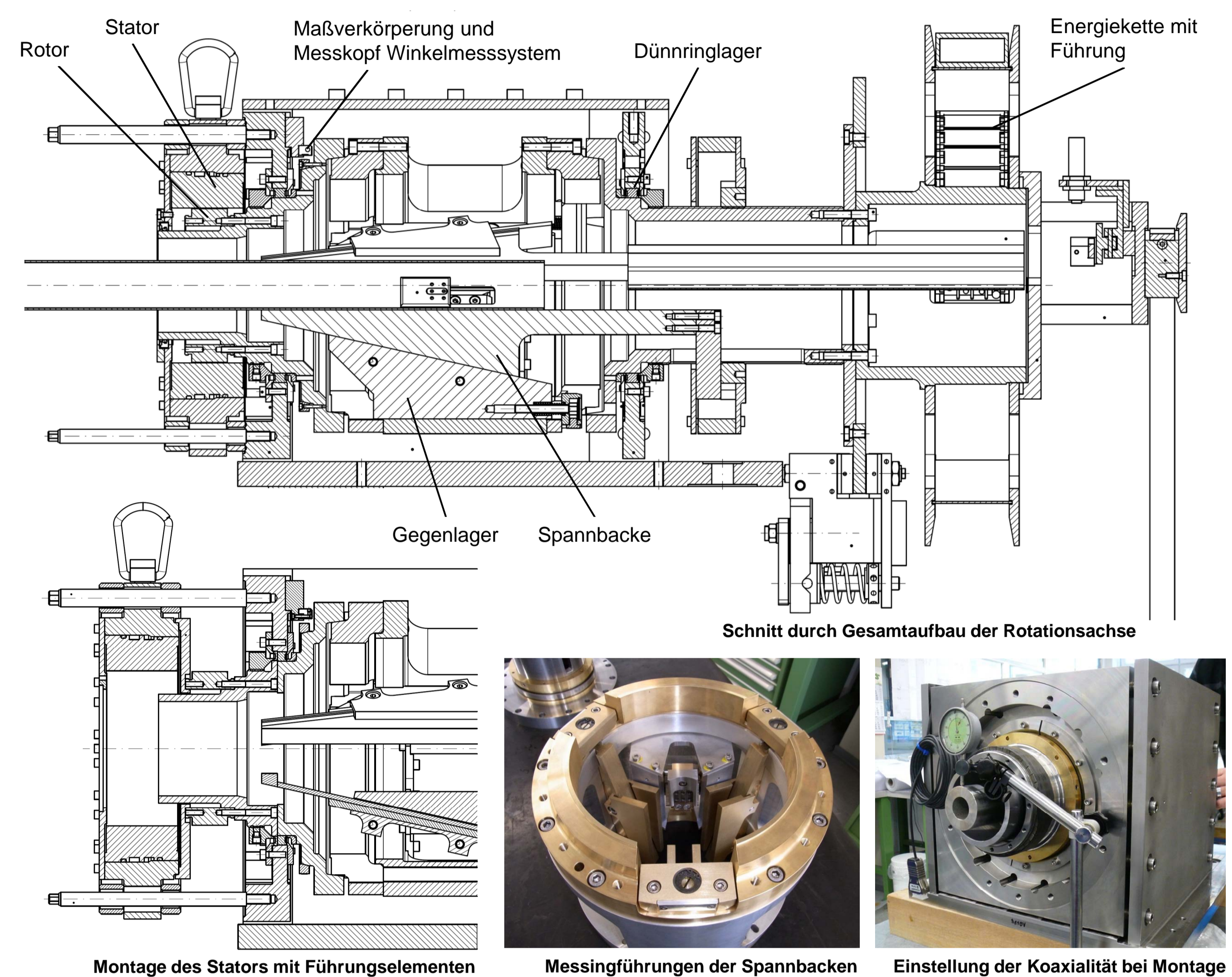


Regelbares Beleuchtungselement
Neunzelliges Cavity (ohne He-Tank)
Kyoto Kamera (KEK/Japan) bei Inspektion einer Irisschweißnaht



Grafische Benutzeroberfläche (GUI) von OBACHT (F. Schländer, 2012)

Aufbau der Rotationsachse

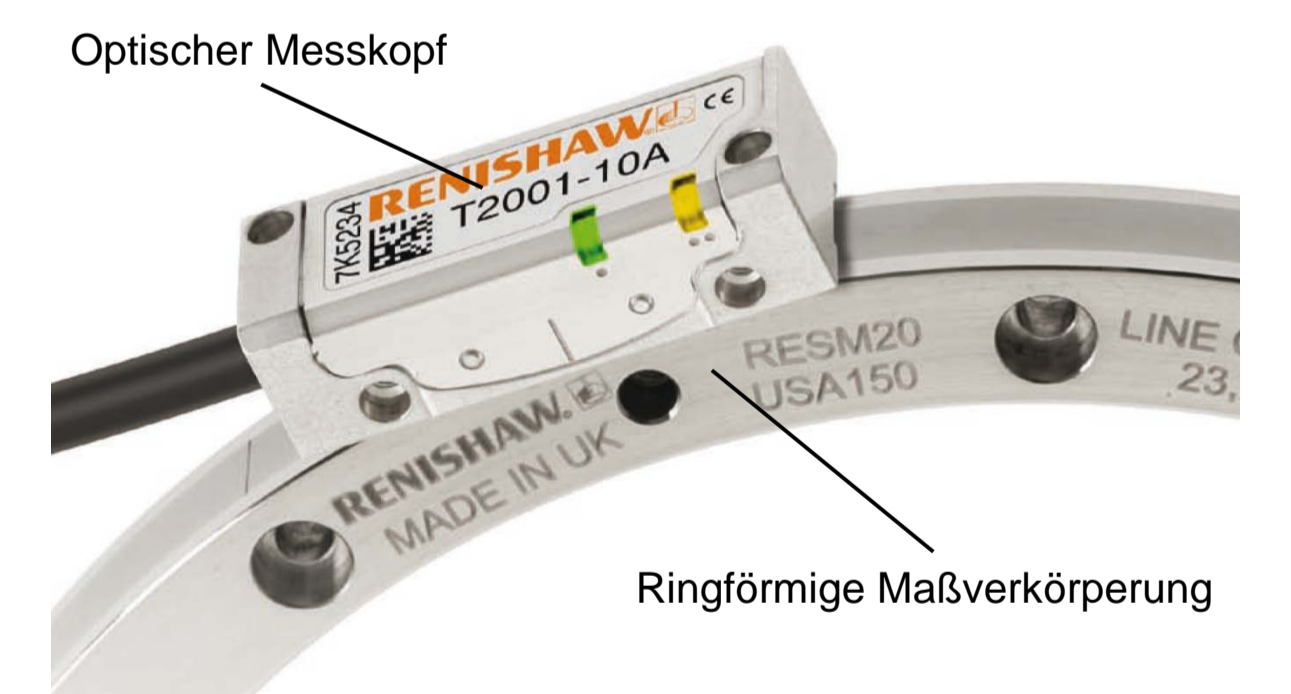


- Max. Verfahrgew von 540° (Drehung)
- Drei Spannbacken aus Aluminium um 120° versetzt (Prinzip Bohrmaschinenfutter)
- Geschraubtes Aluminiumgehäuse nimmt Spannbacken in T-Nuten auf (Führung beim Öffnen)
- Gegenlager der Spannbacken aus Messing
- Spannkraft wird über Mitnehmer und spezieller Mutter (M160x3) auf Spannbacken übertragen
- Spannbereich für rohrförmige Objekte von 45mm bis 80mm Durchmesser
- Radiale Position/Koaxialität zwischen Kamerarohr und Drehpunkt der Lagerung einstellbar
- Messing-Konusse am Aluminiumgehäuse nehmen Edelstahlflansche auf
- Allseitig gedichtete Dünninglager (Fa. Rodriguez) mit einem Innendurchmesser von ca. 280mm
- Motorseitige Flansch dient zur Aufnahme von:
 - 1) Maßverkörperung für Winkelmesssystem (Fa. Renishaw)
 - 2) Demontagering für Dünninglager,
 - 3) Dünninglager,
 - 4) Wellenmutter mit Klemmung zur Fixierung des Lagers und
 - 5) Rotor (Sekundärteil) des Torque-Motors (Fa. Bosch Rexroth)
- Rückseitiger Flansch als Aufnahme von:
 - 1) Demontagering für Dünninglager,
 - 2) Dünninglager,
 - 3) Wellenmutter mit Klemmung zur Fixierung des Lagers,
 - 4) Spezialmutter mit Klemmung zur Erzeugung der Spannkraft,
 - 5) Bremsscheibenaufnahme und Bremsscheibe
 - 6) Adapterhülse und Führungsbleche für die Aufwicklung der Energiekette und
 - 7) Vorrichtung für die Ansteuerung der Endschalter für die Rotationsbewegung
- Geschraubtes Gehäuse mit Einstellmöglichkeiten für Lageraufnahmen für leichten Lauf des Antriebes
- Bremssystem (stromlos geschlossen) als Option (Fa. HEMA Maschinen- und Apparateschutz GmbH)

Spezifikationen der Messsysteme für die Direktantriebe

Winkelmesssystem (Fa. Renishaw)

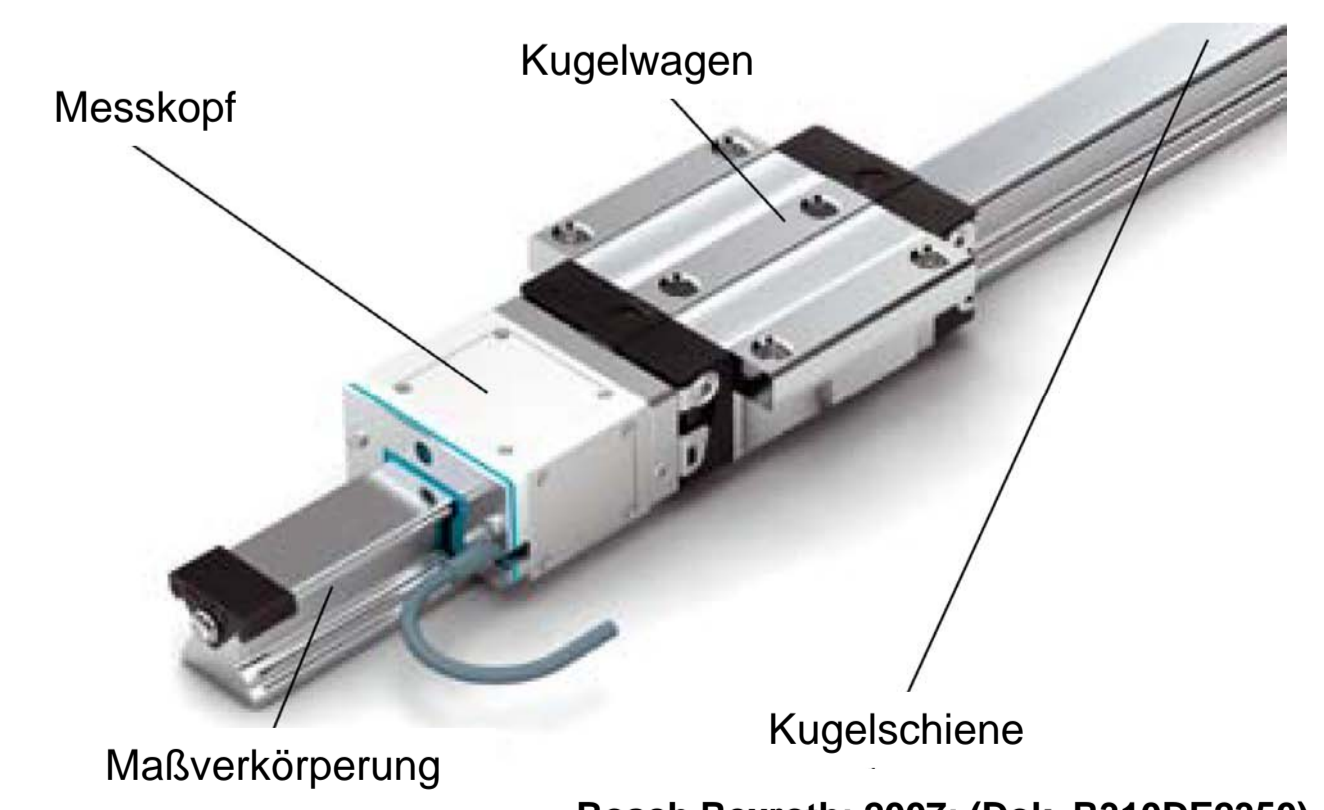
- Inkrementales, optisches Messsystem mit einer Referenzmarke
- Maßverkörperung aus Edelstahl mit einer Auflösung von 40.000 Strichen/Umfang
- Theoretische Genauigkeit liegt bei 0,144 Winkelsekunden
- Sehr kompakt und unempfindlich gegenüber Verschmutzung
- Signalform 1 VSS



Renishaw; 2009; (Dok. M-9653-9222-01-A)

Lineares, inkrementales Messsystem (Fa. Bosch Rexroth)

- In Kugelschienenführung (Gr. 25) integriert
- Messprinzip nach AMOSIN-Prinzip (induktiv)
- Messkopf als Verlängerung zum Standardkugellager
- Signalform 1 VSS
- IP 67 durch verschweißtes Edelstahlband als Abdeckung
- Theoretische Wiederholgenauigkeit $\pm 3\ \mu\text{m}$ und nachgewiesene Wiederholgenauigkeit von $\pm 2\ \mu\text{m}$
- Messlänge 2.389mm mit abstandskodierten Referenzmarken
- Home-Position zur Referenzierung bei Einschalten der Anlage
- Unempfindlich gegen magnetische Störfelder (Linearmotor)



Bosch Rexroth; 2007; (Dok. R310DE2350)

Spezifikationen der Antriebe

Linearmotor (Fa. Bosch Rexroth)

- Direktantrieb/Linearmotor MLP040A-300
- $F_{\text{max}} = 800\ \text{N}$ (bei $I_{\text{max}} = 20\ \text{A}$) und $F_{\text{Nenn}} = 250\ \text{N}$ (bei $I_{\text{Nenn}} = 4,2\ \text{A}$)
- Bemessungsverlustleistung 400W
- Kühlung über Kühlmittelkreislauf möglich
- Anziehungskraft zum Sekundärteil (Permanentmagnet) 1.200N

Torquemotor (Fa. Bosch Rexroth)

- Direktantrieb/Torquemotor MST210A
- $M_{\text{max}} = 100\ \text{Nm}$ (bei $I_{\text{max}} = 25\ \text{A}$) und $M_{\text{Nenn}} = 50\ \text{Nm}$ (bei $I_{\text{Nenn}} = 7\ \text{A}$)
- Bemessungsleistung 1.400W
- Kühlung über Kühlmittelkreislauf möglich
- Anziehungskräfte zum Sekundärteil/Rotor (Permanentmagnet) $F_{\text{axial}} = 192\ \text{N}$ und $F_{\text{radial}} = 330\ \text{N}$