

Multifunktionale Zelle

Vision, Realisierung, Leistungsdaten

Stefan Bayer (KUKA Industries - Systems GmbH)

Florian Krebs (DLR ZLP Augsburg)

19.5.2015



Wissen für Morgen



Stand der Technik in 2009 → Geburt MFZ bis 2013-14

WHY

- Airbus A30X Rumpf soll in CFK **produziert** werden
- 40 Einheiten/ Monat mit EIS 2018/-19
- Wissen unterschiedlicher Unternehmen muss zusammengeführt



HOW

WHAT

- Verschiedenste Anforderung müssen gemeinsam spezifiziert werden
- **gemeinsame** Entwicklung über **Kooperation** DLR ZLP & KUKA Systems
- Entscheidung: Eine **Multi Funktionale Zelle** muss gebaut werden
- Schrittweise Umsetzung dieser **MFZ** über Phasenplan



Aufgabe → erwarteter Trend → Vision der MFZ

WHY

- Forschungsplattform für Doppel Sektion Rumpfhalschale
Zur Industrialisierung zur Verfügung → TRL 6 Level

HOW

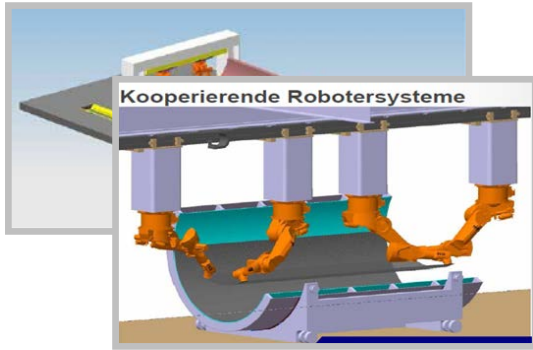
- Anforderung weitgehend automatisierte Produktion in 2018/-19
- Flexibilität für Prozesse, Technologien, Umstieg, parallele Forschung....
- Manueller Zugriff muss möglich bleiben
- Parallelisierung von Prozessen (Legeraten)
- Schrittweiser Umstieg von Manufaktur zu Produktion
- Arbeitsvolumen (Zielbauteil: 16m Ø 4,2 m) mit
 - Tiefe Kavität mit starken Orientierungsänderungen
 - Höchste Anforderungen an effektiven Arbeitsraum
- Hohe Genauigkeit trotz Raumvolumen
- **Gemeinsame** Spezifikation Anforderungen, bei schrittweiser Umsetzung

WHAT

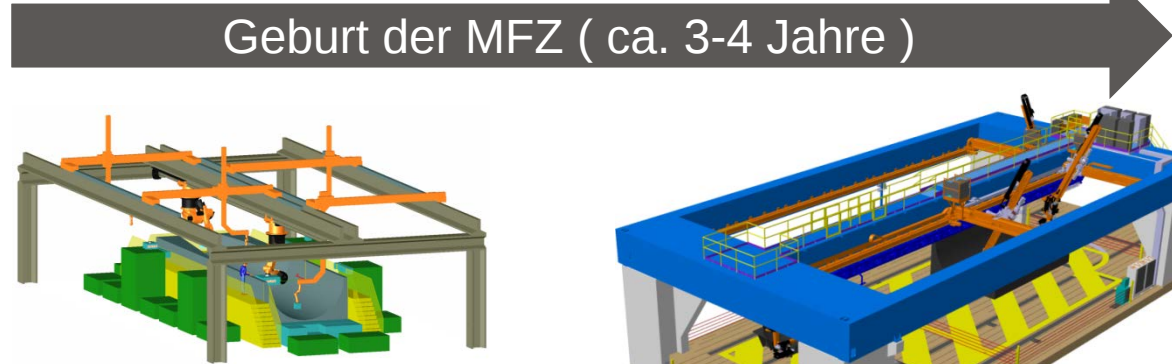
- MFZ ist als Gesamtsystem → mit Integration vielfältiger Mechatronik
- MFZ als R&D Plattform → zukunftsfähig bis nach 2020



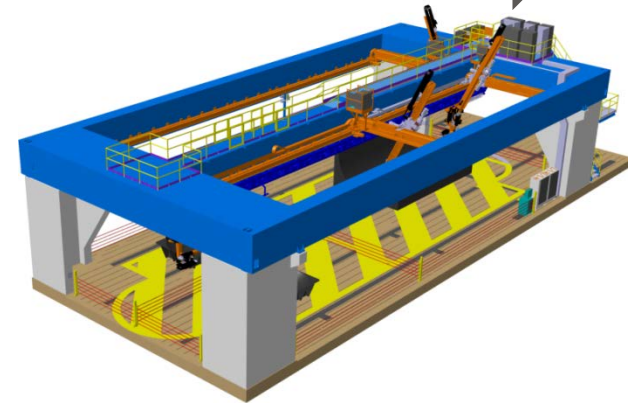
MFZ - Vision → Konzeption 2009 → Stand 2014



DLR 06/2009:
Versch. Ideen
als Anregung



Erstkonzeption 2009 :
Zelle mit **zwei** zentralen
Schwerlast-IR (500 kg)
mit 4x Portal & LBR (7 kg)



MFZ Status 2014:
Flex. Plattform mit zwei
zentralen IR (270 kg) & 3x
Portal (240 kg) Möglichkeit zur
Aufteilung der Zelle



Phasenmodell in der Umsetzung

Erstskizze
Vorhaben-
Beschreibung

Erstspezifikation
Technikums-
anlage

Phase 1
Auslegung &
Konstruktion

Phase 2
Detailkonstr. &
Technologie-
evaluation

Phase 3
Bau & Basis-
Inbetriebnahme
MFZ

Phase 4
Prozesstechnik
& Validierung

Kooperation
Sept.2009



Technologieprojekt
Start Q1 2010



Technologie-Projekt

Technologie Erprobungs- & Multi Funktionale - Zelle

Arbeitspaket 2

Arbeitspaket 3

Arbeitspaket 7

- Basis Arbeitspaket: TEZ & MFZ
- ~~Cutter~~ → Logistik
- Externe Führung / Ref. Roboter
- Zuschnitte Legen
- Rollenware Legen
- Preforms und Einlegeteile
- Vakuumaufbau
- Kooperation Mensch / Maschine



Über die TEZ zur Multi-Funktionalen Zelle

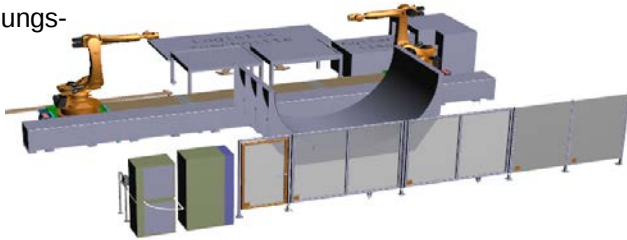
Technologie Erprobung → Versuche erforderlich

→ Entscheidung zur TEZ Technologie Erprobungs-Zelle in 2010

→ Schrittweises Umsetzen von Technologien von TEZ zur MFZ

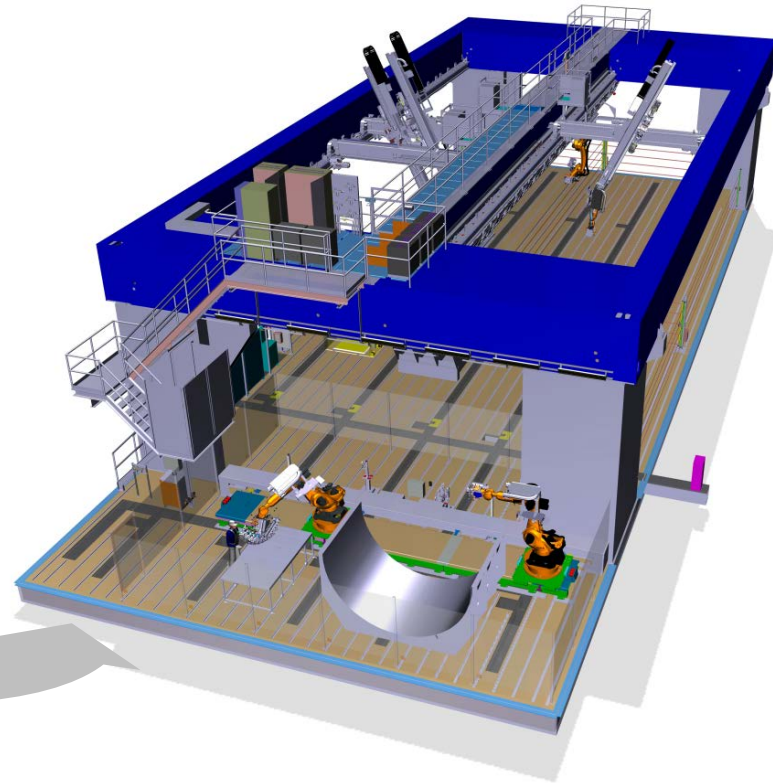
TEZ

Technologie-
Erprobungs-
Zelle



MFZ

Multi-
Funktionale-
Zelle



AP2 - Externe Führung

AP3 - Endeffektoren zum Legen Zuschnitte

AP7 - Kooperation Mensch / Maschine



Impressionen Bau – MFZ Struktur vor Hallenbau



11/2011:
Erstellung des unteren
Ringfundamentes und der
Maschinesäulen



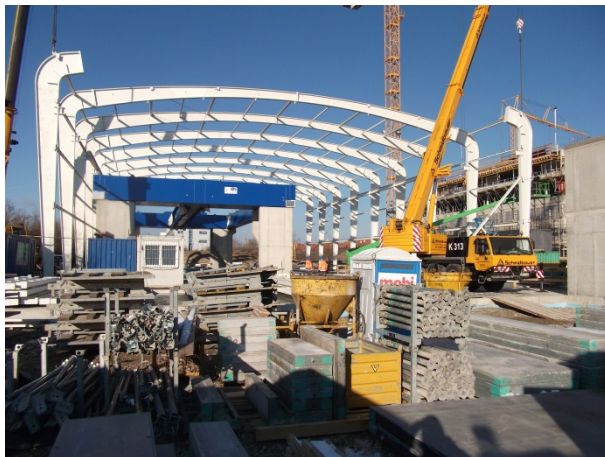
12/2011 **bis**
Vormontage oberes Maschinengestell
(ca 180 to Stahl)



01/2012:



Basismontage MFZ parallel zum Hallenbau



02/2012:
Beginn des Hallenbaus



03/2012:
Einbringen der
Grundstruktur des
Spannfelds



09/2012:
Fertigstellung Oberes
Maschinengestell und
Einbringung der zentralen
Linearachse



Robotertermontage bis Erstinbetriebnahme



10/2012:
Vormontage der Roboter und
Portale



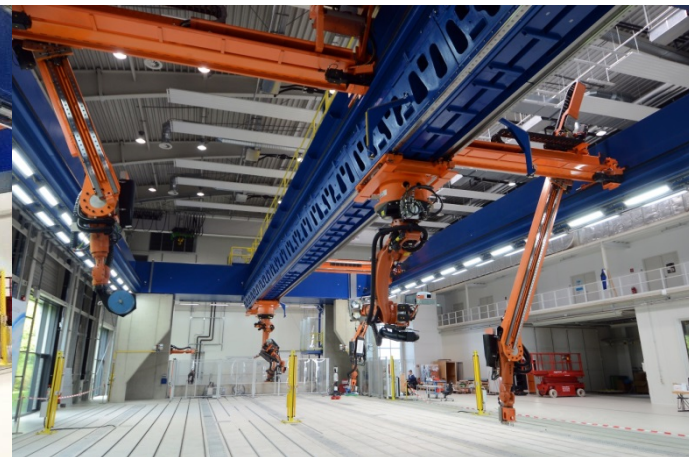
03/2013:
Finale Ertüchtigung des
Spannfelds



08/2013:
Durchführung der Erst-
Inbetriebnahme



Institutseröffnung & Inbetriebnahme



- **14./15. Mai 2013:**
Eröffnung des DLR ZLP in Augsburg & Produktionstechnikkolloquium 2013
- **Januar 2014:**
Abschließende Inbetriebnahme, Betriebsbereite Übergabe an DLR ZLP
- Anschließend Optimierungsphase gemeinsam mit KUKA Systems



Rückblick MFZ - 2015 aus Sicht KUKA Systems

WHAT

- Die Multi-Funktionale Zelle steht abgenommen beim DLR ZLP
Die Geburt hat etwas gedauert, aber das „Kind“ ist gut gelungen

HOW KUKA view

- Gemeinsame Entwicklung über Kooperationsmodell
- Transparenter Umgang mit Aufgaben/ Problemen und Kosten
- Risiken konnten meist erkannt → dann auch vermieden werden
- Schrittweises Vorgehen → zur Disziplinierung und Zielerreichung
- Weitere Technologieprojekte im Gange:
a) Projekt Koffer b) MAI ZPR c) neues Kundenprojekt (noch mit NDA)

HOW DLR view

- **KUKA Resümee:** Konstellation (Aufgaben & Leute) +++++
Viel gelernt, uns weiter entwickelt & würden es mit dem DLR wieder tun
- **KUKA -- Bitte ans DLR ZLP:**
Darstellung der Leistungsdaten durch
a) DLR als Kooperationspartner und b) DLR als Kunden



Bisherige Anwendungen: AZIMUT



Auf MFZ umgesetzt:

Untersuchung der Möglichkeiten zur automatisierten Herstellung von großen Schalenbauteilen im 1:1: Maßstab am Beispiel A350 Rear Pressure Bulkhead (Druckkalotte)



Bisherige Anwendungen: Demopanel

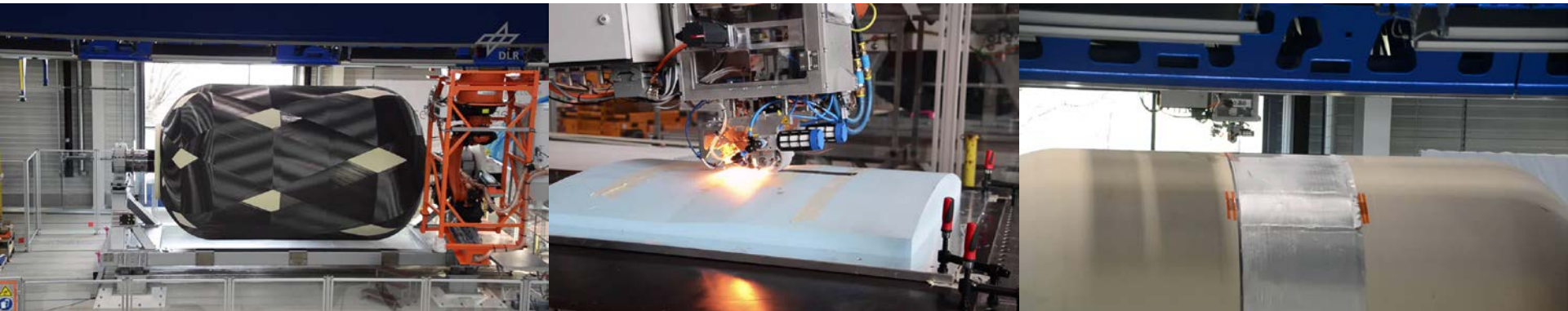


Auf MFZ umgesetzt:

Herstellung und Prüfung eines generischen Rumpfbauteils inklusive Setzen von Stringern und begleitende Qualitätsprüfung



Bisherige Anwendungen: KOFFER



Auf MFZ umgesetzt:

Automation des Wickelvorgangs und Einbringung von lokalen Verstärkungen durch Dry Fiber Placement für die Herstellung Boostergehäuses für die zukünftige Ariane 6
→ Details im folgenden Vortrag von Hr. Ortmann



Leistungsbestimmung: Absolut-Genauigkeit

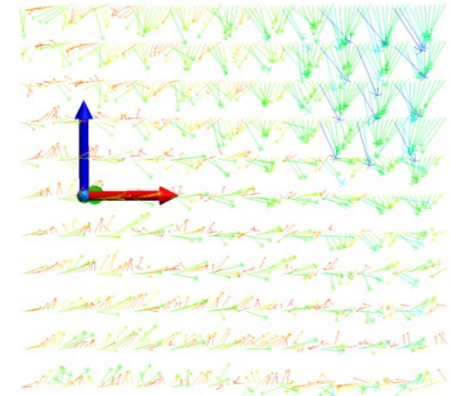


Automatisierte Vermessung eines Teils der Anlage und Bestimmung der Leistungsfähigkeit → Details jetzt



Versuchsaufbau und Ziel

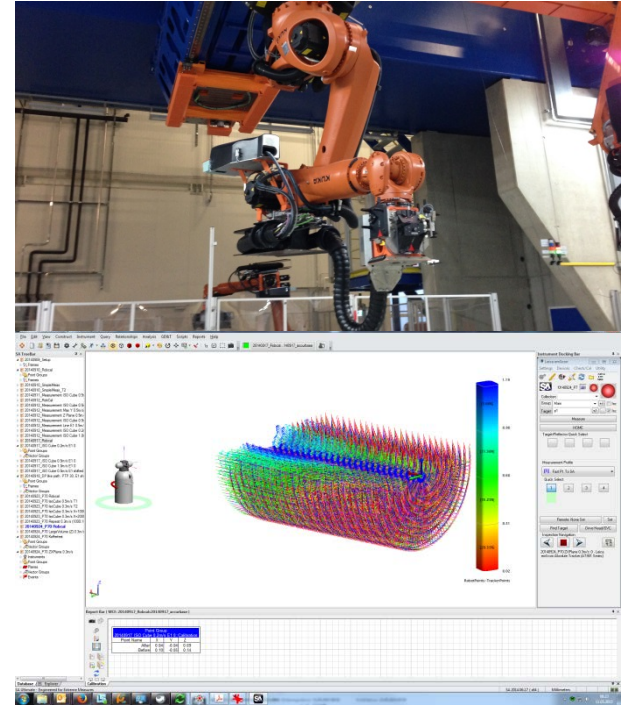
- **Ziel:**
Bestimmung der Absolut-Genauigkeit der Roboter sowie Portale (in Anlehnung an DIN EN ISO 9283 Industrieroboter - Leistungsgrößen und zugehörige Prüfmethoden)
- **Verwendete Roboter:**
KUKA KR 270-2700 und Portal mit KR 240 Hand
- **Messsystem:**
Lasertracker Leica AT 901 und T-MAC am Flansch NRK Spatial Analyzer zur Messdatenaufnahme



Visualisierung Abweichungen ISO Kubus

Versuchsdurchführung

- Bestimmung der Transformation(en) zwischen Roboter-Referenz-KOS und Lasertracker Referenz-KOS
- Messung im definierten Versuchsvolumen
 - Vorgestellte Fälle:
1m³ „ISO“-Kubus (für Roboter & Portal)
Anwendungsnaher Fall: Demopanel (für Roboter)
- (Nachgeschaltete) Auswertung der Messdaten in Spatial Analyzer und eigens entwickelten Analyse-Werkzeugen



Auswertungssoftware NRK Spatial Analyzer

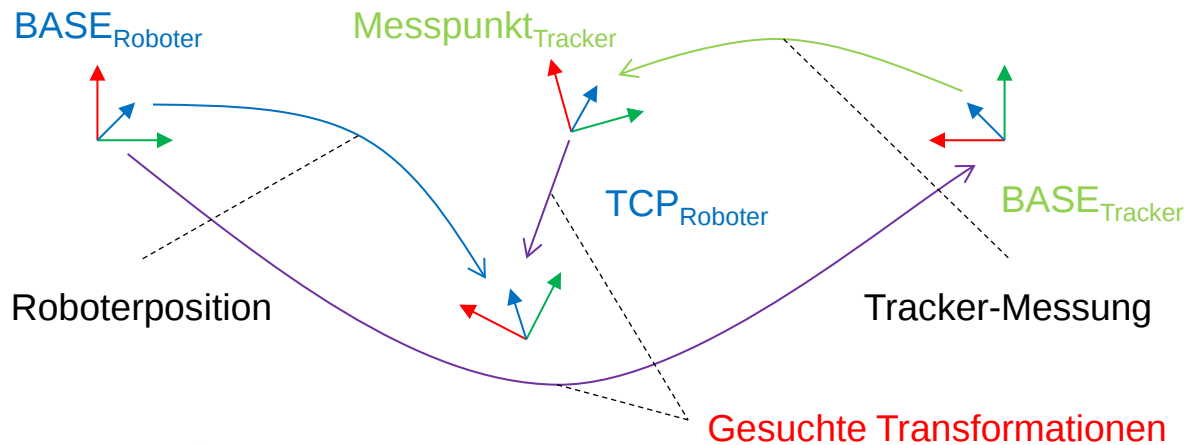
Transformationsbestimmung 1/2

- Grundproblem:

Roboter und Tracker „denken“ in unterschiedlichen Bezugskoordinatensystemen

→ genauer: Roboter bezieht seine Koordinaten auf Base und TCP

→ und: Lasertracker bezieht seine Messung an Probe in Referenz-KOS



Transformationsbestimmung 2/2

- Algorithmus:

Bestimmung der (invertierbaren)

Transformationen durch 2-stufiges Verfahren:

1. $T: \text{Messpunkt}_{\text{Tracker}} \rightarrow \text{TCP}_{\text{Roboter}}$
mittels genetischem Algorithmus
2. $T: \text{BASE}_{\text{Tracker}} \rightarrow \text{BASE}_{\text{Roboter}}$
mittels Singular Value Decomposition

- Input:

mind. 3 (besser: > 10) korrespondierende (d.h. an gleichen Punkten u. in gleicher Reihenfolge) Messungen

Links: Roboterdaten (.dat File), Rechts: Messdaten Lasertracker

Results

Transform rob to ref: $\begin{bmatrix} 4946.1082043 & 262.69777206 & -643.60892612 \end{bmatrix}$

Rotation rob to ref: $\begin{bmatrix} -0.065978981827 & -0.20770994189 & 172.841477513 \end{bmatrix}$

Transform ref to rob: $\begin{bmatrix} 4877.11925109 & 876.2879382 & 626.94194134 \end{bmatrix}$

Rotation ref to rob: $\begin{bmatrix} -0.0913489544664 & -0.197868715627 & -172.841200184 \end{bmatrix}$

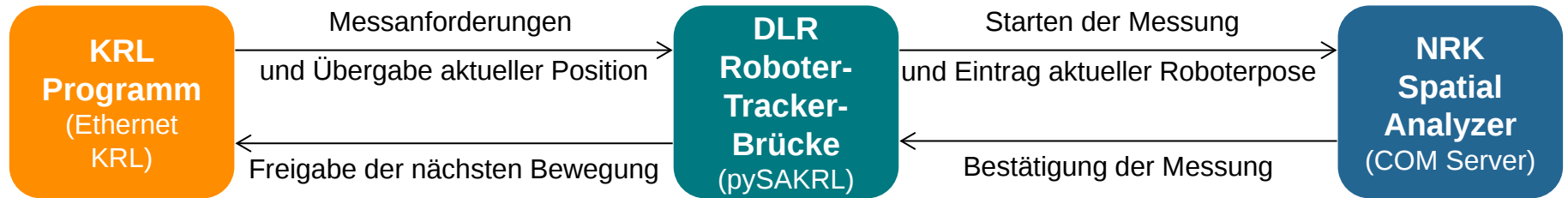
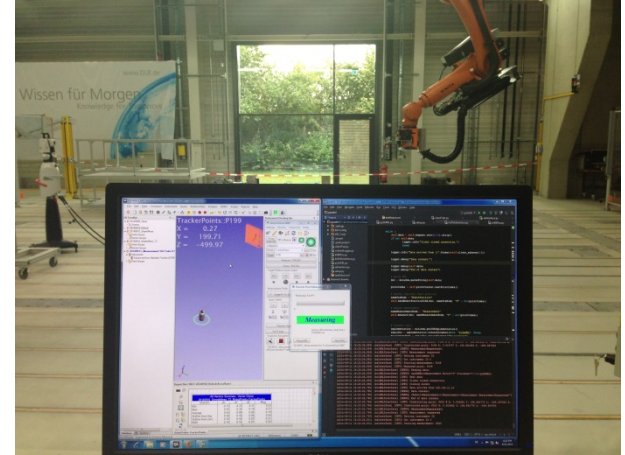
Transform tcp: $\begin{bmatrix} 211.3154579416464 & 0.041318174708850075 & 139.0566586235082 \end{bmatrix}$

Min error: 0.219411902522

Ergebnis der Transformationsberechnung

Automatische Messung

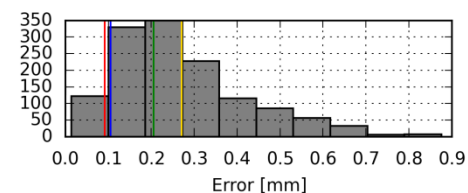
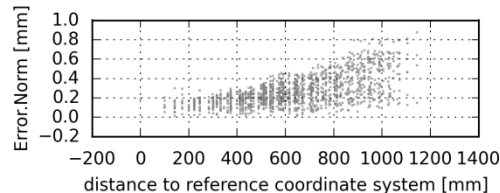
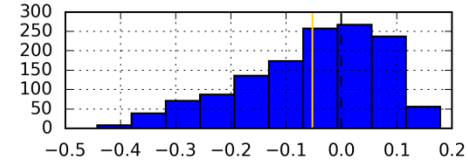
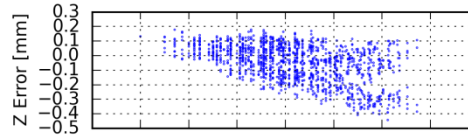
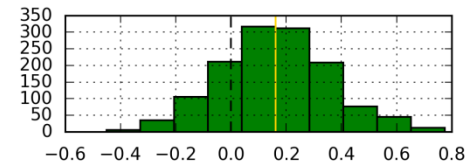
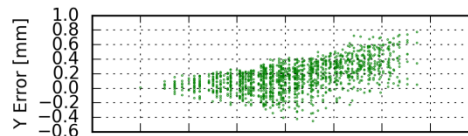
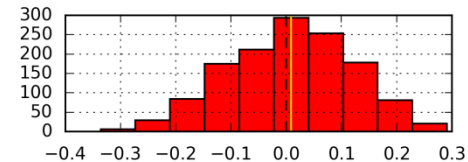
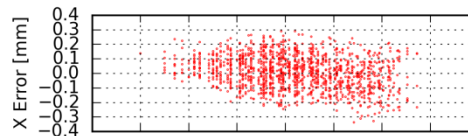
- Aufgrund sehr vieler Messpunkte (> 1000 pro Messung) automatische Messung notwendig
- **Funktionalität:**
Automatisches Auslösen einer Messung in Spatial Analyzer aus dem Roboterprogramm



Ergebnisse: ISO Kubus Zentralroboter

- 1331 Messpunkte
- Anfahrt: LIN, 0.2 m/s
- Mittlere Genauigkeit: ± 0.27 mm

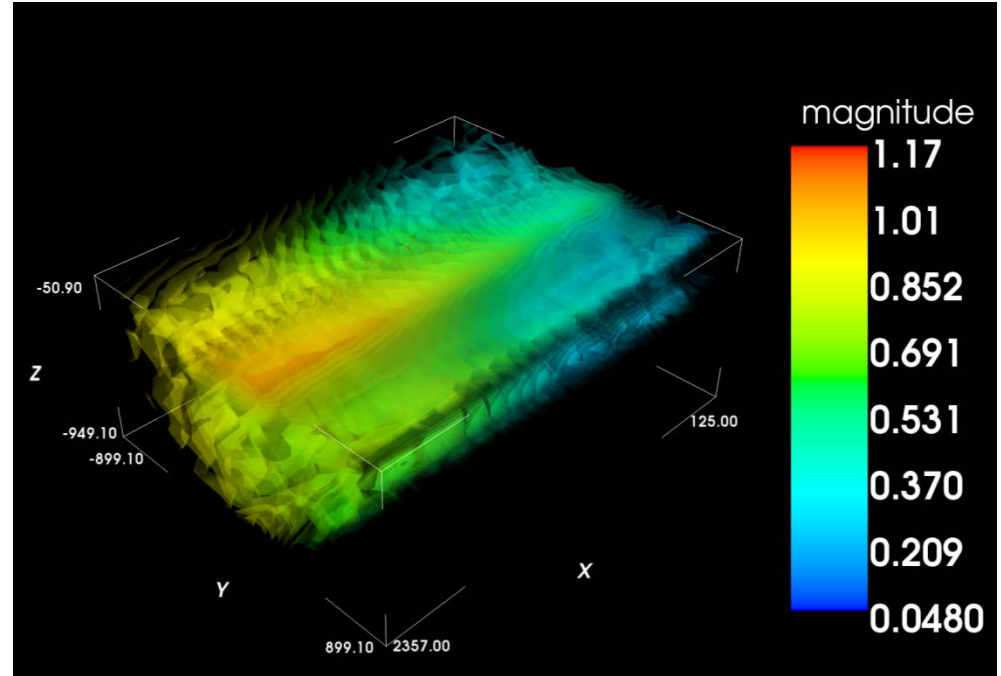
	AbsErr_X	AbsErr_Y	AbsErr_Z	AbsErr_Norm
count	1331	1331	1331	1331,00
mean	0,01	0,16	-0,05	0,27
std	0,11	0,20	0,13	0,15
min	-0,34	-0,45	-0,44	0,01
25%	-0,07	0,03	-0,13	0,16
50%	0,01	0,16	-0,03	0,24
75%	0,09	0,29	0,05	0,35
max	0,29	0,77	0,18	0,88



Ergebnis: Demopanel Zentralroboter 1/2



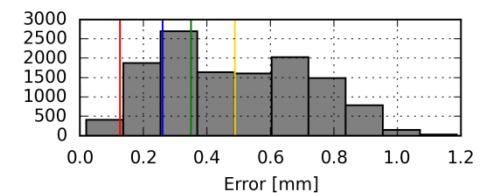
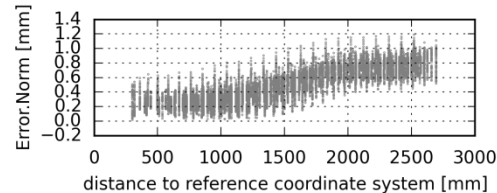
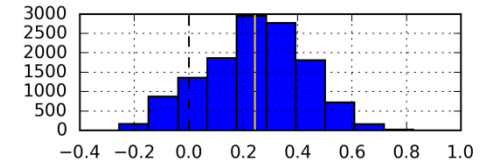
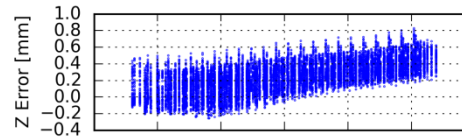
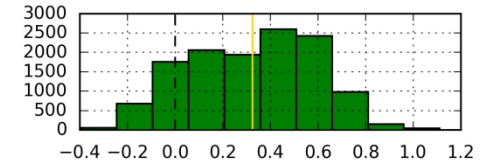
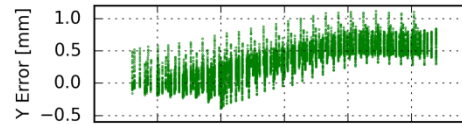
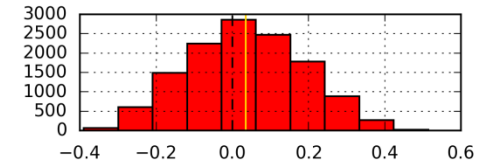
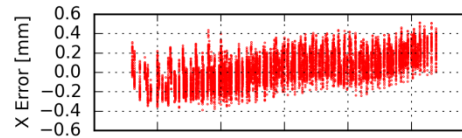
Anwendungsnahe Fall:
Arbeitsvolumen entspricht Kavität des
Demopanel



Ergebnis: Demopanel Zentralroboter 2/2

- 12687 Messpunkte
- Anfahrt: PTP, 30%
- Mittlere Genauigkeit: ± 0.49 mm

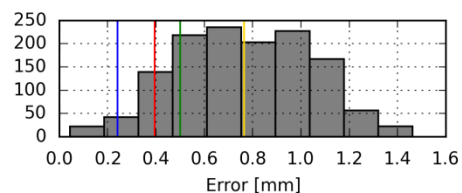
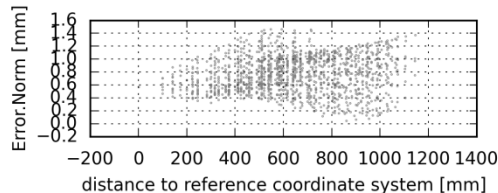
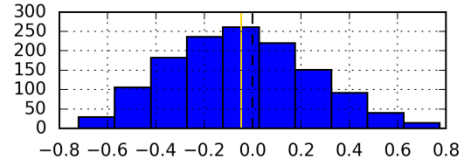
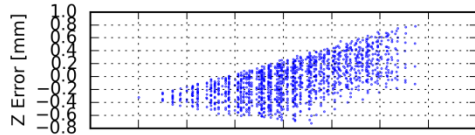
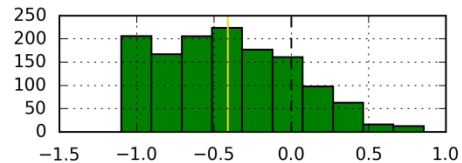
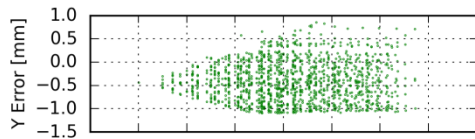
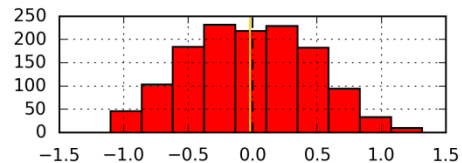
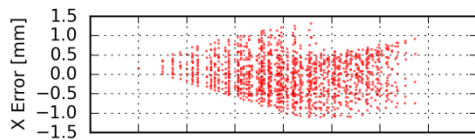
	AbsErr_X	AbsErr_Y	AbsErr_Z	AbsErr_Norm
count	12687	12687	12687	12687
mean	0,04	0,32	0,24	0,49
std	0,15	0,26	0,18	0,23
min	-0,39	-0,40	-0,26	0,02
25%	-0,07	0,11	0,12	0,29
50%	0,03	0,35	0,25	0,47
75%	0,14	0,53	0,37	0,68
max	0,51	1,11	0,83	1,19



Ergebnis: ISO Kubus Portal

- 1331 Messpunkte
- Anfahrt: LIN, 0.3 m/s
- Mittlere Genauigkeit: ± 0.77 mm

	AbsErr_X	AbsErr_Y	AbsErr_Z	AbsErr_Norm
count	1331	1331	1331	1331
mean	-0,02	-0,41	-0,05	0,77
std	0,48	0,43	0,29	0,27
min	-1,10	-1,10	-0,72	0,04
25%	-0,38	-0,75	-0,26	0,55
50%	-0,02	-0,44	-0,06	0,76
75%	0,33	-0,10	0,15	0,98
max	1,32	0,86	0,77	1,46



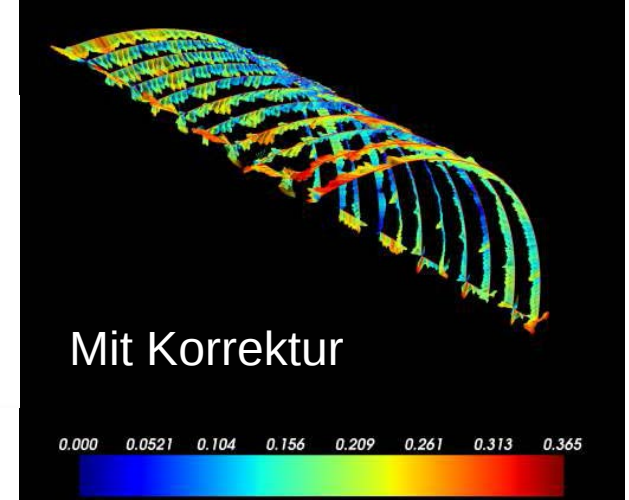
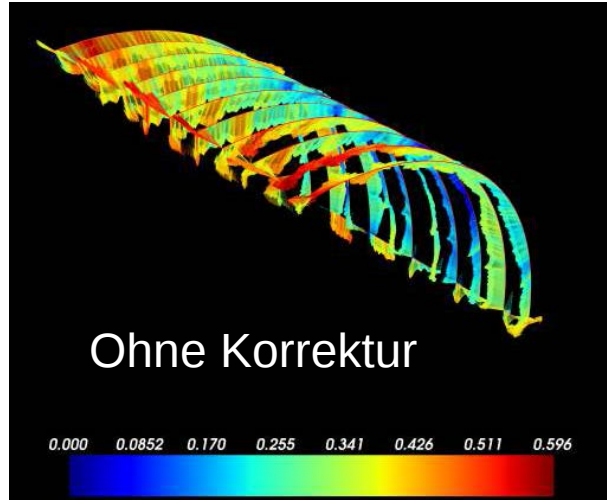
Auswertung & Diskussion

		AbsErr_X	AbsErr_Y	AbsErr_Z	AbsErr_Norm
ISO Kubus Zentralroboter	mean	0,01	0,16	-0,05	0,27
Demopanel	mean	0,04	0,32	0,24	0,49
ISO Kubus Portal	mean	-0,02	-0,41	-0,05	0,77

- Zentraler Roboter kann mittlere Genauigkeiten von $\pm 0,27$ mm darstellen
Jedoch: Mit steigender Entfernung zur Base verschlechtert sich die Genauigkeit
 - Effekt nicht anlagenspezifisch und muss bei der Umsetzung von Prozessen berücksichtigt werden → Toleranzmanagement
- Portale zeigen starken Deformationseffekt in Anlagen-Y (quer zur MFZ)
→ Modellbasierte Kompensation



Ausblick: MAI ZPR



- Seit Oktober 14 laufendes Projekt im MAI Cluster zum Thema Bearbeitung
- Zentraler Bestandteil: Online Bahnführung zur Bahnregelung
- Auszug vorläufige Ergebnisse:
Genauigkeit auf Bahn: **0.29 mm** – mit Bahnführung **0.15 mm** (bei 125 mm/s)



Danksagung

- Allen **Mitarbeitern und Kollegen**, die an den Projekten AZIMUT, Demopanel, KOFFER (und weiteren kleinen Versuchen) mitgewirkt haben
- **Unseren Partnern :**
beim Aufbau der MFZ und in MAI ZPR: **KUKA Systems GmbH**
in den Projekten AZIMUT: **Premium Aerotec**
und KOFFER: **MT Aerospace**
- **Unseren Fördergebern:**
Stadt Augsburg,
Regierung von Schwaben, BMWi und BMBF

KUKA



Stadt
Augsburg



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

