

IDENTIFIKATION VON EINZELTEILEN IN BAUGRUPPEN PER 3D-SCAN UND GEOMETRISCHE ÄHNLICHKEITSSUCHE



14. INDUSTRY-FORUM
19. & 20. FEBRUAR 2013 | AUGSBURG

Dipl.-Ing. Hendrik Grosser
B. Sc. Friedrich Politz

Prof. Dr. Ing. Rainer Stark
Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik (IPK)



DQS-zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001 © Fraunhofer

ÜBERSICHT



- **Kurzvorstellung Fraunhofer IPK**
- **Bedarf nach 3D-Modellen**
- **Forschungsprojekte und Anwendungsfälle**
- **Testreihen und Ergebnisse**
- **Zukunftspotentiale und Ausblick**

Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) im Überblick

Zwei Institute unter einem Dach



Unternehmensmanagement



Virtuelle
Produktentstehung



Produktionssysteme



Füge- und
Beschichtungstechn



Automatisierungste



Qualitätsmanagemen



Medizintechnik

PTZ Berlin



Montagetechnik und
Fabrikbetrieb



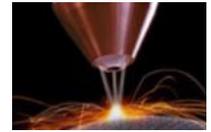
Industrielle
Informationstechnik



Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik



Füge- und
Beschichtungstechnik



Industrielle
omatisierungstechnik



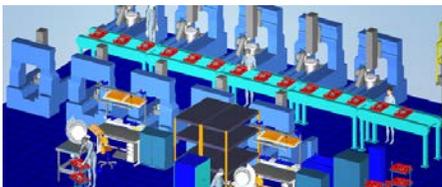
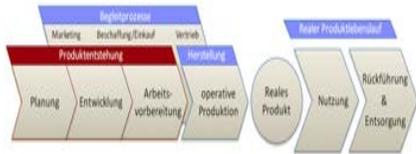
Qualitätswissenschaft



© Images: Fraunhofer IPK (various photographers); BAM; Trumpf; Bernhard Manfred/Stock-4B_RF

Bereich Virtuelle Produktentstehung

Forschungsfelder



1. Produktentwicklungsmethoden und -prozesse

Analyse und Synthese von Produktentstehungsprozessen sowie Teilprozessen aus methodischer und organisatorischer Sicht

2. Produktgestaltung und funktionale Absicherung

Modellierung von Produkteigenschaften und -merkmalen (Anforderungen, Strukturen, Funktionen, Geometrieerstellung, -verarbeitung und -reparatur, Qualität digitaler Daten, ...)

3. Intuitive Interaktion mit virtuellen Prototypen

Kontextsensitive Bereitstellung von Informationen für die unterschiedlichen Szenarien und Akteure in der Produktentstehung (Entwickler, Planer, Manager, Analysten etc.)

4. Informationsmanagement für die Produktentstehung

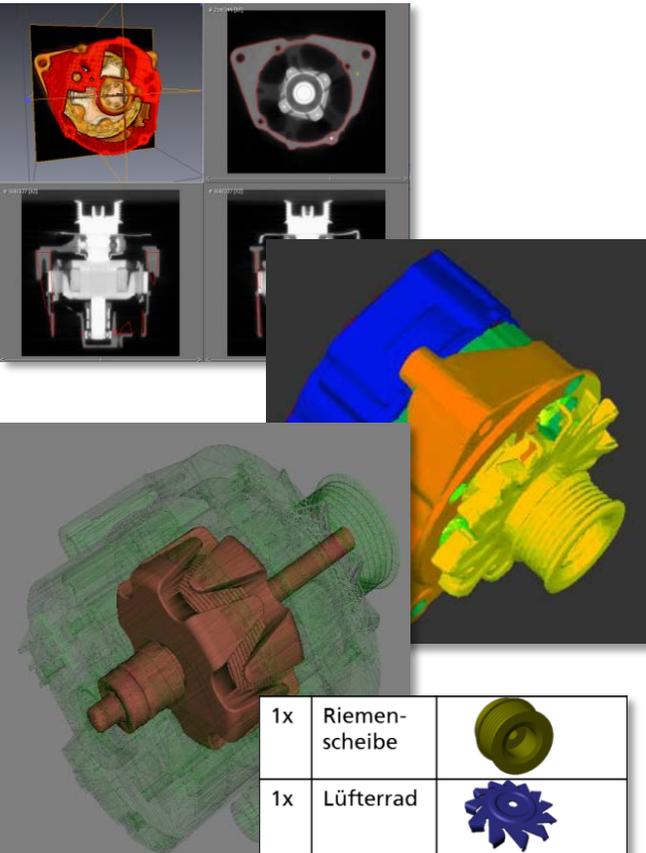
Erfassung, Verwaltung, Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen, die im Produktlebenslauf generiert und in der Produktentstehung genutzt werden

5. Methoden der digitalen Fertigungs- und Fabrikprozesse

Modellierung von Fertigungsprozesseigenschaften und -merkmalen (Produkt, Fertigungs-/Montageprozess, Betriebsmittel, Fabriklayout, ...) im Rahmen der Produktentstehung und phasenbezogener Abgleich der jeweils abgebildeten Prozesse mit den definierten Zielsetzungen.

Schwerpunkt Reverse Engineering

3D-Scandatenverarbeitung



1x	Riemenscheibe	
1x	Lüfterrad	
1x	Generatorgehäuse	
1x	Lagerschild	
...

Einsatzbereiche

- Inspektion (3D-Vermessung, Soll-Ist-Vergleich)
- Ersatzteilerfertigung (z. B. Rapid Manufacturing)
- Reengineering (Überarbeitung von älteren Bauteilen)
- Qualitätssicherung (Soll-Ist-Vergleich)

Herausforderungen

- 3D-Modelle sind entweder nicht vorhanden oder spiegeln nicht den aktuellen Produktzustand wieder
- Fehlende Produktdokumentation (Stücklisten, Produktstruktur, Schaltplan, Wartungshistorie)
- Fehlende Standards bei Reverse Engineering-Prozessen

Eigene Aktivitäten und Lösungsentwicklungen

- Entwicklung von Prozessen und Software zum Reverse Engineering von mechanischen und elektronischen Produkten
- Automatisierte Geometrieanalyse und Verarbeitung
- Studien zum Einsatz von 3D-Scanning-Technologien

ÜBERSICHT



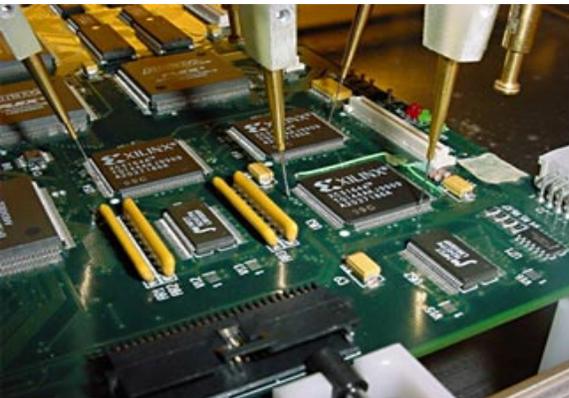
- Kurzvorstellung Fraunhofer IPK
- **Bedarf nach 3D-Modellen**
- Forschungsprojekte und Anwendungsfälle
- Testreihen und Ergebnisse
- Zukunftspotentiale und Ausblick

Ausgangssituation

Bedarf nach 3D-Modellen



Dampfturbine (Bildquelle: Siemens)



Flying Probe Test (Bildquelle: SQC)

Steigende Anforderungen in der Instandhaltung

- Produktkomplexität und Variantenvielfalt
- Unvorhersehbare Fehler und Ausfälle

Fehlende Daten und Informationen (Fremdinstandhaltung)

- OEMs halten Produktinformation zurück, um Ihre IP zu wahren
- Aktueller Produktzustand oftmals unbekannt
- Service Provider arbeiten ohne Zugang zu 3D-Modellen, Stücklisten, Schaltplänen und anderen technischen Unterlagen

Wenige Standards und hohe manuelle Aufwände

- Erfahrungswissen ist sehr wichtig
- Geringer Automatisierungsgrad ("Trouble Shooting")

Kenntnis des Ist- und Sollzustands ist fundamental für eine robuste Planung, Durchführung und Automatisierung von MRO-Prozessen

Lösung: 3D-Scanning und Reverse Engineering

Bedarf nach 3D-Modellen



Inspektion/Befundung

- Soll-Ist-Vergleich
- Instandhaltungsplanung

Qualitätssicherung

- Prüfung von Zukaufteilen

Reengineering/Remanufacturing/Retrofit

- Modifikation der Geometriedaten
- „Hineinkonstruieren“ in bestehende Strukturen

Fertigung

- Eigenproduktion von Ersatzteilen
- Obsoleszenzmanagement

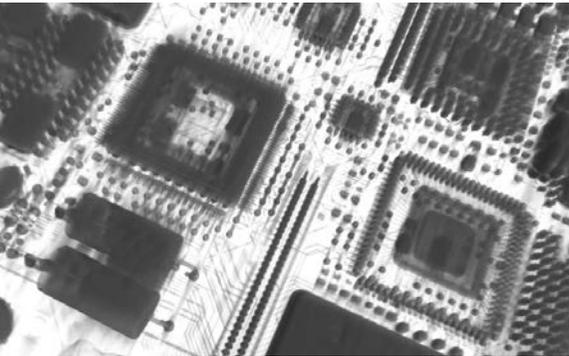
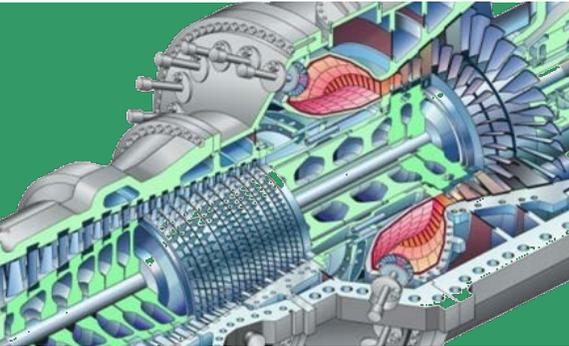
Branchen

- Turbomaschinen (Gas- und Dampfturbinen, Flugzeugtriebwerke)
- Transport (z. B. Luft und Schiene)
- Anlagenbau
- Werkzeugmaschinen
- Motoren

Bildquelle: Power-technology.com, Hommel, MAN

Herausforderungen des Reverse Engineerings

Bedarf nach 3D-Modellen



Bildquellen: GOM, Siemens, Fraunhofer IPK

Auswahl der richtigen Technologie

- Rasante Entwicklung von 3D-Scannern
- Komplexe Postprocessing-Software

Einsparung des Demontageaufwandes

- In-Situ 3D-Scans von Einzelteilen
- Identifikation von Einzelteilen

Ermittlung der Produktstruktur

- Konfigurations- und Änderungsmanagement in PDM-Systemen

Standardprozess vom Scan zur Fertigung (CAD/CAM)

- Schnelle Parametrisierung
- Rückschluss auf Sollgeometrie

Rekonstruktion von Schaltplänen

- Geringer Automatisierungsgrad
- Fehlerbehaftete Ergebnisse aktueller RE-Verfahren

ÜBERSICHT



- Kurzvorstellung Fraunhofer IPK
- Bedarf nach 3D-Modellen
- **Forschungsprojekte und Anwendungsfälle**
- Testreihen und Ergebnisse
- Zukunftspotentiale und Ausblick

Zustandsbasierte Digitalisierung für MRO-Prozesse

Projekt COSDIMRO



Abteilungsübergreifend,
Entwicklungsprojekt



Laufzeit: 12.2009 – 05.2012

Bildquellen: Siemens, MAN

Inhalt

- Entwicklung einer Reverse Engineering Prozesskette zur automatisierten Generierung von dreidimensionalen Baugruppenmodellen von langlebigen Investitionsgütern
- Realisierung der informationstechnischen Weiterverwendung der Modelle in MRO-Planungs- und -unterstützungssystemen

Problemstellung

- Instandhaltungsplanung erfordert bei unbekanntem Produktzustand einen aufwändigen Diagnoseprozess
- Eingeschränkte Automatisierungsmöglichkeiten aufgrund nicht vorhandener oder nicht aktueller Produktmodelle

Lösungsansatz

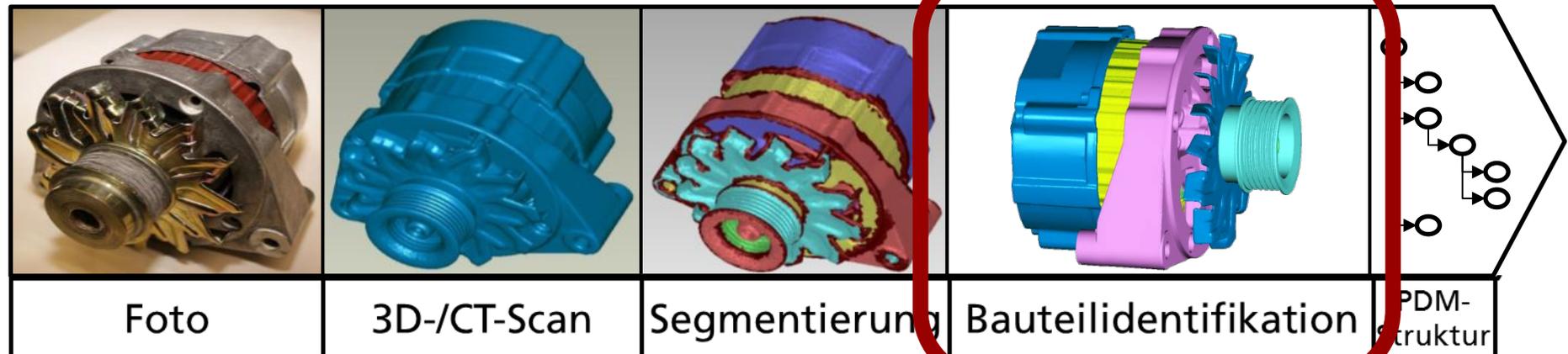
- 3-D-Scan von Produkten
- Identifikation von Einzelteilen in dem digitalen Modell
- Ableitung der Produktstruktur
- Herstellung der Datenkompatibilität für IT-Systeme

Prozess zur Digitalisierung von Baugruppen

Projekt COSDIMRO

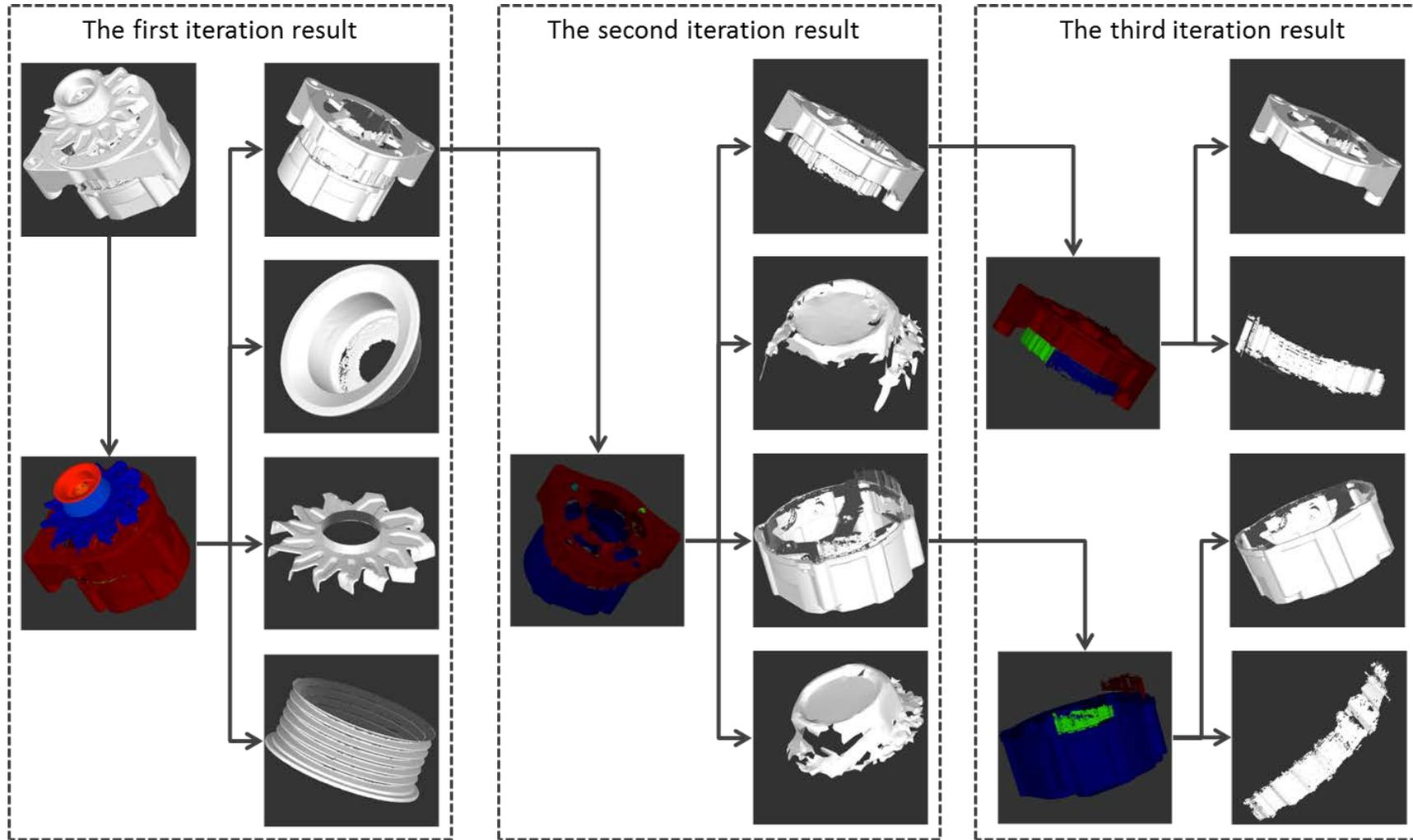
- Entwicklung und prototypische Implementierung eines RE-Verfahrens zur effektiven und effizienten Unterstützung von Maintenance, Repair & Overhaul (MRO)-Prozessen
- Teilautomatisierte Generierung digitaler Modelle von komplexen Produkten und Anlagen
- Identifikation von Bauteilen und Baugruppen sowie Ihrer Beziehungen
- Ableitung von Produktstrukturen zur Verwaltung in PDM-Systemen

Beispiel: PKW-Lichtmaschine



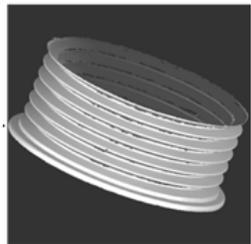
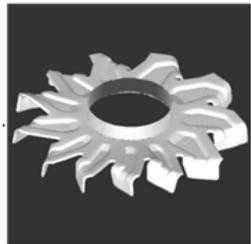
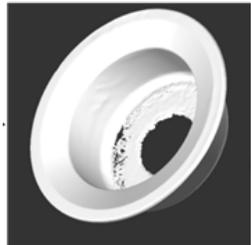
Segmentierungsergebnisse

Projekt COSDIMRO

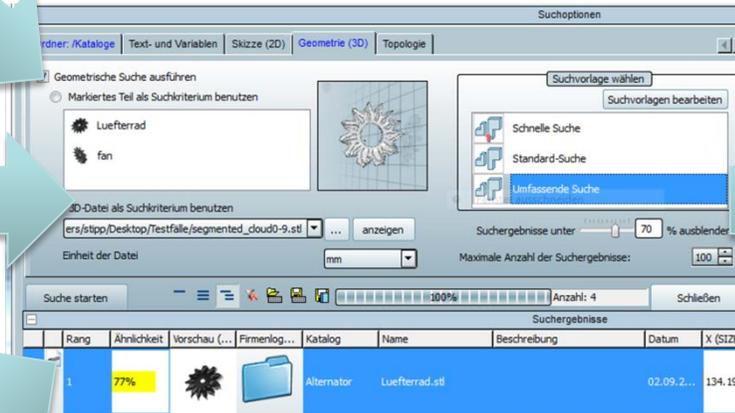


Bauteilidentifikation

Projekt COSDIMRO



Segmentierte
Teile



Geometrische Ähnlichkeitssuche
mit CADENAS PARTsolutions



1x	Belt Pulley	
1x	Fan Impeller	
1x	Generator Housing	
1x	Bearing Shield	
...

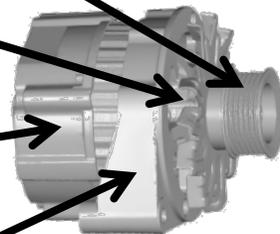
Identifizierte Teile aus der Datenbank

Baugruppenrekonstruktion

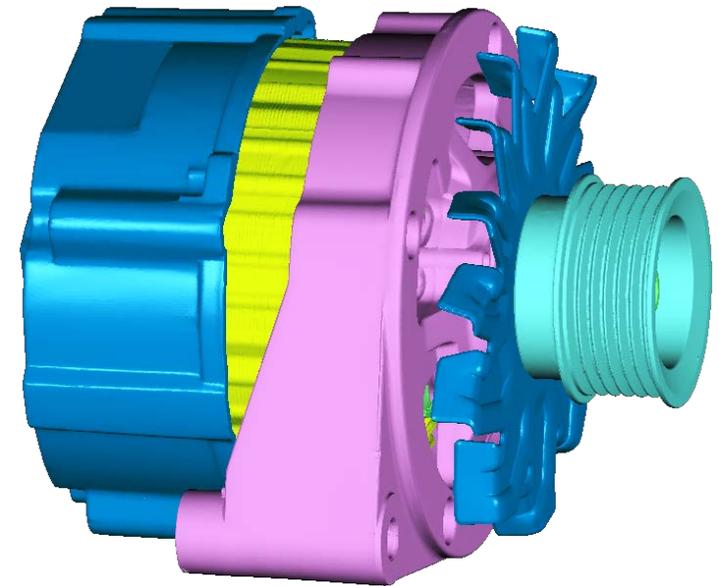
Projekt COSDIMRO

1x	Belt Pulley	
1x	Fan Impeller	
1x	Generator Housing	
1x	Bearing Shield	
...

Identifizierte Teile aus der Datenbank



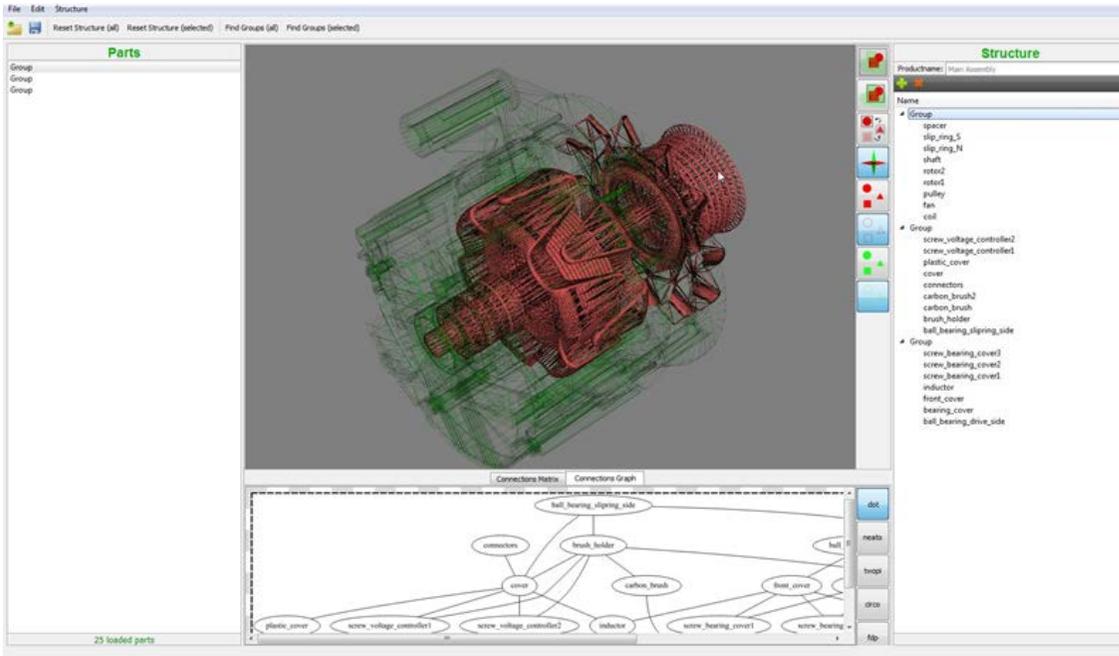
Einzelteil-referenzierung anhand der Scandaten



Rekonstruiertes Baugruppenmodell

Ableitung der Produktstruktur

Projekt COSDIMRO



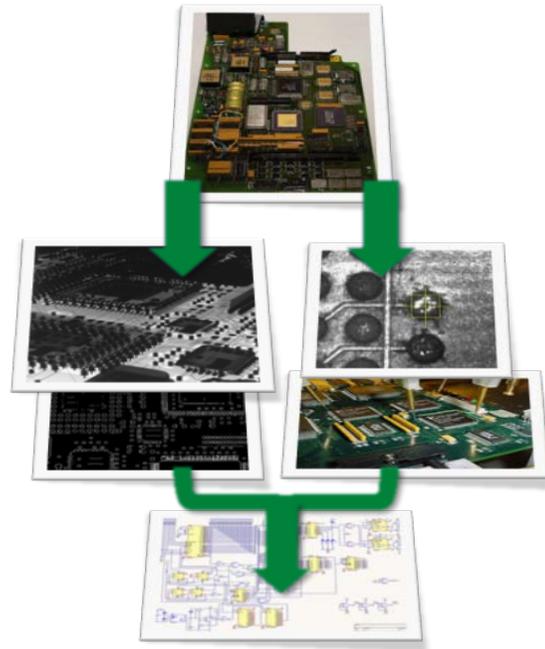
GUI des Produktstrukturgenerators

Entwicklung eines „Produktstrukturgenerators“

- Import von Baugruppenmodellen (Einzelteile im STL-Format)
- Kontaktstellenanalyse der Einzelteile mit graphentheoretischen Ansätzen → Kontaktgraph
- Vorschlag für eine Produktstruktur
- Manuelle Nachbearbeitung möglich
- Visuelle Unterstützung des Nutzers durch integrierte GUI

Automatisierte Rekonstruktion von Schaltplänen

Projekt LangzEl



Auftraggeber:



Laufzeit: 01.2010 – 05.2011

Inhalt

- Automatisierte Generierung von Schaltplänen für elektronische Baugruppen zur MRO-Unterstützung

Problemstellung

- Wichtige Informationen für die Instandhaltung elektronischer Baugruppen sind nicht verfügbar (Hersteller liefert keine oder existiert nicht mehr)
- Manuelle Ermittlung der benötigten Informationen ist sehr aufwändig

Lösungsansatz

- Analyse und experimentelle Anwendung optischer und elektrischer RE-Verfahren zur Informationsgewinnung
- Erfassung der Lage von elektronischen Bauelementen (EBs) und Bestimmung der Zusammenhänge
- Zusammenführung der benötigten Informationen in einem ECAD-Programm und Erstellung der Schaltpläne

Hauptphasen des Prozesses

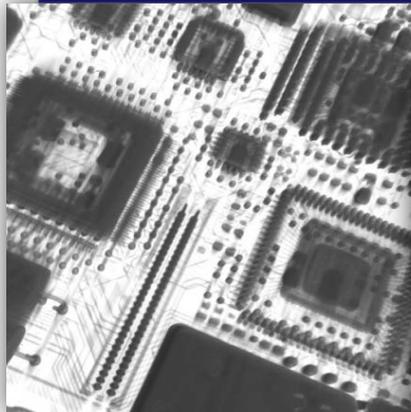
Projekt LangzEI

Optisch unterstützte RE-Prozesskette

CT Scan

1

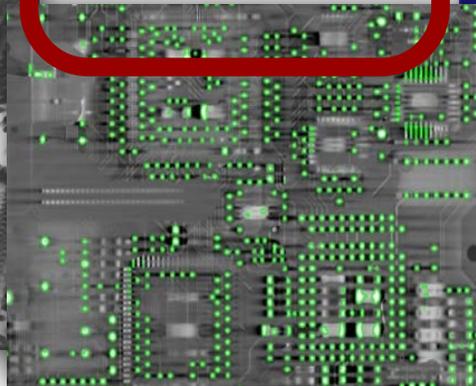
Voxeldatensatz mit
dichteabhängigen
Grauwerten



Strukturen
identifizieren

2

Segmentierung von
Bauteilen, Pins und
Leiterbahnen sowie
Datenbank-abgleich



Netzliste
generieren

3

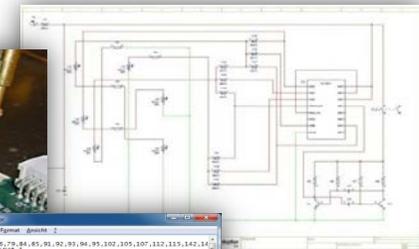
Optische
Überprüfung einer
Flying Prober-
Netzliste sowie
Anreicherung mit
Informationen



Pläne
erstellen

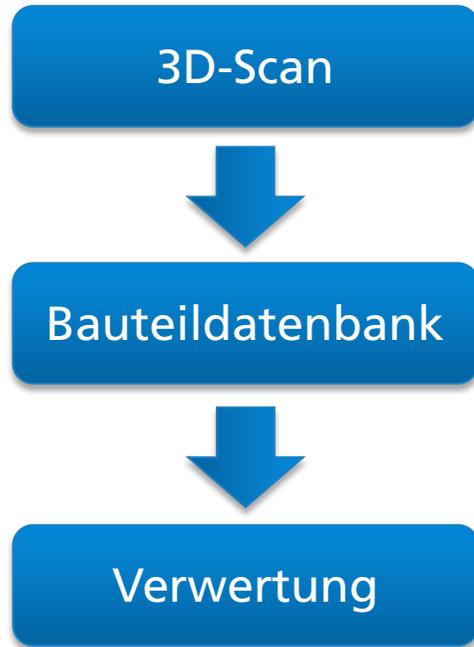
4

Modellierung der
Netzlisten-
information mittels
ECAD-System



Anwendungsfälle für die Geometrische Ähnlichkeitssuche

Voraussetzung: 3D-Scandaten und Bauteilkatalog



Inspektion

- Durchführung von Soll-Ist-Vergleichen

Aufarbeitung

- Oberflächenbehandlung und Herstellung des Originalzustandes

Einsatz von Ersatzteilen

- 3D-Vermessung zur Auswahl von passenden Ersatzteilen

Reengineering

- Schneller Aufbau von originären Baugruppenmodellen
- Passgenaue Überarbeitung von Komponenten

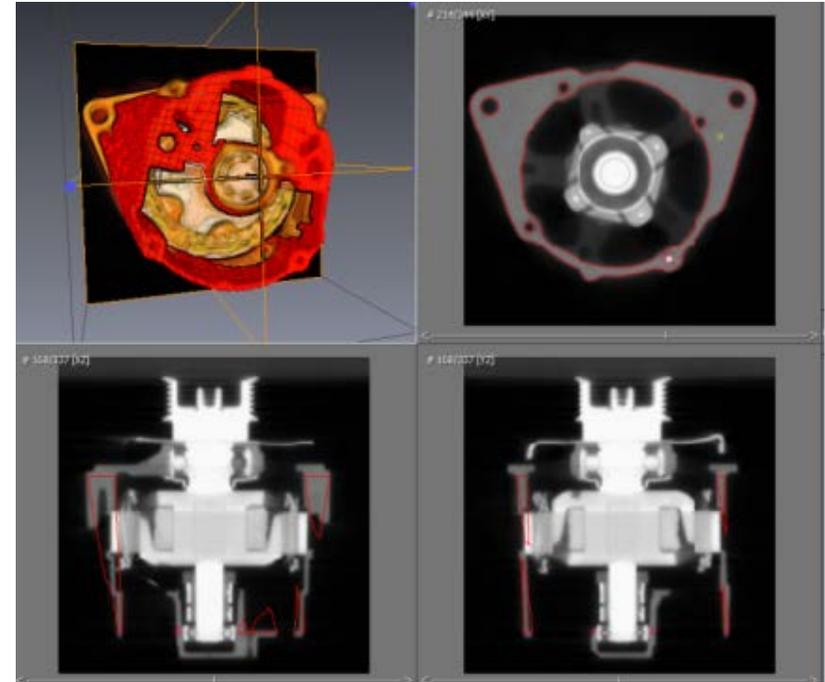
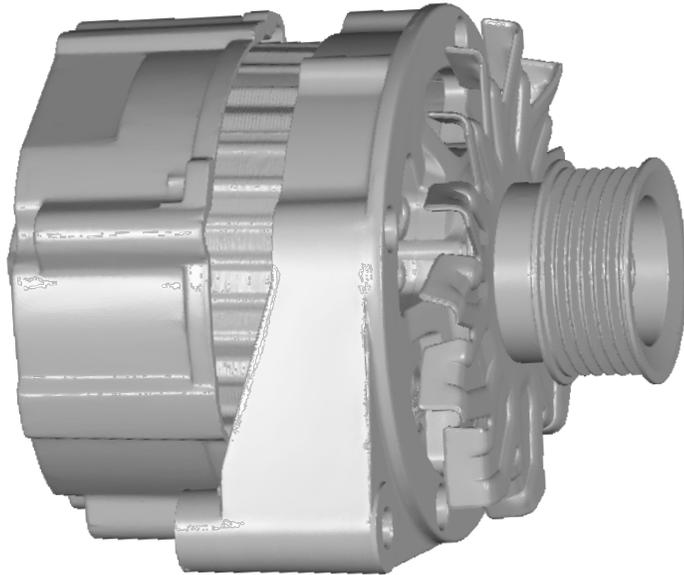
ÜBERSICHT



- Kurzvorstellung Fraunhofer IPK
- Bedarf nach 3D-Modellen
- Forschungsprojekte und Anwendungsfälle
- **Testreihen und Ergebnisse**
- Zukunftspotentiale und Ausblick

Testdaten

Erfassung mit Streifenlicht-Scanner und Computertomographie



- 3D-Scan mit GOM ATOS III Streifenlicht-Scanner
- STL Datei (Polygonmodell)

- Scan mit Röntgensystem der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Vollständige, durchdringende Erfassung des gesamten Modells

Vorbereitungen

Entwicklung des Testfalls

- Anlage eines Bauteilkatalogs mit CADENAS PARTsolutions
- Streifenlichtscan von 8 exemplarischen Bauteilen der Lichtmaschine

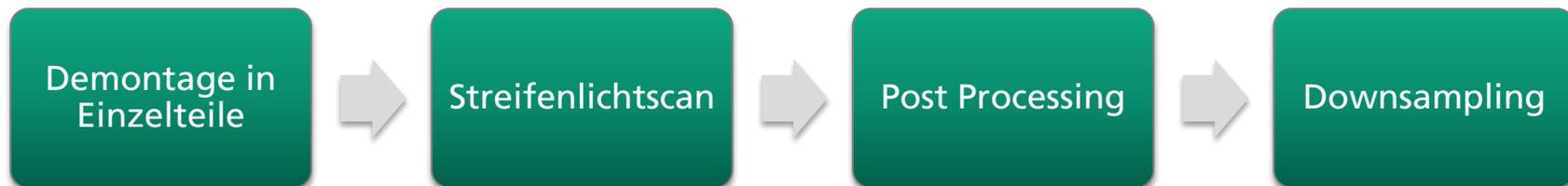
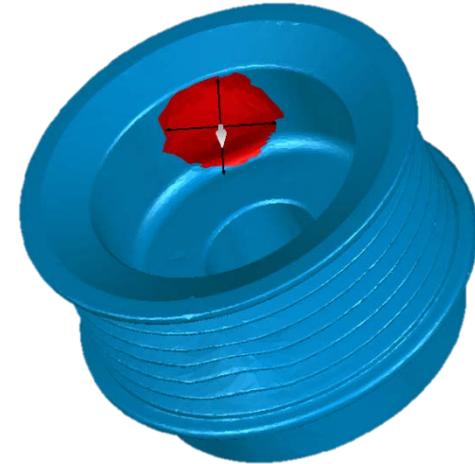


- Neues „Schnelle Suche“-Suchprofil, das schlechte Oberflächentopologie akzeptiert

Testreihe 1

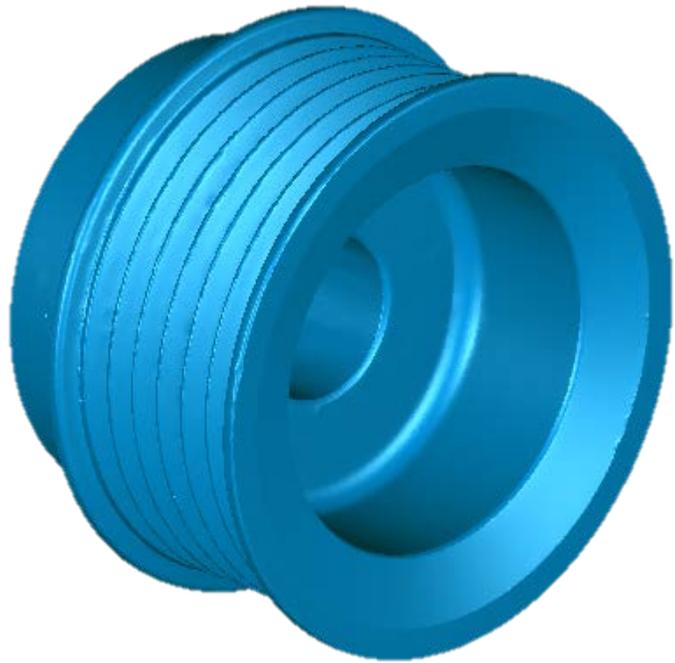
Vorbereitung

- Streifenlicht-Scan mit GOM ATOS III
- Bauteile wurden vollständig ausgebaut und komplett eingescannt
- Absichtliche digitale Verformung der Bauteile, um Gebrauchszustand zu simulieren
- Downsampling (Reduktion) auf 100k Flächen
- Schwellenwert der Suche auf 70%, Suche über alle Kataloge (PN – EN – ISO & Normteile)



Teile aus Testreihe 1

Detailansicht



Testreihe 1

Ergebnisse

Make or Buy Report

Übersicht | **Ergebnisse**

Suchteile: D:/PartSolutions-Katalog/Test für CIF/search
2 von 2 Teilen (100%) haben Treffer geliefert
Vergleichsteile: cat



1.



Katalog: Alternator
Bezeichnung: Riemenscheibe_AyM
Norm-Nummer: Riemenscheibe_AyM.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: p2_deformed
Bezeichnung: p2_deformed
Norm-Nummer: p2_deformed
Norm-Titel: p2_deformed

2.



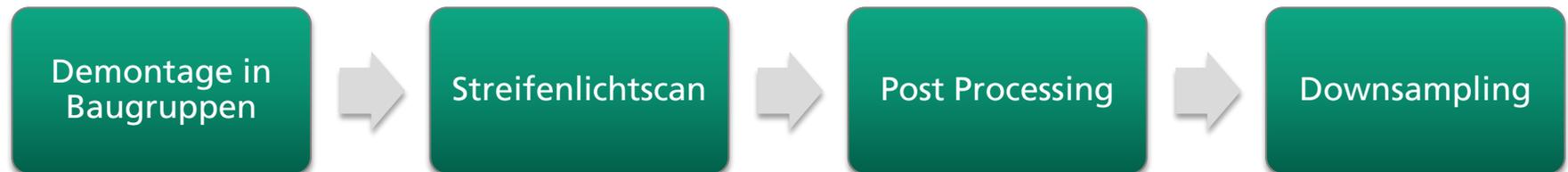
Katalog: Alternator
Bezeichnung: Luefterrad_1.5_lochfrei
Norm-Nummer: Luefterrad_1.5_lochfrei.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: p1_deformed
Bezeichnung: p1_deformed
Norm-Nummer: p1_deformed
Norm-Titel: p1_deformed

Testreihe 2

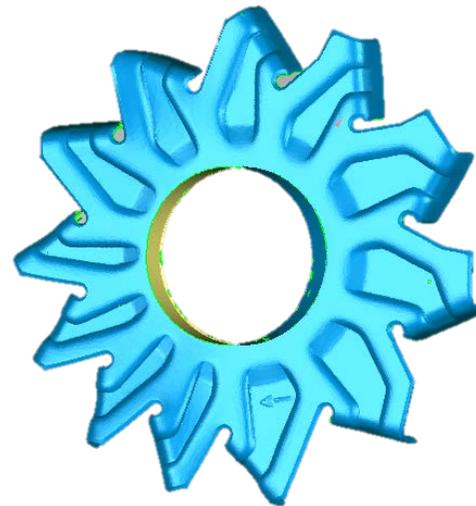
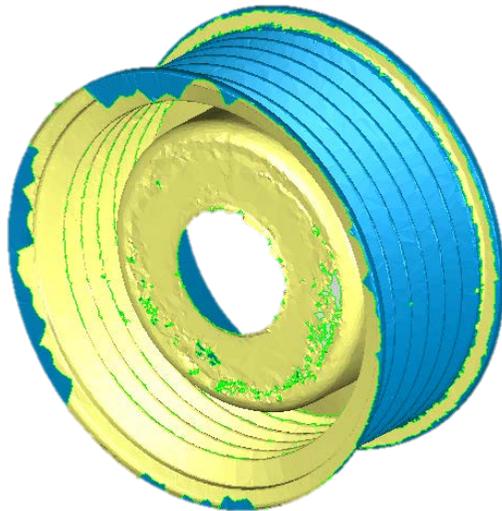
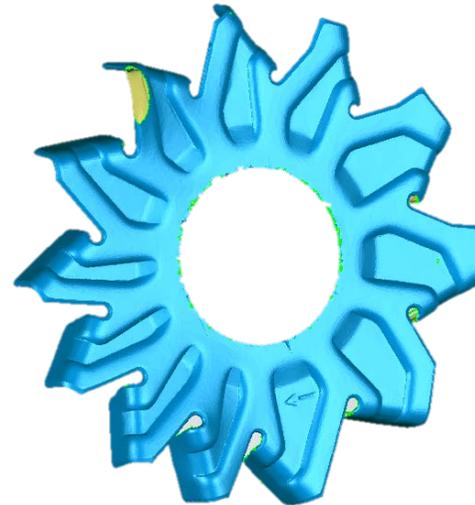
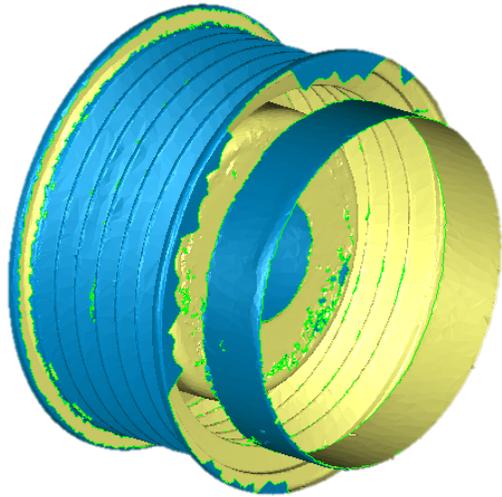
Vorbereitung

- Streifenlicht-Scan mit GOM ATOS III
- Lichtmaschine wurde in zwei Stufen zerlegt und gescannt (30 Minuten)
- Einzelteile sind nicht komplett sichtbar
- Testreihe 2a
 - Zerschneiden von gescannten Baugruppen in Einzelteile
- Testreihe 2b
 - Automatische Segmentierung des Scans durch Algorithmus
- Downsampling auf 100k Flächen
- Schwellenwert der Suche auf 70%, Suche über alle Kataloge



Teile aus Testreihe 2a und 2b

Detailansicht



Testreihe 2a

Ergebnisse

Make or Buy Report

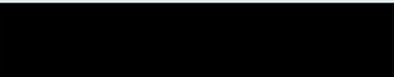
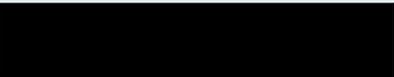
Übersicht | **Ergebnisse**

Suchteile: D:/PartSolutions-Katalog/Test für CIF/search_t2
2 von 2 Teilen (100%) haben Treffer geliefert
Vergleichsteile: cat



1.

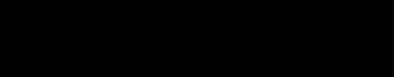
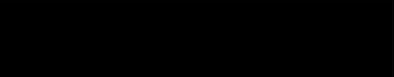


Katalog: Alternator
Bezeichnung: Luefterrad_1.5_lochfrei
Norm-Nummer: Luefterrad_1.5_lochfrei.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: t2_segment
Bezeichnung: t2_segment
Norm-Nummer: t2_segment
Norm-Titel: t2_segment

2.



Katalog: Alternator
Bezeichnung: Riemenscheibe_AyM
Norm-Nummer: Riemenscheibe_AyM.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: t1_segment
Bezeichnung: t1_segment
Norm-Nummer: t1_segment
Norm-Titel: t1_segment

Testreihe 2b

Ergebnisse

Fehl-
identifikation

Make or Buy Report

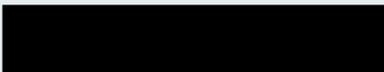
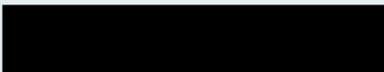
Übersicht | **Ergebnisse**

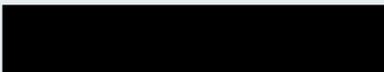
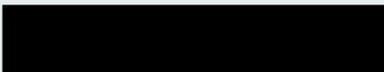
Suchteile: D:/PartSolutions-Katalog/Test für CIF/search_t4/2
2 von 2 Teilen (100%) haben Treffer geliefert
Vergleichsteile: cat



1.

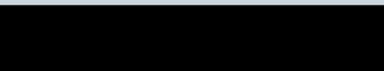
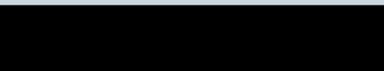


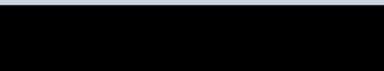
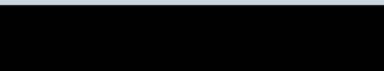
Katalog: Alternator
Bezeichnung: Gehaeuse_2_111007_DeS
Norm-Nummer: Gehaeuse_2_111007_DeS.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: Alternator
Bezeichnung: Gehaeuse_2_111007_DeS
Norm-Nummer: Gehaeuse_2_111007_DeS.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

2.



Katalog: Alternator
Bezeichnung: Luefterrad_1.5_lochfrei
Norm-Nummer: Luefterrad_1.5_lochfrei.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Katalog: Alternator
Bezeichnung: Luefterrad_1.5_lochfrei
Norm-Nummer: Luefterrad_1.5_lochfrei.stl
Norm-Titel: 
Übereinstimmung: 

Testreihe 3

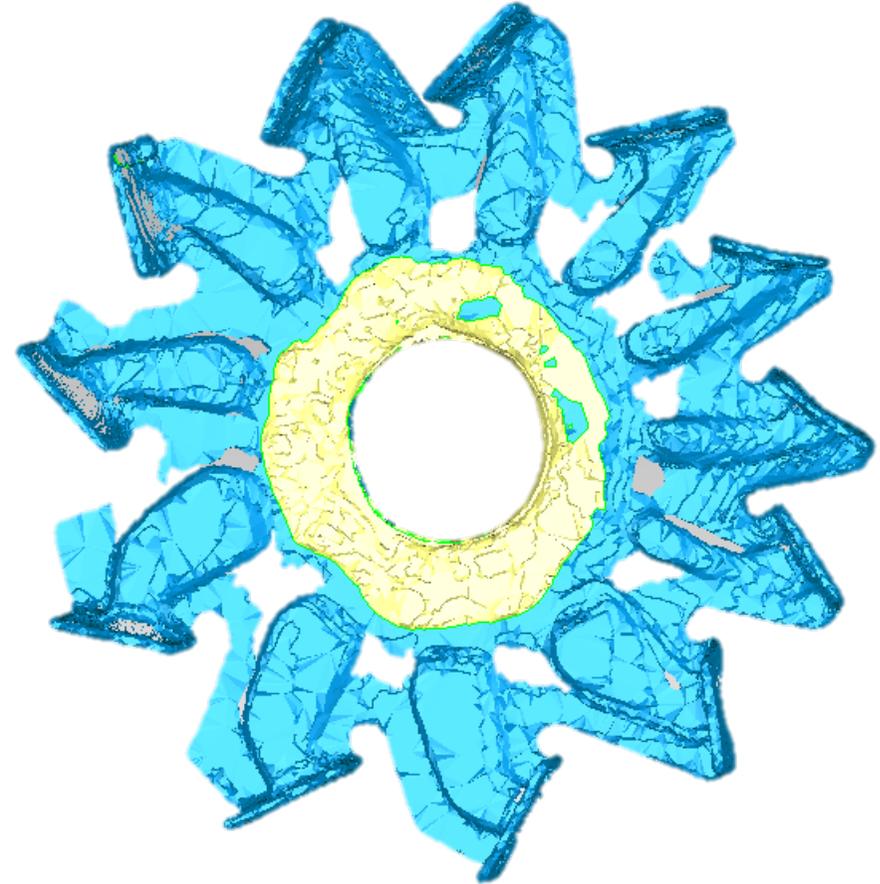
Vorbereitung

- Scan mit Computertomograph
- Objekt wurde nicht demontiert und durchdringend erfasst
- Einzelteile sind komplett abgebildet und wurden durch einen Algorithmus in Segmente (Sinneinheiten) nach ihrem Material zerlegt
- Nachbearbeitung der Segmente (Abschneiden von Überhängern, Aufteilen)
- Ergebnisse besitzen kantige Oberfläche, da aus Voxeln generiert
- Downsampling auf 100k Flächen
- Schwellenwert der Suche auf 70%
- Suche über alle Kataloge



Teile aus Testreihe 3

Detailansicht



Testreihe 3

Ergebnisse

Make or Buy Report

Übersicht

Ergebnisse

Suchteile: D:/PartSolutions-Katalog/Test für CIF/search_t3

2 von 2 Teilen (100%) haben Treffer geliefert

Vergleichsteile: cat



1.



Katalog:

Bezeichnung:

Norm-Nummer:

Norm-Titel:

Übereinstimmung:

Alternator

Riemenscheibe_AyM

Riemenscheibe_AyM.stl

Katalog:

Bezeichnung: pulley

Norm-Nummer:

Norm-Titel: pulley

2.



Katalog:

Bezeichnung:

Norm-Nummer:

Norm-Titel:

Übereinstimmung:

Alternator

Lueferrad_1.5_lochfrei

Lueferrad_1.5_lochfrei.stl

Katalog:

Bezeichnung: fan

Norm-Nummer:

Norm-Titel: fan

Zusammenfassung

Ergebnisse der Testreihen

	Testreihe 1	Testreihe 2	Testreihe 3
Szenario	3D-Scan von Einzelteilen	3D-Scan von Baugruppen + Segmentierung	CT-Scan von Baugruppen + Segmentierung
Messverfahren	Streifenlicht	Streifenlicht	Röntgenstrahlung
Datenerfassung	Ca. 30 min	Ca. 40 min	Ca. 1 Tag
Preprocessing	10 min	15 min	Mehrere Tage
Postprocessing	Ca. 60min	Ca. 60min	Ca. 1 Tag

- Hohe Erkennungsraten über alle Testreihen
- Erkennungsraten bei komplett dreidimensional erfassten Einzelteilen nahezu eindeutig
- Sehr gute Erkennungsraten bei segmentierten Bauteilen
- Andeutung der Abhängigkeit zwischen geometrischer Vollständigkeit und Erkennungsrate

ÜBERSICHT



- Kurzvorstellung Fraunhofer IPK
- Bedarf nach 3D-Modellen
- Forschungsprojekte und Anwendungsfälle
- Testreihen und Ergebnisse
- **Zukunftspotentiale und Ausblick**

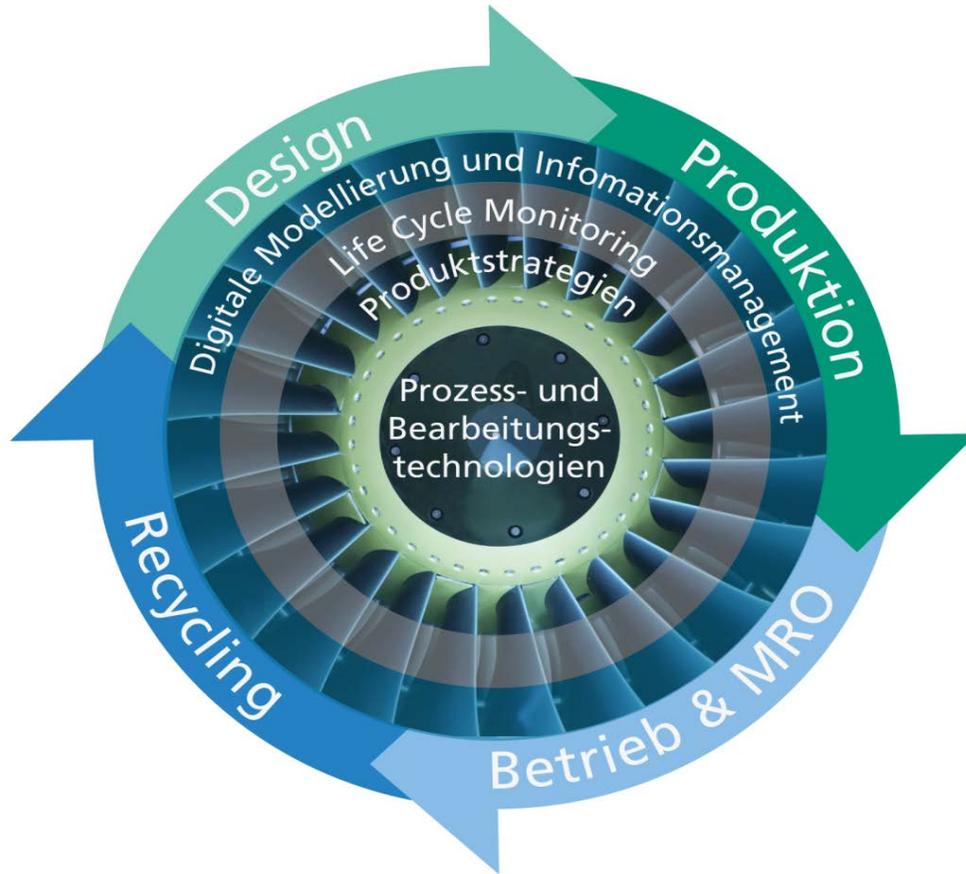
Zukünftige Entwicklungspotentiale

Vom 3D-Scan zum CAD-Modell

- Verbesserung der Robustheit der Geosuche
 - Stärken-/Schwächenanalyse der Geosuche für spezifische Bauteilbeschaffenheiten und Qualitätsstufen von Scandaten
 - Gezielte Verbesserung der Suchalgorithmen (evtl. Suche direkt anhand der Punktwolke)
- Automatisierte Geosuche von 3D-gescannten Einzelteilen
 - Schnittstelle zu Software zur Flächenrückführung
 - Verwendung von Suchergebnis für Soll-Ist-Vergleich
- Einbindung der Geosuche in einen Reverse Engineering-Prozess zur automatisierten Bereitstellung von CAD-Baugruppenmodellen
 - API-Zugriff auf Suchergebnisse
 - Kopplung an ein Segmentierungsverfahren zur Bauteilseparierung in 3D-Baugruppencans od. „Pattern Matching“ in beliebigen Punktwolken
 - Abgleich der gefundenen Teile mit vorhanden Produktstrukturen

Innovationscluster Life Cycle Engineering (LCE)

Ausblick auf neue Themenfelder



Entwicklung von Prozessen, Methoden und Werkzeugen für die Phasen des Lebenszyklus (Entwicklung, Produktion, Betrieb, MRO, Recycling)

Innovationsfelder

- Produktstrategien
- **Digitale Modellbildung und Informationsmanagement**
- Prozess- und Bearbeitungstechnologien
- Life Cycle Monitoring

Innovationscluster Life Cycle Engineering (LCE)

Innovationsfeld Digitale Modellbildung und Informationsmanagement



- Informationsmanagement
- Reverse Engineering
- Customization, Konfigurationsmanagement und Bauzustandsverfolgung
- Prozess- und Projektmanagement für ein Lebenszyklus-orientiertes System
- Produktvisualisierung mittels VR und AR



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!