

## Anlage 1 zum BMBF-Antrag

### Entwicklungs- und Applikationswerkzeuge zur Entwicklung und Herstellung Mechatronischer Produkte - Von der Idee zur Serienproduktion -

#### Projektskizzen

- **P01:** Kontrolle auf versteckte Material- und Kontaktierungsfehler durch Röntgenanalyse
- **P02:** Sensorsysteme zur 100% visuellen Kontrolle an semiautomatischen Fertigungslinien
- **P03:** Visuelle Kontrolle von Lötverfahren durch den Einsatz von Mikrokamerasystemen in Produktionsanlagen
- **P04:** Baukastensystem zur Simulation des Kaltstartverhaltens von Kraftfahrzeugen
- **P05:** Simulation von Starterversuchsständen und Ersatz aufwendiger Versuchsreihen durch hochgenaue Simulationsmodelle
- **P06:** Verfahren zur Geräuschkontrolle mechatronischer Elektrowerkzeuge
- **P07:** Abschätzung und Management der Restlebensdauer mechatronischer Systeme
- **P08:** Entwicklung von Einrichtungsstrategien von Spritzgießprozessen für mechatronische Kunststoffbauteile
- **P09:** Entwicklung einer Software unterstützten Dimensionierungs- und Lebensdauerprognose-Strategie für Kugelgewindetriebe

## Projektskizze P01

# Kontrolle auf versteckte Material- und Kontaktierungsfehler durch Röntgenanalyse

Prof. B. Hosticka, Fraunhofer Institut, Duisburg  
Prof. Barczy, Univ. Miskolc

### Einleitung:

Grundsätzlich ist es möglich Materialfehler oder defekte Bausteine mit Hilfe der Röntgentechnik zerstörungsfrei zu entdecken. Die elektromagnetischen Röntgenstrahlen einer Wellenlänge von 0,1 bis 0,003 Nanometer durchdringen nicht nur den menschlichen Körper, sondern auch verschiedene Werkstoffe, wie z.B. Kunststoffe oder Gussteile. Dabei funktioniert die Röntgentechnik im Gegensatz zur Ultraschalltechnik voll berührungslos und bietet eine sehr gute Auflösung.

Für die Röntgenanalyse werden sowohl hochempfindliche Röntgenkameras benötigt, als auch leistungsfähige Bildverarbeitungssysteme und eine entsprechende Analysesoftware. Manchmal reicht eine einfache Durchstrahlungsprüfung nicht aus, sondern dreidimensionale Bilder sind erforderlich: hier kann röntgenbasierte Computertomographie zum Einsatz kommen. Dazu werden mehrere aus verschiedenen Positionen aufgenommene Schnittbilder verwendet, die mit Hilfe der zweidimensionalen Computertomographie gewonnen werden. Um das ganze Objektvolumen darzustellen, müssen relativ viele Einzelschnittbilder aufgenommen und miteinander verrechnet werden.

Preiswerte Röntgenkameras können mit CMOS-Bildsensoren aufgebaut werden, wozu sich aber ein Szintillator (z.B.  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$  oder  $\text{CsI}$ ) auf dem Chip befinden muss um Röntgenstrahlen in sichtbare Photonen umzuwandeln. Der Szintillator kann homogen oder strukturiert sein.

### Projektbeschreibung:

Am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg wurden mehrere CMOS-Bildsensoren für röntgenbasierte Computertomographie entwickelt. Primäres Anwendungsfeld ist hier die Medizin. Es muss folglich geprüft werden, ob sich diese Sensoren für den Aufbau von Röntgenkameras für Material- und Kontaktierungskontrolle eignen, denn sie beinhalten relativ große Photodioden (typische Fläche ist ca.  $0,5\text{-}2,0\text{mm}^2$ ) und nur wenige Bildpunkte (typ. 200-400).

Für eine Abschätzung, ob die genannten Sensoren verwendet werden können, muss die Anwendung genau analysiert werden. Anhand der Anforderungen müssen dann die technischen Daten sowohl für den Sensor (Auflösung, Empfindlichkeit usw.) als auch für die Röntgenstrahlquelle (Fokus-Durchmesser, Energie usw.) festgelegt werden. Dies ist wichtig, da bei der Röntgenanalyse keine Projektionsoptik verwendet werden kann und somit eine Anpassung durch Objektive entfällt. Die Projektion (und somit die Bildvergrößerung) kann nur durch die Abstandsveränderung zwischen der Röntgenquelle, dem Objekt und dem Sensor angepasst werden. Falls die vorhandenen Sensoren nicht verwendet werden, ist es möglich entweder neue zu entwickeln oder - falls dies zu teuer ist – kommerziell erhältliche Sensoren (z.B. von Rad-Icon) einzusetzen.

Die Projektion bei der Röntgenanalyse wird, abgesehen von den Abständen, auch durch den Fokus-Durchmesser der verwendeten Quelle beeinflusst. Standardröntgenquellen haben typischerweise einen Fokus-Durchmesser von  $500\mu\text{m}$ , aber Mikrofokusquellen haben

weniger als 10 $\mu\text{m}$  und Nanofokusquellen sogar weniger als 1 $\mu\text{m}$ . Die benötigte Quellenergie wird von der geforderten Durchdringungstiefe und dem Material bestimmt.

## Projektskizze P02

# Sensorsysteme zur 100% visuellen Kontrolle an semiautomatischen Fertigungslinien

Prof. B. Hosticka, Fraunhofer Institut, Duisburg  
Prof. Varadi, Univ. Miskolc

### Einleitung:

Die Vollständigkeitsprüfung wird überwiegend zur Kontrolle in der Produktion eingesetzt. Ziel ist die Überprüfung von Bauteilen auf korrekte Montage, Lage und Vorhandensein geforderter Merkmale. Für solche Aufgaben wird meistens eine (oder mehrere) Kamera mit entsprechender Beleuchtung und ein Bildverarbeitungssystem benötigt. Die Kamera muss über die gewünschte Auflösung, Empfindlichkeit, Geschwindigkeit und Helligkeitsdynamik verfügen und das Bildverarbeitungssystem muss die geforderte Rechenleistung aufweisen. In der Praxis spielt die Beleuchtung je nach Objekt-, Umgebung- und Leuchtmittleigenschaften eine entscheidende Rolle. So beeinflussen z.B. Objekttransparenz, Reflektionen an metallischen Kanten, Hintergrundbeleuchtung und Schattenbildung wesentlich die Anforderungen an die Kamera bezüglich der Empfindlichkeit und Helligkeitsdynamik. Eine leistungsfähige Kamera kann die Anforderungen an die Umgebung und Beleuchtung oft reduzieren.

### Projektbeschreibung:

Am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg wurden mehrere Kameras entwickelt, die sich für die oben beschriebene Aufgabe eignen. Eine dieser Kameras ist eine neuartige CMOS-Kamera, die eine extrem hohe Helligkeitsdynamik (bis 120dB) und eine ausgezeichnete Lichtempfindlichkeit ( $33\mu\text{W}/\text{m}^2$  bei 635nm Lichtwellenlänge) bei 50 Bildern pro Sekunde aufweist. Die Kamera liefert schwarzweisse Bilder mit 768x576 Bildpunkten und verfügt über eine digitale FireWire-Schnittstelle.

Eine zweite CMOS-Kamera ist eine Hochgeschwindigkeitskamera, die bis 1.000 Bilder/Sekunde liefert, aber weniger Bildpunkte (256x256) und eine kleinere Helligkeitsdynamik (60dB) hat. Diese Kamera besitzt allerdings einen synchronen elektronischen Verschluss („shutter“), so dass sie sich auch für Aufnahmen mit gepulsten Lichtquellen eignet.

Bei den vorhandenen Kameras müsste zuerst geprüft werden, welche sich für die oben genannten Aufgaben eignet und ob sie angepasst werden muss. Dazu gilt es zu untersuchen, ob die volle Auflösung oder nur Bildausschnitte (sog. „Region of Interest“) benötigt werden und welche Anforderungen an die Optik existieren. Ferner muss die entsprechende Beleuchtung entwickelt werden: die Lichtquelle wird in Bezug auf die Intensität und Wellenlänge (LED, Halogenglühlampe, Laser usw.) und den Einfallswinkel (Auflicht oder Durchlicht, Schräglicht, direktes oder diffuses Licht, Hell- oder Dunkelfeldbeleuchtung, strukturierte Beleuchtung) untersucht. Die Kamera muss auch an einem geeigneten Bildverarbeitungssystem angeschlossen werden. Bei der Algorithmusentwicklung sind folgende Schritte nach der Bildakquisition durchzuführen: Bildvorverarbeitung (z.B. Filterung zur Reduzierung von, Bildkorrektur zur Beseitigung von Bildverzerrungen und Histogrammbildung zur Anpassung der Helligkeit), Segmentierung, Merkmalextraktion (z.B. Kanten und Konturextraktion) und Auswertung der Merkmalpräsenz mit Referenzmustern, z.B. durch „statistical matching“.

# Visuelle Kontrolle von Lötverfahren durch den Einsatz von Mikrokamerasystemen in Produktionsanlagen

Prof. B. Hosticka, Fraunhofer Institut, Duisburg  
Prof. Kovacs, Univ. Miskolc

### Einleitung:

Bildverarbeitung spielt in der heutigen Qualitätskontrolle in vielen Produktionsprozessen eine sehr wichtige Rolle. Ein Beispiel ist hier die Qualitätskontrolle bei der Leiterplattenfertigung. Bei doppelseitiger Bestückung, hohen Packungsdichten und immer feineren Strukturen ist heute eine Sichtkontrolle kaum mehr möglich.

Die modernen Verfahren für automatische optische Inspektion (AOI) für Lötstellenkontrolle beruhen entweder auf der Akquisition von zweidimensionalen oder dreidimensionalen Bildern. Bei zweidimensionalen Bildern ist eine angepasste Optik und spezielle Beleuchtung notwendig, denn sie benutzen das von der Lötstelle reflektierte Licht. Um allerdings eine Höheninformation über die Lötstelle zu erhalten, sind dreidimensionale Bilder für ein topographisches Profil erforderlich. Hier werden entweder mehrere Kameras zur Stereoskopie benötigt oder es wird ein anderes Verfahren gewählt, wie z.B. Autofokusverfahren, Triangulation oder Schnittbildverfahren. Alle diese Verfahren besitzen eine leistungsstarke Optik, eine Lichtquelle, eine oder mehrere schnelle Kamera/s und ein leistungsstarkes Bildverarbeitungssystem.

Für die Kontrolle von Lötstellen bei unzugänglichen Stellen (z.B. unter einem BGA-Gehäuse) können entweder flexible industrielle Endoskope oder Röntgenkameras verwendet werden. Der Vorteil von Röntgenkameras ist, dass sie auch unsichtbare Stellen abbilden können, dafür aber sehr teuer sind und ihre Bilder eine sehr komplexe Auswertung benötigen. Ferner ist eine Röntgenstrahlquelle notwendig.

### Projektbeschreibung:

Am Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg wurden mehrere CMOS-Kameras und Bildsensoren entwickelt, die für die hier beschriebene Anwendung in Frage kommen. Es wurden sowohl hochempfindliche Kameras entwickelt, die eine hohe Helligkeitsdynamik aufweisen, als auch Bildsensoren für Miniaturkameras und Triangulationsverfahren. Wenn man auf die Höheninformation verzichten kann, ist eine koaxiale Beleuchtung der Lötstelle notwendig, denn bei einer nicht vorhandenen Lötstelle wird das Licht zurück zur Quelle reflektiert anstatt seitlich, was einfach zu detektieren ist.

Für die Kontrolle an unzugänglichen Stellen wären entweder Videoendoskope interessant oder man könnte Röntgenanalysen verwenden. Für Videoendoskopie könnte ein CMOS-Bildsensor zum Einsatz kommen, da mit so einem Sensor leicht eine miniaturisierte Kamera aufgebaut werden kann (ein geeigneter CMOS-Bildsensor für diese Anwendung wurde vor einiger Zeit entwickelt und besitzt ein CIF-Bildformat). Bei der Röntgenanalyse dagegen müsste ein entsprechender CMOS-Bildsensor erst entwickelt und mit einem Szintillator versehen werden.

Im folgenden wird davon ausgegangen, dass ein Videoendoskop mit einem CMOS-Bildsensor im CIF-Format verwendet wird.

## Projektskizze P04

# Baukastensystem zur Simulation des Kaltstartverhaltens von Kraftfahrzeugen

Prof. Dr.-Ing. D. Schramm, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. T. Csaki, Univ. Miskolc

### Problemstellung

Einer der wichtigsten Anforderungen bei der Neu- aber insbesondere auch bei der Variantenentwicklung von Startermotoren ist die Sicherstellung der Kaltstartfähigkeit. Hierzu werden sowohl während der Entwicklung als auch bei der Serienfreigabe von Startern Versuche mit Kraftfahrzeugen in speziell ausgestatteten Kühlhäusern durchgeführt. Diese Versuche sind aufgrund der erforderlichen Kühl- und Steuerungstechnik sowie der aufgrund der langen Kühlphasen notwendigen langen Abständen zwischen zwei Versuchen extrem zeitaufwendig und teuer.

### Vorarbeiten und Kenntnisse

Basierend auf der o.g. Problemstellung wurden bereits vor einigen Jahren am Lehrstuhl für Mechatronik in Duisburg in Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH in Schwieberdingen Simulationsmodelle entwickelt, die eine Simulation des Startermotors in Wechselwirkung mit dem Startverhalten des Verbrennungsmotors sowie der angeschlossenen Nebenaggregate gestattet [1]. Die Simulationsmodelle wurden erfolgreich mit realen Startversuchen abgeglichen.

Weiterhin verfügt der Lehrstuhl für Mechatronik sowohl über langjährige Erfahrungen mit der Erstellung von Simulationsmodellen für komplexe Mechanische und Domänenübergreifende Systeme. Programmpakete, die sowohl die Erstellung der Modelle als auch die Identifikation von Parametern sowie die Präsentation der Ergebnisse gestatten, sind vorhanden.

### Geplante Projektarbeiten

In einer ersten Projektstufe werden die bereits vorhandenen Simulationsmodelle überarbeitet und hinsichtlich neuer Startermodelle und Fahrzeugcharakteristiken erweitert. Die Struktur der Modelle wird so überarbeitet, dass diese als Grundlage einer Modellbibliothek dienen, die in Matlab/Simulink realisiert wird.

Auf der Basis der ersten Projektstufe werden folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Erstellung einer Modellbibliothek mit den derzeit vorhandenen und in der Entwicklung befindliche Startermotoren der Robert Bosch GmbH
2. Erstellung und Dokumentation von Simulationsmodellen''  
(aufbauend auf vorhandenen Modellierungen)
  - a. der heute in Kraftfahrzeugen typischerweise eingesetzten Nebenaggregate, die bei Kaltstarts eine wesentliche Rolle spielen. Hierzu gehören z.B. Wasser- und Ölpumpen.
  - b. für Bordnetzkonzepte, die heute eingesetzt werden oder die zukünftig Bedeutung erlangen werden, wie z.B. zwei-Batterien-Bordnetze.
  - c. für Verbrennungsmotoren mit unterschiedlichen Konzepten
3. Erstellung geeigneter Benutzeroberflächen für die Anwendung der Simulationsmodelle. Die Ausgaben sind auf die üblicherweise verwendeten Darstellungsformen bei realen Fahrzeugversuche abzustimmen.

4. Erarbeitung und Implementierung von Verfahren zur Identifikation der relevanten Modellparameter aus Fahrzeug- und Prüfstandsversuchen.
5. Erprobung der Verfahren an vorhandenen Starterapplikationen

## Projektskizze P06

# Verfahren zur Geräuschkontrolle mechatronischer Elektrowerkzeuge

Prof. Dr.-Ing. D. Söffker, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. D. Schramm, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. Kamondi, Univ. Miskolc

### Problemstellung

Mechatronische resp. elektromechanische Elektrowerkzeuge bestehen aus einer Vielzahl mechanischer, elektrischer und elektronischer Komponenten die automatisiert oder manuell assembliert montiert werden. Sowohl bei der vollautomatisierten als auch bei einer manuellen Fertigung kommt der Endkontrolle eine noch höherer Bedeutung als bisher zu, schließt sie doch den Fertigungs- und Produktionsprozess ab und definiert für Kunde und Produzent ein nach den Kriterien des Tests validiertes Endergebnis hinsichtlich Funktionalität und Sicherheit des Produktes. Während die elektrische und überwiegend auch die mechanische Prüfung nach bewährten Kriterien durch Prüfautomaten nach objektiven Kriterien durchgeführt wird, müssen bei der Prüfung des Laufgeräusches dieser Produkte nach wie vor subjektive Kriterien, wie z.B. das Geräuschempfinden einer Prüfperson eingesetzt werden. Aufgrund der nicht vorhandenen Objektivität und Vergleichbarkeit, sind hier auch die hohem Personalkosten von Nachteil sowie der bei manuellen Prüfungen immer auftretende Schlupf von Schlechtteilen.

Der Automatisierung der Endkontrolle zur Garantie definierter Eigenschaften des Werkzeuges kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Neben der automatisierten Überprüfung der Funktionalität anhand von funktional orientierten Messwerten und deren Auswertung kommt akustikorientierten Verfahren ebenfalls eine zentrale Bedeutung zu, insbesondere, da sie leicht anzuwenden und auszuwerten sind.

Die Aufgabe besteht daher einerseits darin, die Komplexität möglicher Fehlfunktionen in ihren akustischen Abbildungen zu begreifen, zu beschreiben bzw. zu bestimmen und entsprechend den messtechnischen Auswertemöglichkeiten produktionstechnisch umzusetzen.

Andererseits stellt sich die Aufgabe, das Geräusch der betreffenden Produkte nach Komfortaspekten zu beurteilen. Hierzu werden psychoakustische Methoden der Geräuschbewertung hinsichtlich ihrer Wahrnehmung durch den Menschen herangezogen.

Hierbei kommt insbesondere dem Aufbau einer lernfähigen d.h. variablen Datenbank eine wesentliche Aufgaben zu.

### Vorarbeiten und Kenntnisse

Im Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik der Universität Duisburg-Essen wird seit einigen Jahren die Verwendung von qualitativen Modellbildungstechniken verfolgt, wie sie vom Lehrstuhlinhaber zur Modellierung der Mensch-Maschine-Interaktionen entwickelt wurde. Aktuell wird die formale Methode zur Anwendung und Realisierung von lernfähigen Automaten für die mobile Robotik weiterentwickelt.

Der zentrale Vorteil der Situations-Operator Modellbildung besteht in der formalen Zusammenfassung unterschiedlicher Parameter und Merkmale von komplexen Zuständen, welche formal gespeichert, gehandelt und automatisiert verglichen werden können. Mit Hilfen von sog. Kognitiven Funktionen werden für die mobile Robotik Planungs- und Entscheidungsalgorithmen realisiert, aufbauend auf einer geeignet gebildeten (d.h. vorhandenen) oder aber selbstlernenen Datenbank kann die komplexe Auswertung der

akustischen Information in verschiedenen Betrachtungsebenen als Parameter und Merkmale analysiert, gespeichert und bewertet werden. Auf diese Weise erlaubt die SOM-Methode die Beschreibung von komplexen Informationen in idealer Weise und kann komplexere Informationen verknüpfen als Menschen dies vermögen. Im Gegensatz zu neuronalen Techniken ist die SOM-Techniken qualitativ orientiert und erlaubt eine laufende, lernende Modifikation.

Die Anwendung zu Diagnosezwecken steht daher z.B. in Ergänzung und Erweiterung der Anwendung von beispielsweise Fuzzy- und neuronalen Netzmethoden.

## Projektskizze P05

# **Simulation von Starterversuchsständen und Ersatz aufwendiger Versuchsreihen durch hochgenaue Simulationsmodelle**

Prof. Dr.-Ing. D. Schramm, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. T. Csaki, Univ. Miskolc

### **Problemstellung**

Startermotoren unterliegen als sicherheitskritische und sowohl mechanisch als auch elektrisch hoch belastete Komponenten einem sehr hohen und langwierigen Erprobungsaufwand. Die Erprobung erfolgt in der Regel einerseits an speziellen Starterprüfständen und andererseits im Zusammenspiel mit Verbrennungsmotoren (Motorenfeld) an denen die Lebensdauer der Starter im realen Betrieb simuliert wird.

Sowohl der personelle als auch der technische Aufwand (Stromversorgung, mechanische Aufbauten) zum Betrieb dieser Versuchseinrichtungen ist erheblich.

### **Vorarbeiten und Kenntnisse**

Der Lehrstuhl Mechatronik der Universität Duisburg-Essen verfügt über jahrzehntelange Erfahrungen bei der Modellierung und Simulation von Funktion und Belastbarkeit sicherheitsrelevanter mechanischer Systeme in Kombination mit einer elektrischen Ansteuerung sowie auf dem Gebiet der Fahrzeugtechnik. Diese Kenntnisse wurden überwiegend gewonnen bei der Zusammenarbeit mit maßgeblichen Systemzulieferer der Automobilindustrie, namentlich der Firma Bosch bei der Entwicklung von aktiven fahrdynamischen Sicherheitssystemen, wie ABS, ASR und ESP.

Die Universität Miskolc verfügt über geeignetes Personal und die entsprechenden Einrichtungen zur Erstellung von Benutzeroberflächen für Simulationsprogramme.

### **Geplante Projektarbeiten**

Erstellung einer Spezifikation für ein virtuelles Prüffeld zur Simulation der Belastung von Startermotoren durch Testanregungen sowie beim Betrieb an realen Motoren im Motorenversuchsfeld.

Modellierung der mechanischen und elektrischen Eigenschaften von Startermotoren. Hier kann bereits auf Vorarbeiten zurück gegriffen werden, die bei der Simulation von Kaltstartversuchen gewonnen wurden. Die dort verwendeten Modelle sind zu ergänzen um belastungsrelevante mechanische Modellierungen.

Ableich der erstellten Modelle mit den heute regelmäßig durchgeführten Prüfstandsversuchen und Startversuchen im Motorenfeld.

Aufbau einer Benutzeroberfläche, die sich an den heute bei der Erprobung verwendeten Ergebnisprotokolle orientiert und diese ergänzt, bzw. teilweise ersetzt.

Implementierung des virtuellen Prüffeldes bei Bosch Werk Miskolc 2.

# Abschätzung und Management der Restlebensdauer mechatronischer Systeme

Prof. Dr.-Ing. D. Söffker, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. Lukacs, Univ. Miskolc

## Problemstellung

Mechatronische Systeme sind definiert als Systeme, die aus einem integrierten mechanischen (bzw. hydraulischen/pneumatischen/elektromotorischen) Basis-Subsystem, sowie sensorischen, aktorischen, informations- und leistungselektronischen Teilsystemen bestehen.

Der Ausfall eines Teilsystems kann in Abhängigkeit des Integrationsgrades aller Teilsysteme zu einem kompletten Funktionsverlust bzw. zu einem Verlust von Teilfunktionen des mechatronischen Gesamtsystems führen. Bei mechatronischen Systemen mit einem hohen Integrationsgrad, beispielsweise einem Steer-by-wire System, ist bei einem Ausfall des sensorischen, aktorischen, informations- oder leistungselektronischen Subsystems an sich keine Funktionalität durch das Basis-Subsystem gewährleistet. Hier ist die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Systems beeinträchtigt. Entweder führt der Ausfall selbst zu einem sicherheitskritischen Zustand oder kann, bedingt durch die veränderte Funktionalität, zu Folgefehlern und Versagen derselben oder anderer Komponenten führen.

## Vorarbeiten und Kenntnisse

Im Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik der Universität Duisburg-Essen wird seit einigen Jahren sowohl die Verknüpfung der Arbeitsfelder Zuverlässigkeitstechnik und Regelungstechnik verfolgt als auch die Betrachtung bzw. Definition des Notlaufes mechatronischer Systeme untersucht. Die gewonnenen Kenntnisse und entwickelten Methoden resultieren überwiegend aus der Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen des Maschinenbaus als auch der Automobilzulieferindustrie. In beiden Fällen fordern entweder sicherheitstechnische oder monetäre Überlegungen die Notwendigkeit der Überwachung der Funktionalität auch auf der Ebene der Zuverlässigkeit, der Restlebensdauer bzw. der Ausfallrate von Komponenten oder Systemen.

Methodischer Schwerpunkt der Arbeiten ist die Ermittlung von variablen belastungsart- und dauerabhängigen Ausfallraten, welches eine zentrale Verschiebung gegenüber den klassischen Betrachtung hinsichtlich konstanten Belastungen resultierend in Wöhlerkurven ist.

Die Betrachtung ausgewählter mechanisch-/elektrischer Bauteile gerade auch unter Aspekten der konzeptionellen Auslegung als Verschleißbauteil mit zeitlich kurzer Lebensdauer steht daher im Mittelpunkt der Betrachtungen. Die hierzu notwendigen experimentellen Untersuchungen erfordern einen im Vergleich zu Zeitstandfestigkeitsuntersuchen nach Wöhler/Palmgreen/Miner höheren zeitlichen Aufwand bei der Versuchsdurchführung.

Aufbauend auf den gewonnenen experimentellen Daten lassen sich unter Nutzung von sich bereits in der Entwicklung befindlichen Methoden Aussagen über die Restlebensdauer und damit verbunden –verfügbarkeit mechatronischer Systeme während des Betriebes des Systems treffen.

## **Geplante Projektarbeiten**

- Auswahl geeigneter mechanischer-/elektrischer Bauteile mit stark
- belastungsabhängiger Lebensdauer
- Definition der Belastungs- und Beanspruchungsparameter
- Aufbau eines Prüfstandes durch Durchführung experimenteller Untersuchungen
- Zusammenstellung der Daten und Validierung bzw. Anpassung der vorausgesetzten Belastungs-/Beanspruchungs-/Ausfallkurven
- Bestimmung des analytischen Ausfallverhaltens

### **Optimization of setup strategies for injection molding processes**

Injection molding is the most important and wide spread technology to manufacture plastic parts. The main part of each years granulate production is transformed to technical parts, packaging, housings consumer plastics by injection molding. The product design of today, not only in the automotive sector, requires highly integrated and high performance plastic parts with at the same time low production costs. To reach that aim, it is necessary to develop setup strategies to find a robust working point for each process. In a second phase this working point has to be optimized, meaning shorten the cycle time, to increase the output.

So this task is divided in sub-tasks A and B distributed to the each competence center shown below.

The relevance of the planned projects for current production of injection molded plastic parts is impressively shown by the following list, consisting companies which are interested in supporting the project.

#### **Industrial partners showing an interest in the topic:**

Karsai Holding Rt. Tiszaújváros,  
JÁSZ-PLASZTIK Ltd. Jászberény,  
BOSCH Powertools Miskolc,  
APRK Hungary Ltd. Tiszaújváros

#### **A. Development of Setup Strategies for moulding tools for mechatronic plastic parts**

##### **Coordination**

Prof. Dr.-Ing. J. Wortberg  
University of Duisburg-Essen

##### **Problem**

To mechatronic plastic parts there are put high demands concerning its quality and reproducibility. Nevertheless these parts are requested in a high number of pieces, which on the other hand is possible only by short production cycles with low scrap rates. Process robustness by a close quality management is a first step to reach the goals mentioned above.

##### **State of the arte and previous knowledge**

Finding and exploring setup strategies is one of the core competences at the chair for engineering design and plastics machinery at the university Duisburg-Essen. Publications in the field of quality assurance and strategies in plastics processing on the basis of neuronal networks show this clearly. Especially for the application of injection moulding there have been prepared several PhD thesis like „Model based approaches to quality control for injection moulding“ or „Methods for a close quality management in plastics processing“.

The therefore necessary practical investigations have been carried out at the injection moulding machines available at the institute as well as at collaborating plastics processing industrial partners.

##### **Planend Projects**

Aim of the project is the Development of setup strategies for injection moulding processes for mechatronic plastics parts and a following process optimization guideline for the respective process. This project will be done in collaboration with the company Bosch-Rexroth AG situated in Eger/Hungaria.

Therefore necessary tasks are described in the following section

- Production and metrology of first parts from the tool
- Adjustment of the data to be acquired during the process
- Synchronization of the collected data
- Correlation of the process parameters to the quality criteria of the final part with the objective to find quality influencing process parameters
- Determination of a robust working point
- Generation and execution of a statistical plan for experiments
- Generation of a process model
- Optimization of the injection moulding process

The equipment for the working points mentioned above is available at the institute. This includes hard- and software (injection moulding machines; systems for data acquisition; software for statistical analysis SPSS, winQS, ...).

The result of the here described project will be a manual and software for the fast setup and optimization of plastics injection moulding processes for mechatronic plastics parts.

### **Period of project**

It is minimum 36 months. We will participate to this project on the basis of a common co-operation plan made for each year. The obtained results and achievements will be summarized and reported.

## **B. Optimization of setting and operation of multi-cavity injection moulds**

### **Project Coordination:**

György Czél, Ph.D. associate professor

RET Miskolc

Department of Polymer Engineering of University of Miskolc

### **Problem**

To increase their effectiveness companies dealing with injection molding technology require a higher production speed (a shorter cycle-period of production), besides high quality products with exact dimension. The harmony between the fast production and high quality demand can be realized by using a well developed computer control system as well as a modern sensory. The primary goal of the present project is to realize the above system on a system-plan- and an operating algorithm level. Till now the control of injection molding technology under the influence of cavity-pressure has not become widespread in spite of the fact that the quantity of faulty products can highly be decreased and the process of shaping can be optimized much easier. It is necessary to solve the problem of selection of faulty products and to improve the automation of the whole production process (die machine unit). It is an essential task to harmonize the tool and machine unit quickly and exactly. This complex optimization of production technology arouses the interest of injection molding plants.

### **Existing resources**

#### *Existing intellectual resources*

Department of Polymer Engineering of University of Miskolc - 1 professor, 1 associate professor, 1 assistant, 1 engineer, laboratory assistants

Publications and special preparatory studies on injection molding

#### *Existing technical conditions:*

A Polymer Technology Laboratory - a KRAUSS-MAFFEI KM80/160C1 injection molding equipment + tools, a HAAKE POLYLAB rheometer with an extruder head for developing the raw materials, a Laboratory for Material Testing with all the necessary equipment. MPI software.

### **Planned Projects**

The optimization of setting and operation of multi-cavity injection moulds can be realized by completing the part-tasks listed as follows:

- Selection of tools and equipment for solving the multi-cavity shaping problem
- Installing of sensors in the machine and tool unit
- Data collection
- Determination of the quality parameters of product
- Finding the correlation between the quality parameters and technological parameters
- Modeling
- Selection of optimization conditions
- Definition of the experimental plan
- Realization of high speed experiments by means of injection molding
- Working out and fixing of the general norms
- Generation of a general algorithm for setting and optimizing the process (feedback to the tool-design)
- Application to mass production for selected products

### **Required technical tools and intellectual capacities**

#### *Intellectual capacity:*

1 process-planning engineer, 1 tool-designer engineer, 1 engineer of information technology in the course of the project-period

#### *Technical tools:*

1 piece of KRAUSS-MAFFEI fast injection molding machine having a class of exactness of C2 for making a six-saddle tool product, measurement and data acquisition system, local computer network for the common investigation of the fast and slow equipment.

### **Period of project**

It is minimum 36 months. The foreign and industrial partners will co-operate in the project on the basis of a common co-operation plan made for each year. The obtained results and achievements will be summarized and reported.

## Entwicklung einer Software unterstützten Dimensionierungs- und Lebensdauerprognose-Strategie für Kugelgewindetriebe

Prof. Dr.-Ing. J. Wortberg, Univ. Duisburg  
Prof. Dr.-Ing. Takacs, Univ. Miskolc

### Problemstellung

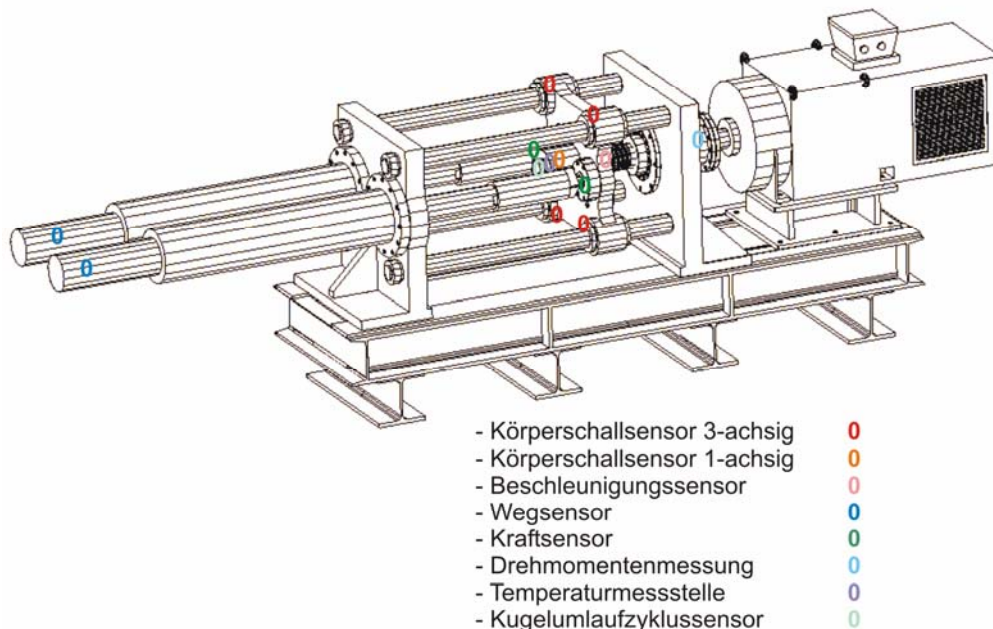
Im Zuge der Weiterentwicklung vollelektrischer Produktionsmaschinen und der damit verbundenen Substituierung hydraulische Achsen gewannen Vorschubtriebe mit Spindel-Mutter-Systemen, insbesondere Kugelgewindetriebe und Rollenschraubtriebe, immer mehr an Relevanz. Der Grund für diese Entwicklung ist hauptsächlich in der Wirtschaftlichkeit dieser Maschinenelemente zu sehen.

Die neuen Einsatzgebiete beinhalten neue Belastungsprofile in neuartigen, maschinen- und prozesstechnischen Feldern. Die Praxis hat indes gezeigt, dass bestehende Auslegungs- und Berechnungsgrundlagen dieser Maschinenelemente keine ausreichende Berücksichtigung hoher zyklischer Belastung beinhalten. Diese wiederholenden Lastspitzen tragen somit zu vorzeitiger Ermüdung und Verschleiß des Maschinenelementes „Kugelgewindetrieb“ bei.

Ein weiterer Grund für verfrühten Ausfall der Vorschubtriebe ist vermutlich in Verbindung mit dem Auftreten von mechanischen Schwingungen zu sehen, so dass hier nicht mehr von „zufälligem“ Auftreten von Verschleißerscheinungen gesprochen werden kann.

### Vorarbeiten und Kenntnisse

Basierend auf der o.g. Problemstellung wurden bereits vor einigen Jahren am Lehrstuhl für Konstruktion und Kunststoffmaschinen in Duisburg mit der Untersuchung von zyklisch hoch belasteten Kugelgewindetrieben begonnen.



Dafür wurde an Lehrstuhl ein Prüfstand entwickelt dessen Performance für die zyklisch auftretenden hohe Lasten ausgelegt ist. Die Aufbringung der Axiallasten erfolgt über zwei parallel angeordnete servo-hydraulische Linearmotoren, welche eine hoch aufgelöste Lastprofil erzeugen können, so dass ein beliebiger kurzhubiger (200mm Verfahrensweg) Prozess in die Steuerung implementiert werden kann.

Wie in o.g. Darstellung erkennbar ist wurde der Prüfstand mit diverser Messtechnik ausgestattet, welche einerseits dazu dienen soll die Verschleißhistorie genau zu dokumentieren, aber auch die Einflüsse auf die zeitvarianten lokalen Drücke und Beschleunigungen zu erfassen.

Steuerung und Datenakquisition werden mit Hilfe der Software LabView RT 6.1 und Analog I/O Karten der Firma National Instruments betrieben. Die anschließende Verarbeitung und Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt mit der Software Matlab.

### **Geplante Projektarbeiten**

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Software unterstützten Auslegungsstrategie für Kugelgewindetriebe. Hierbei muss die Untersuchung der Verschleißmechanismen zyklisch hoch beanspruchter Kontaktzonen im Vordergrund stehen.

In einem ersten Schritt werden theoretische Grundlagen zur Beschreibung der physikalischen Phänomene in den Kontaktzonen des Maschinenelements aufgearbeitet. Ebenfalls werden Strukturschwingungen zur Definition des realen Lastprofils an der Kugelgewindemutter untersucht.

Zusätzlich zu den o.g. schwingungstechnischen Untersuchungen werden thermografische Untersuchungen am Kugelgewindetrieb durchgeführt um den Reibungsenergieeintrag zu erfassen.

Diese erzielten Ergebnissen werden am Prüfstand verifiziert und abschließend in einen Berechnungsalgorithmus zur Auslegung und Dimensionierung überführt.

Nachfolgende Untersuchungen werden wie folgt durchgeführt:

1. Untersuchung der Auswirkungen diverser Schmierstoffe auf das Verschleißverhalten von Kugelgewindetrieben.
2. Untersuchung der Einflüsse von Fertigungsvariablen auf die Lebensdauer des Kugelgewindetriebs
3. Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Lebensdauerphasen des Kugelgewindetriebs und Frequenzumrichter - Daten.
4. Anpassungsentwicklung von Kugelgewindetrieben für den Kunststoffspritzgieß-Prozess