

# **Adaptronische Feinpositionierung – Lösungsansatz zur Produktivitätssteigerung**

Prof. Dr.-Ing. **B. Denkena**, Dr.-Ing. **H.-C. Möhring**, Dipl.-Ing. **S. Rosen**,  
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Leibniz  
Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. **E. Reithmeier**, Dr.-Ing. **M. Kästner**, M.Sc. Dipl.-Ing. (BA)  
**A. Pahlke**, Institut für Mess- und Regelungstechnik (imr), Leibniz  
Universität Hannover

## **Kurzfassung**

Die Technologie der adaptronischen Feinpositionierung dient zur fertigungsintegrierten Feinpositionierung rotationssymmetrischer Bauteile im Hartdrehprozess. Beim Einspannen von verzugsbehafteten Bauteilen kann es zu Spannfehlern kommen, welche sich auf die spätere Bauteilqualität negativ auswirken oder sogar zu Ausschuss führen können. Um diese Spann- bzw. die daraus resultierenden Exzenterfehler effektiv zu kompensieren, wurde die Technologie zur adaptronischen Feinpositionierung erforscht und entwickelt.

Die eigentliche Feinpositioniervorrichtung befindet sich in einem rotierenden Spannfutter und wird von vier Hochvolt-Piezoaktoren angetrieben. Dabei kann ein gespanntes Werkstück in zwei translatorischen Freiheitsgraden um  $\pm 100\mu\text{m}$  verstellt werden. Die Energieversorgung sowie der Datenaustausch werden berührungslos umgesetzt. Die Berechnung des erforderlichen Korrekturvektors zur Feinpositionierung mittels des mechatronischen Spannfutters erfolgt durch Auswertung der aufgenommenen geometrischen Daten des zu positionierenden Bauteils. Kern ist dabei ein schneller und präziser konoskopischer Sensor, welcher als punktförmiger optischer Abstandssensor das Bauteil in einem Schnitt aufnimmt. Die Kommunikation des Feinpositioniersystems erfolgt über eine Steuerbox, welche auch die Datenanbindung an die peripheren Elemente, wie etwa Werkzeugmaschine oder Qualitätsmanagement, gewährleistet.

## **1. Einleitung**

Zu einer der bedeutsamsten Branchen in Deutschland zählt die Automobilindustrie. Allein im letzten Jahr wurden mehr als 5,5 Millionen PKWs in Deutschland produziert [1]. Zum einen steigen dauernd die Anforderungen an die Qualität der Teile bzw. des Gesamtproduktes.

Zum anderen stehen Unternehmen durch eine Globalisierung des Marktes unter stetigem Kostendruck.

Das Zahnrad bleibt trotz der verstärkenden Verbreitung stufenloser Schaltgetriebe ein wichtiges Bauteil für die Antriebstechnik. Bei einer herkömmlichen Herstellung der Zahnräder werden Halbzeuge zuerst weich gedreht. Danach erfolgt eine spanende Bearbeitung zur Erzeugung der Verzahnung. Anschließend werden die Zahnräder in einem Härteprozess, vorwiegend Einsatzhärten, gehärtet. Das Härten ist in meisten Fällen verzugsbehaftet, wobei es von dem gewählten Härteprozess, der eingestellten Parameter sowie von der Geometrie des Bauteils abhängt. Folglich kommt es beim Aufspannen des Werkstückes zu Positionsfehlern. Die Verzüge können zwar durch erhöhtes Aufmaß in den abschließenden Prozessen, wie Hartdrehen und Verzahnungsschleifen, kompensiert werden. Demgegenüber stehen aber der gesteigerte Werkzeugverschleiß und die erhöhte Bearbeitungszeit pro Werkstück, die in einer Großserienproduktion einige der wichtigsten Wirtschaftlichkeitskriterien sind [2]. Die Herausforderung besteht im exzenterfreien Aufspannen der verzogenen Zahnräder für das Hartdrehen der Mittenbohrung, die als Referenzfläche für die Verzahnung beim Schleifen dient [3].

In Bild 1 ist ein Nockenwellenrad abgebildet, welches das Demonstratorbauteil des Teilprojekts T4 des Sonderforschungsbereichs 489 darstellt. Dieses Zahnrad durchläuft die oben beschriebene Prozesskette. Zu erkennen ist, neben einem relativ dünnwandigen und schmalen Zahnradgrundkörper, eine durchgängige Bohrung auf der Stirnseite. Diese Besonderheit hat einen erheblichen Einfluss auf das Verzugsverhalten des Zahnrades. Aufgrund eines Verzugs kommt es zu einer Fehlposition des Zahnrades beim Aufspannen, sodass in weiteren Prozessen enge Fertigungstoleranzen im ungünstigen Fall nicht mehr eingehalten werden können, was letztendlich zu einem Ausschuss führt.



Bild 1: Nockenwellenrad für einen Pkw der Mittelklasse

## **2. Zielsetzung**

Im Rahmen des Teilprojekts A5 des Sonderforschungsbereichs 489 wurde ein Funktionsmuster einer Feinpositioniervorrichtung entwickelt und eine aufmaßorientierte Feinpositionierung präzisionsgeschmiedeter Zahnräder nachgewiesen [4]. Das Ziel des Transferprojekts T4 (SFB 489) ist die gewonnenen universitären Forschungserkenntnisse in eine industrielle Anwendung umzusetzen. Neben der Instituten der Leibniz Universität Hannover (Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und Institut für Mess- und Regelungstechnik (*imr*)) sind vier weitere Industriepartner in das Projekt involviert. Das Arbeitsprogramm des Transferprojektes besteht aus drei Hauptteilen. Im ersten werden Anforderungen an das Feinpositioniersystem in enger Abstimmung mit allen Industriepartnern aufgestellt. Dementsprechend wird das bestehende System optimiert und hinsichtlich neuer Randbedingungen angepasst bzw. neu ausgelegt. Im Fokus steht ein modularer Aufbau des Gesamtsystems, der einen Einsatz in unterschiedlichen Drehmaschinen mit einem geringeren Anpassungsaufwand ermöglicht. Im zweiten Schritt erfolgt der Aufbau des Gesamtsystems bestehend aus den Teilsystemen Feinpositionierspannfutter, Messsystem sowie die „Steuerbox“ zur Anbindung der Teilsysteme an eine Drehmaschine. Parallel dazu wird der bestehende Demonstrator des Feinpositionierspannfutters Dauertests unterzogen. Im letzten Schritt soll das Feinpositioniersystem in eine Drehmaschine eines Industriepartners integriert und unter realen Bedienungen der Serienproduktion eingesetzt werden. Das übergeordnete Ziel des Transferprojekts ist der Einsatz der adaptronischen Feinpositioniertechnologie in der Serienfertigung, um die Qualität der gefertigten Bauteile zu erhöhen. Durch eine Kopplung der Feinpositioniertechnologie mit Qualitätsmanagement und einen möglichen Entfall der nachträglichen 100% Kontrolle sowie durch eine Reduzierung bzw. Vermeidung des Ausschusses ist somit eine wirtschaftlichere Fertigung der Zahnräder möglich.

## **3. Technologie**

Die Technologie der adaptronischen Feinpositionierung wird im Folgenden anhand von Bild 2 erläutert. Das Zahnrad wird im Feinpositionierspannfutter eingespannt. Der in der Drehmaschine integrierte konoskopische Lasersensor erfasst die Geometrie des Zahnrades in einem Stirnschnitt. Die entwickelte Auswertelalgorithmik errechnet den Verzug und daraus den vorhandenen Exzenter des Zahnrades. Dieser wird in Form eines Korrekturvektors per Bluetooth an das Feinpositionierspannfutter übergeben. In der gleichen Aufspannung wird das Zahnrad auf die optimal errechnete Lage mittels im Feinpositionierspannfutter

integrierten Piezoaktoren positioniert. In dieser Lage erfolgt anschließend das Hartdrehen der Mittenbohrung, welche die Referenz für den nachfolgenden Prozess (Verzahnungsschleifen) darstellt.

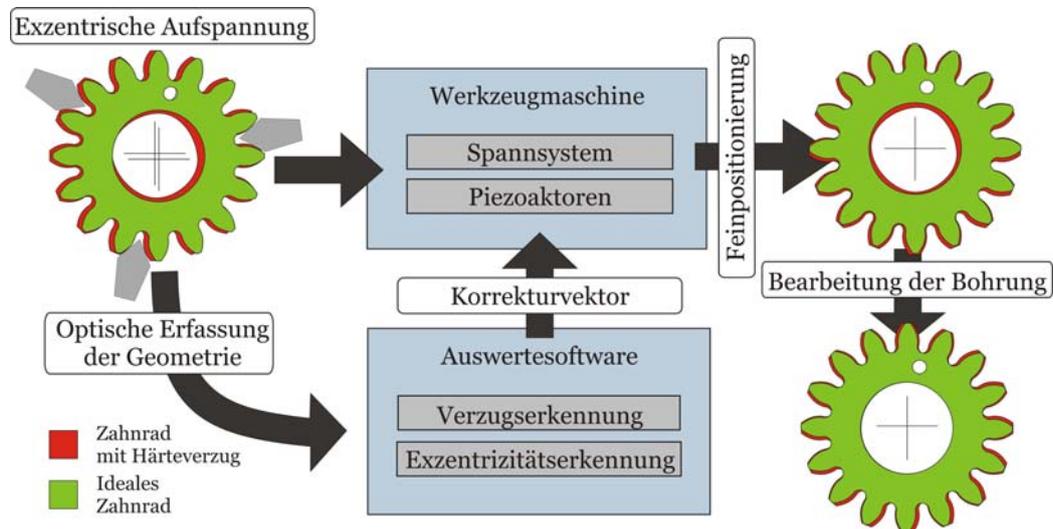


Bild 2: Schematische Darstellung der Prozessabläufe der adaptiven Feinpositionierung

### 3.1. Mechatronisches Feinpositionierspannfutter

#### 3.1.1 Funktionsprinzip und Aufbau

Im Rahmen des Teilprojekts A5 (SFB 489) wurde eine Feinpositioniervorrichtung in einem Spannfutter entwickelt [4]. Als Stellglieder wurden piezoelektrische Stapelaktoren ausgewählt. Diese weisen bei relativ geringem Gewicht und kompakten Abmaßen hohe Steifigkeit und hohe Kräfte bei sehr hoher Positioniergenauigkeit auf. Unter Berücksichtigung auftretender Fliehkräfte in einem rotierenden System, die auf die Piezoaktoren wirken, wurde eine sternförmige Anordnung der Aktoren realisiert (siehe Bild 3).

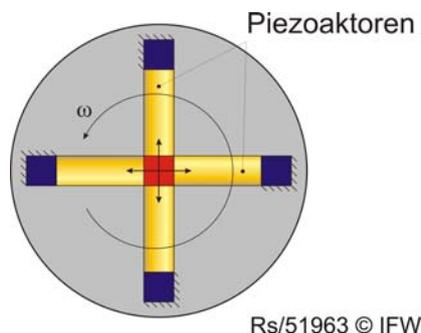


Bild 3: Sternförmige Anordnung der Piezoaktoren im Feinpositionierspannfutter

In derartiger Anordnung wirken die Fliehkräfte in Längsrichtung der Piezoaktoren, sodass diese im stationären Betrieb auf schädliche Biegung und Scherung nicht beansprucht werden. In Längsrichtung sind die Piezoaktoren jedoch hoch belastbar.

Der Strukturaufbau der Feinpositioniereinheit sowie dessen Funktionsprinzip sind in Bild 4 abgebildet. Über den feststehenden Basisring wird die aktorische Einheit mit der Spindel der Drehmaschine verbunden. Die Piezoaktoren werden einerseits gegen den f Basisring abgestützt. Andererseits drücken sie auf den in der Mitte liegenden Kern, welcher werkzeugmaschinenseitig mit dem feststehenden und werkstückseitig mit dem verstellbaren Basisring mittels jeweils einer Membran fixiert ist. Ein Spannsystem befindet sich auf dem verstellbaren Basisring, sodass das darin eingespannte Zahnrad in zwei Freiheitsgraden ausgerichtet wird.

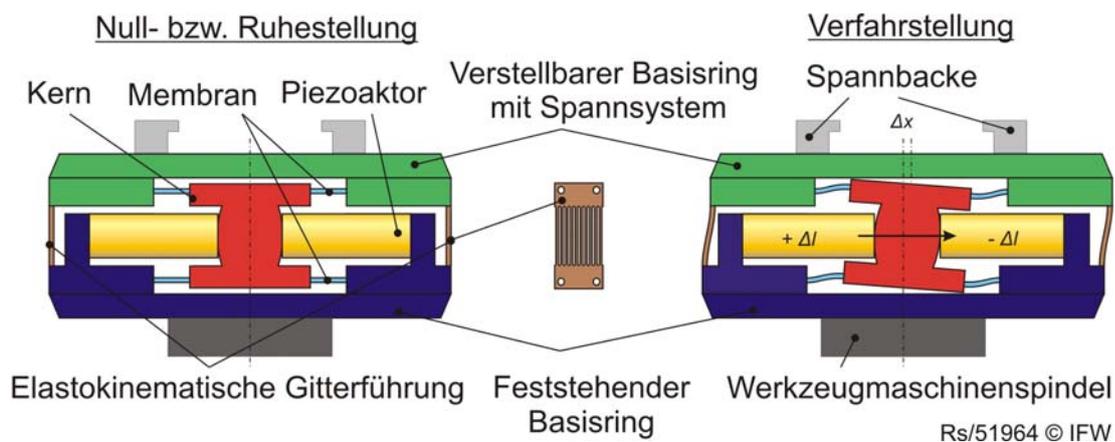


Bild 4: Strukturaufbau und Funktionsprinzip des Feinpositionierspannfutters

Die Struktur des Feinpositionierspannfutters wird so ausgelegt, dass diese steif in Richtung der Bearbeitungskraft, dennoch nachgiebig in Stellrichtung ist. Das Verkappen des verstellbaren Basisrings wird durch den Einsatz der Gitterstrukturen realisiert, die eine Art Festkörpergelenke darstellen. Durch ihr lineares, hysteresefreies sowie verschleißfreies Übertragungsverhalten, ihre kompakteren Abmaße und ihre spielfreie Ausführung sind elastokinematische Führungen für Anwendungen mit kleinen Stellwegen am besten geeignet. Die Längssteifigkeit der eingesetzten Gitterführung beträgt dabei das 1000-fache der Quersteifigkeit. Eine unzulässige Torsion des Feinpositionierspannfutters wird durch den Einsatz der beiden mit dem Kern verbundenen Membranen verhindert, die somit das Drehmoment von dem feststehenden auf den verstellbaren Basisring übertragen, ohne die Piezoaktoren auf Scherung oder Biegung zu beanspruchen.

Weiterhin übernimmt der Kern die Funktion eines Stellwegübersetzers. Die Aktorkräfte wirken auf halber Höhe des Kerns, sodass der verstellbare Basisring gegenüber dem feststehenden Basisring positioniert wird und das Übersetzungsverhältnis zu zwei resultiert. Durch Gegenspielanordnung der Aktoren wird der Kern um maximal den halben

Leerstellweg der Aktoren von 60  $\mu\text{m}$  verstellt. Die theoretische Verstellung des verstellbaren Basisring beträgt somit 120  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.2 Feinpositioniersystem im Einsatz

Das in eine Werkzeugmaschine integrierte Feinpositionierspannfutter samt Lasersensor ist in Bild 5 dargestellt. Das Feinpositionierspannfutter wird über den feststehenden Basisring mit der Drehmaschinen­spindel fixiert. Auf dem feststehenden Basisring ist ein Spulenring der berührungslosen Energieübertragung angeordnet, welcher im Prozess rotiert. Der zweite Spulenring wird stehend an der Drehmaschine fixiert. Über elastokinematische Gitterführungen werden die beiden Basisringe miteinander verbunden. Auf dem verstellbaren Basisring befindet sich das Spannsystem, womit die Zahnräder gespannt werden. Das Spannsystem nutzt das Prinzip der Membranspanntechnik. Die elastisch verformbare Spannmembran wird mit Druckluft betätigt.

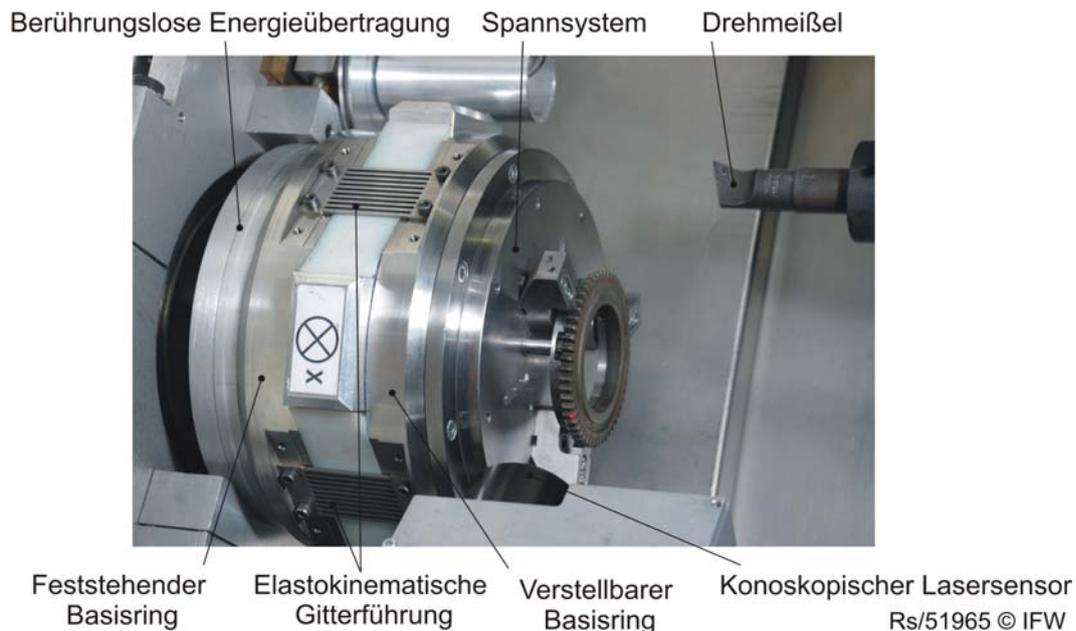


Bild 5: Gesamtaufbau des Feinpositioniersystems in einer Drehmaschine

Das in die Drehmaschine integrierte Feinpositionierspannfutter erreicht einen Stellweg von  $\pm 100 \mu\text{m}$ . Der Stellwirkungsgrad beträgt hierbei 83 %, der von dem theoretischen aufgrund der im System vorhandenen Nachgiebigkeiten abweicht. Die radiale Abtriebssteifigkeit des Feinpositionierspannfutters ergibt sich zu 25  $\text{N}/\mu\text{m}$ , bei welcher ein stabiler und sicherer Hartdrehprozess bei der Bearbeitung sowohl präzisionsgeschmiedeter Zahnräder als auch konventionell hergestellter gehärteter Nockenwellenräder gewährleistet wird.

### 3.1.3 Weiterentwicklung des Feinpositionierspannfutters

Der vorhandene Prototyp des Feinpositionierspannfutters wird zurzeit für das Hartdrehen der Nockenwellenräder eingesetzt. Dabei werden das Verhalten des Feinpositionierspannfutters sowie die Qualität der hartgedrehten Nockenwellenräder untersucht. Weiterhin wird die Auswertalgorithmik beim Vermessen der Zahnräder unter unterschiedlichen Bedingungen getestet.

Im Rahmen des Transferprojekts wurden neue Spannbacken entwickelt, die optimales Aufspannen der Nockenwellenräder ermöglichen. Da der Teilkreis des Nockenwellenrads eine Referenz für die Mittenbohrung ist, soll der Teilkreis im Idealfall koaxial zu der Mittenbohrung sein. Aus diesem Grund wurde die Spannung des Zahnrads im Teilkreis mit einem Industriepartner realisiert. Drei Spannspitzen, die radial in den Backen einstellbar sind, greifen in die Zahnlücken auf die Zahnflanken an (siehe Bild 6).

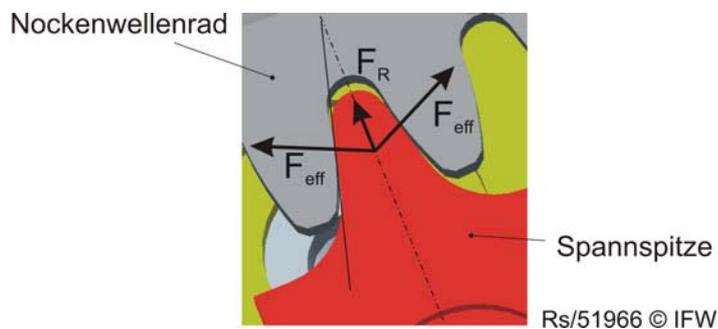


Bild 6: Spannen des Nockenwellenrads

Die statische Spannkraft einer Spannbacke beträgt ca. 800 N. Anhand der FEM-Simulationen wurde berechnet, dass höhere Spannkräfte das Zahnrad beim Aufspannen elastisch verformen, was nach dem Hartdrehen der Mittenbohrung zu einer unzulässigen Rundheit dieser führt. Durch den Einsatz derartiger Spannelemente wird vorteilhaft der Keileffekt genutzt. Somit beträgt die effektive Spannkraft das Vierfache der radialen Spannkraft, die sich aus der Winkel zwischen der Spannspitzeachse und der Spannfläche von  $15^\circ$  ergibt.

Im weiteren Schritt wurden Anforderungen an ein neues Feinpositionierspannfutter aufgestellt, das bei einem Industriepartner zum Einsatz kommen soll. Diese betreffen unter anderem die Abmaße, die Stellwege des Spannfutters, die Schnittstelle zwischen der Werkzeugmaschine und dem Spannfutter sowie der Art des Spannsystems. Das Funktionsprinzip des Feinpositionierspannfutters bleibt mit dem oben beschriebenen identisch. Aufgrund der neuen Anforderungen wurden jedoch alle im Kraftfluss befindlichen Komponente neu ausgelegt und hinsichtlich der Steifigkeit und des Stellwegs optimiert. Um

den Backenhub für den automatisierten Prozess zu erhöhen, wurde eine Spannmembran entwickelt, die mit einer Zugstange hydraulisch betätigt wird. Weiterhin ist eine Luftanlagekontrolle vorgesehen. Zurzeit steht die Fertigung der Komponente sowie der Aufbau des neuen Feinpositionierspannfutters bevor, mit dem Ziel, dieses ausgiebig zu testen und anschließen bei einem Industriepartner in die Serienproduktion einzusetzen.

### **3.2. Messtechnik**

Eine schnelle und präzise Datenerfassung und –verarbeitung ist essentiell für die taktzeitgerechte Feinpositionierung der Nockenwellenzahnräder. Der Einsatz innerhalb der Werkzeugmaschine erfordert ebenso eine äußerst robuste Messtechnik. Das Institut für Mess- und Regelungstechnik forscht sehr intensiv im Bereich der optischen Geometrie und Rauheitsmessung in der Fertigungsmesstechnik. Aufgrund der Erfahrungen mit verschiedenen optischen Messprinzipien fiel die Entscheidung auf einen konoskopischer Punktsensor, der ConoProbe Mark III der Firma Optimet Ltd. Die konoskopische Holografie basiert auf ein kolineares Messprinzip: Die Beleuchtung und die Aufnahme des reflektierten Lichtes sind auf einer (optischen) Achse. Durch dieses Prinzip lässt sich ein sehr hoher Winkelbereich ( $\pm 85$  Grad zur orthogonal zur optischen Achse) abdecken, welcher die vollständige Erfassung der Zahnradgeometrie in einem Stirnschnitts ermöglicht [5]. Dieser Sensor verfügt über eine hohe maximale Messfrequenz (3000 Hz) sowie eine schnelle Datenanbindung (Ethernet) [6]. Die erreichbare Genauigkeit des Sensors hängt hauptsächlich von der gewählten Linse ab. Weitere Einflussfaktoren sind die optische Kooperativität des Bauteils, die getroffenen Einstellung des Sensors sowie der Einfallswinkel des Laserstrahles auf dem Bauteil. Bei der in der vorliegenden Applikation gewählten Linse „50 extended“ beträgt die spezifizierte Genauigkeit  $6 \mu\text{m}$  bei einer Wiederholgenauigkeit ( $1\sigma$ ) von  $1 \mu\text{m}$  [6].

Die extended Linsen ermöglichen einen erhöhten Arbeitsabstand, welcher bei der Linse „50 extended“ circa 85 mm beträgt, während der Messbereich mit 8 mm erhalten bleibt (Bild 7). Dieser große Arbeitsabstand wird durch die Messung des bereits eingespannten Zahnrades notwendig, da ansonsten der Sensor mit dem Spannfutter kollidieren würde bzw. der Sensor mit einer zusätzlichen Linearachse relativ zu Zahnrad und Spannfutter bewegt werden müsste.

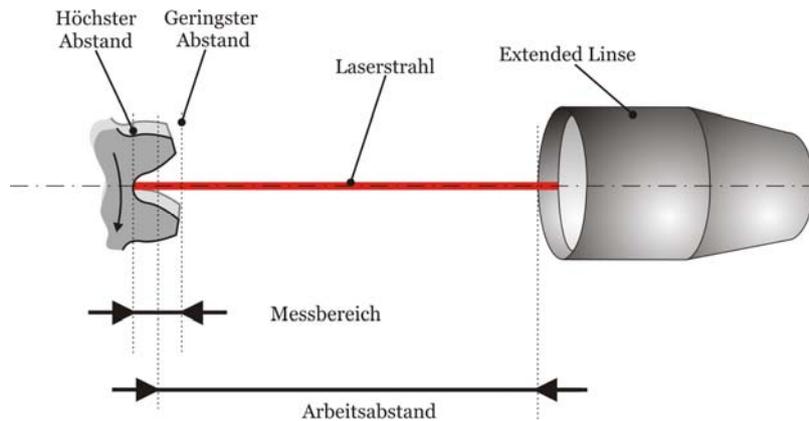


Bild 7: Abstandsdefinitionen des konoskopischen Lasersensors

Prinzipiell erlaubt der ConoProbe Mark III zwei verschiedene Aufnahmemodi. Zum einen ist eine Zeitsteuerung möglich, d.h. zu äquidistanten Zeitpunkten wird eine Messung gestartet, zum anderen ist eine Triggerung zum Auslösen einer Messung möglich. In beiden Fällen ist die maximale Messfrequenz zu beachten.

Zur Erfassung der Winkeldaten während einer Bauteildrehbewegung werden die Signale der Inkremental-Winkelgeber der Werkzeugmaschine ausgewertet. Ebenfalls können Winkelgeber mit sinusförmigem Ausgangssignal durch Zwischenschaltung von üblichen Interpolationselektroniken verwendet werden.

Die Auswertung selbst erfolgt hierbei über eine rechnergebundene PCI-Zählerkarte des Herstellers National Instruments. Die Zählerkarte ermöglicht eine Vier-Quadranten Auswertung der Inkrementalsignale, dies bedeutet das sowohl steigende als auch fallende Flanken bei zwei  $90^\circ$  phasenverschobenen Signalen (Spur A und Spur B) ausgewertet bzw. gezählt werden. Je nach Drehrichtung erfolgt ein Inkrementieren oder Dekrementieren des Zählerstandes. Die dritte Spur (Z-Spur) des Winkelgebers dient als Nullreferenz und setzt den aktuellen Zählerstand beim Überfahren der Referenzmarke auf Null zurück [7].

Um eine gleichmäßige Messpunkteverteilung zu gewährleisten, wurde eine winkeläquidistante Synchronisation des optischen Abstandssensors mit dem inkrementellen Winkelgeber realisiert. Bei der winkeläquidistanten Messsynchronisation wird nach einem definierten Winkelversatz eine Punktmessung durchgeführt. Durch die Entkopplung von der Rotationsgeschwindigkeit sind deren Änderungen unerheblich für die Messaufnahme. Beschränkt ist dieses Verfahren lediglich durch die Messfrequenz des Sensors, d.h. die Rotationsgeschwindigkeit des Bauteils ist durch die Anzahl der aufzunehmenden Messpunkte (und dadurch durch den resultierenden Winkelversatz) begrenzt. Die Umsetzung der Messdatensynchronisation erfolgt durch die Triggerung des optischen Sensors durch eine Spur des Inkrementalwinkelgebers. Um einen Winkelversatz einstellen

zu können, bietet der ConoProbe Mark III die Möglichkeit per Softwareeinstellung einzelne Flanken auszulassen (Dilution).

Der optische Sensor liefert als Reaktion ein Rechtecksignal am ROG (Read-Out-Gate) Ausgang mit der Dauer  $1/\text{Messfrequenz}$ , dessen steigende bzw. fallende Flanke den Beginn und das Ende des Messvorgangs signalisiert. Die steigende und fallende Flanke des Sensors wird dazu genutzt, um den Zählerstand der Counter in den Buffer zu übertragen. Eine schnelle und robuste Exzentererkennung des gemessenen Bauteils kann über einfache geometrische Merkmale erfolgen, beispielsweise bei Zahnrädern über Extraktion des Kopfkreises oder Extraktion des Zahnlückengrundes. In beiden Fällen kann eine Einpassung der extrahierten Messpunkte in einen hinterlegten Referenzkreis erfolgen. Da die Anzahl der einzupassenden Punkte gleich der Anzahl der Zähne des Zahnrades ist, kann die Einpassung sehr zeitnah durchgeführt werden. Im Falle des Nockenwellenzahnrades (Bild 1) sind dies 55 extrahierte Messpunkte. Zur Berechnung des vorhandenen Exzenters wird der Mittelpunkt des eingepassten Kreises bestimmt. Der Vektor von diesem Mittelpunkt zum Nullpunkt des Koordinatensystems stellt den Korrekturvektor dar.

Bei der Berechnung des Korrekturvektors ist zu beachten, dass die Auswertung der geometrischen Informationen auf eine Synchronisation mit dem Winkelgeber der Werkzeugmaschine beruht. Erforderlich für die Umsetzung ist jedoch eine Synchronisation mit dem mechatronischen Spannfutter.

Aus diesem Grund wird beim Einbau des Spannfeeders zunächst der Winkelversatz zwischen der Nulllage des Winkelgebers mit der X-Achse des Spannfeeders bestimmt. Zunächst wird der Korrekturvektor aus der Messung eines in der Nulllage des Spannfeeders eingespannten Bauteils errechnet. Anschließend wird das Bauteil definiert in eine Richtung (Positive X-Achse, Bild 8) verschoben und anschließend wieder vermessen. Falls die Winkellage korrekt wäre ( $\varphi = 0$ ), würde der anfängliche y-Wert erhalten bleiben (Soll-Korrekturvektor).

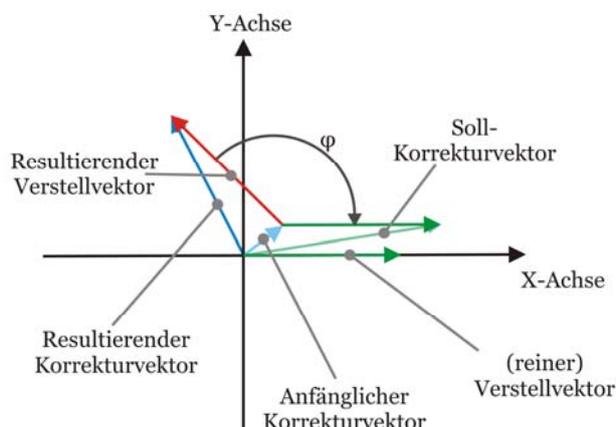


Bild 8: Winkelsynchronisation Spannfutter und Winkelgeber

Aufgrund eines Winkelversatzes wird jedoch ein anderer, resultierender Korrekturvektor angezeigt. Der Winkelversatz  $\varphi$  wird aus den beiden Messungen errechnet und in der Auswertesoftware gespeichert.

Der errechnete Korrekturvektor aus den geometrischen Daten wird in den folgenden Messungen stets mit diesem Winkelversatz korrigiert, so dass dem mechatronischen Spannfutter direkt die erforderlichen Koordinaten zur Exzenterkompensation bereitgestellt werden.

#### 4. Prozessanbindung

Die Technologie der adaptronischen Feinpositionierung wird im Rahmen des Transferprojekts für einen automatisierten Einsatz in der Serienfertigung konzipiert. Dabei steht im Fokus ein modularer Aufbau des Systems, das in unterschiedlichen Drehmaschinen integrierbar und mit einem geringen Anpassungsaufwand einsetzbar ist. Die Voraussetzungen für die Modularität werden von einer Seite durch standardisierte mechanische Schnittstellen erfüllt. Andererseits verfügt die Datenstruktur bzw. die Datenanbindung die meist verbreiteten Schnittstellen wie ProfiBus und Ethernet, wobei die Datenanbindung neben unterschiedlichen Werkzeugmaschinen ebenfalls für unterschiedliche Prozesse von großer Bedeutung ist.

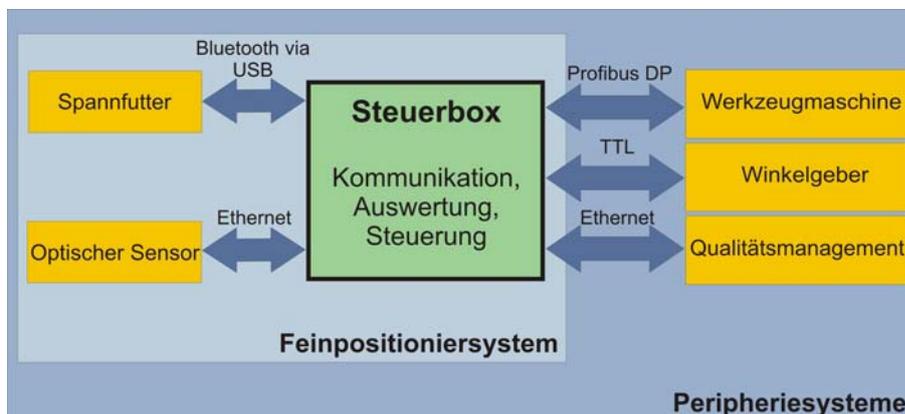


Bild 9: Kommunikationsstruktur der Steuerbox

In der Datenstruktur der adaptronischen Feinpositionierung wird zwischen zwei Arten der Datenanbindung unterschieden (vgl. Bild 9). Der interne Datenaustausch erfolgt innerhalb des Feinpositioniersystems zwischen einzelnen Komponenten, wie das mechatronische Spannfutter und der konoskopische Lasersensor. Der externe Datenaustausch beinhaltet die Kommunikation des Feinpositioniersystems mit der Werkzeugmaschine, die nach dem ProfiBUS DP-Standard realisiert wird. Für den Datenaustausch mit der Peripherie, beispielsweise für das Qualitätsmanagement, ist eine Schnittstelle via Ethernet vorgesehen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Technologie der adaptiven Feinpositionierung dient zur fertigungsintegrierten Feinpositionierung rotationssymmetrischer Bauteile, vorzugsweise Zahnräder, im Hartdrehprozess. Das modular aufgebaute System besteht aus den drei Teilsystemen, Spannfutter, Messtechnik und Datenverarbeitung, sowie der zentralen Steuerungseinheit. Kern des Spannfutters sind vier sternförmig angeordnete Piezoaktoren, welche es ermöglichen, exzentrisch eingespannte Bauteile in einer Ebene zu verstellen. Um eine Exzentrizität auch von komplexen Bauteilen feststellen zu können, kommt der schnelle und präzise konoskopische Lasersensor ConoProbe Mark III der Firma Optimet Ltd. zum Einsatz. Durch die Kopplung mit einem Winkelgeber ist es möglich, die Geometrie des eingespannten Bauteils zu erfassen und daraus einen Korrekturvektor zu ermitteln. Dieser wird über eine kabellose Bluetooth-Verbindung an das Spannfutter übermittelt. Die Datenauswertung übernimmt die so genannte Steuerbox, welche auch die Kommunikation zwischen dem Feinpositioniersystem und der Peripherie über industrielle Datenanbindungen übernimmt. Das Feinpositioniersystem ist für einen Einsatz im automatisierten Fertigungsprozess von Nockenwellenzahnrädern vorgesehen. Ziel des Projektes ist es, durch Einsatz dieser Technologie die Qualität der Zahnräder zu erhöhen bzw. Ausschuss zu minimieren.

**Danksagung:** Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Transferprojekts SFB 489 T4.

- [1] <http://www.vda.de/de/zahlen/jahreszahlen/automobilproduktion/>
- [2] Türich, A.: Schleifen von Verzahnungen. Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren. 60. Ausgabe. Essen: Vulkan-Verlag, 2001
- [3] N. N.: Arbeits- und Ergebnisbericht 2000-2001-2002 des Sonderforschungsbereichs 489. Institut für Werkstoffkunde, Hannover, 2002
- [4] N. N.: Arbeits- und Ergebnisbericht 2003-2004-2005 des Sonderforschungsbereichs 489. Institut für Werkstoffkunde, Hannover, 2005
- [5] Pahlke, A.; Gillhaus, R.; Kästner, M.; Reithmeier, E.; Schroth, M.: „Mit scharfem Blick - Konoskopische Sensoren zur Erfassung komplexer Bauteile“, QZ - Qualität und Zuverlässigkeit, 06/2009
- [6] N.N.: ConoProbe MKIII OEM Manual, Version 0.99B, Optimet Manual P/N 3J06007, Optimet, Optical Metrology Ltd.
- [7] N.N.: DAQ 6601/6602 User Manual, Part Number 322137B-01, 1999, National Instruments Corporation