Problemlösungen mit 3 D-Koordinatenmeßgeräten in der Praxis

Von **H. H. Danzer,** Graz/Österreich

Zusammenfassung

An Beispielen des Getriebebaues sowie des Fahrzeugbaues wird gezeigt, wie mit Hilfe der 3D-Koordinatenmeßtechnik komplexe funktionsorientierte Erkenntnisse gewonnen und für gezielte Parameteroptimierungen und präventive Qualitätssicherung erfolgreich eingesetzt werden können.

Die heutigen Möglichkeiten der 3D-Koordinatenmeßtechnik haben zur Herausbildung gänzlich neuer Anwendungsgebiete von Meßgeräten geführt. Diese Anwendungen gehen über den ursprünglichen Zweck - nämlich die Überprüfung der Übereinstimmung der Gestalt von Werkstücken mit den Solldaten - so weit hinaus, daß gänzlich neue Funktionen zur Produktionsunterstützung entstanden.

Diese Entwicklung soll zuerst anhand eines Beispieles aus dem Motor- und Getriebebau illustriert werden:

1. Achsabstandsmessung

Das erste Bild zeigt den Ausschnitt der Zeichnungsdarstellung eines Getriebegehäuses:

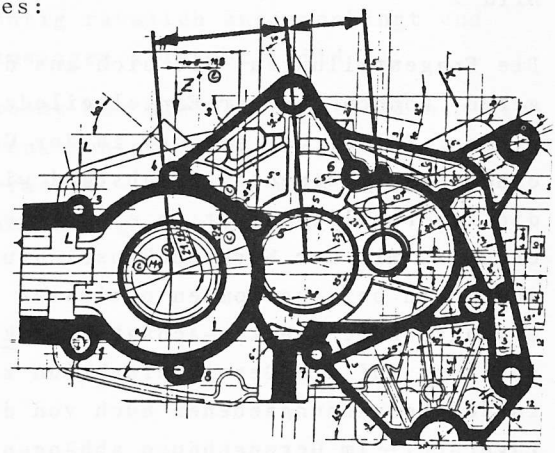


Bild 1

Die große Versuchung, der wir als Meßtechniker gerne anheim fallen, besteht darin, daß wir uns mit unserem Denken und Messen hauptsächlich innerhalb der 2 dimensionalen Artikulationsmöglichkeiten des Konstrukteurs bewegen und die 3 dimensionalen Möglichkeiten nicht voll nutzen.

Wir bemühen uns z.B. einen in der Ansicht kotierten Achsabstand so genau als möglich zu messen, ohne daß wir so ganz sicher sind, was mit dem Meßwert eigentlich geschehen soll.

Das Getriebekonzept des betroffenen 2-Gang-Automatik Mopedmotors zeigt Bild 2:

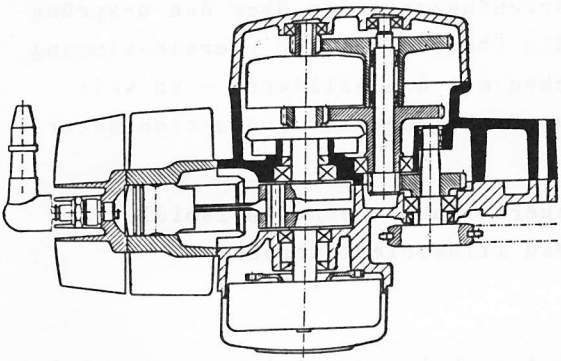


Bild 2

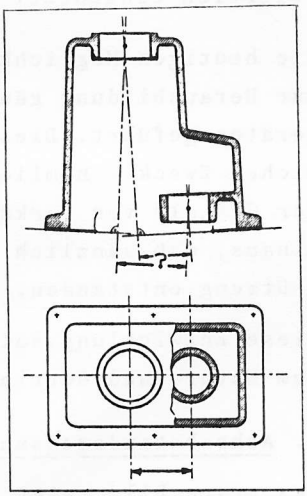


Bild 3

Die Fragestellungen, die sich aus dem Getriebekonzept ergeben, können aus der Einzelteiledarstellung nicht erkannt werden. Selbst der anfangs in der Gehäuseteilzeichnung so eindeutig scheinende Achsabstand wird plötzlich vage, da die Lagerstellen nicht in einer Ebene liegen und das Meßergebnis mit der Werkstückausrichtung variiert (Bild 3). Aber auch bei angenommen optimaler Ausrichtung läßt der erwähnte Lagerstellen-Achsabstand keine direkten Rückschlüsse auf die Getriebefunktion zu, da die Achsabstände in den Verzahnungsebenen auch von der räumlichen Lage der Lagerstelle im Gegengehäuse abhängen.

2. Räumliche Achslage

Es fällt überdies auf, daß bisher kaum die räumliche Winkelverschränkung der Einbaulagen der Getriebewellen untersucht wurde, wogegen beim Zahnrad selbst ein enormer Aufwand zur Erreichung kleiner Schrägungswinkelabweichungen getrieben wird. Es fehlte bisher die gezielte Optimierung des Gegenparameters, weil Zahnschrägen leichter genau gemessen werden können als Achslagen in montierten Gehäusen.

Auch die Beurteilung der Fluchtung der Kurbelwellenlagerstellen in den 3 Teilgehäusen (Bild 2) wird meist nur 2-dimensional betrachtet, nämlich die Abweichungen in den Gehäuseansichten addiert und dabei unbewußt unterstellt, daß die Anschlußflächen am mittleren Gehäuse parallel seien. Das sind sie aber nicht! Das bedeutet, daß das Koordinatensystem des oberen Außenteils nicht nur durch Parallelverschiebung, sondern auch durch räumliche Kippung entsprechend den Anschlußflächen des Mittelteils an das untere Koordinatensystem angeschlossen werden muß.

3. Funktionelle Aussagen

Meßergebnisse für eine zielführende Beurteilung von Teilen oder Problemstellungen können wie an diesem Beispiel gezeigt, nur gewonnen werden, wenn man die repräsentativen Messungen der einzelnen im Austauschbau gefertigten Teile rechnerisch funktionsrichtig räumlich zusammenhängt und funktionell maßgebende Aussagen ableitet (Bild 4).
Wenn man so vorgeht, bekommt man die Werte, unter denen die Getriebe in der Praxis funktionieren (oder nicht funktionieren) und man ist überrascht wie wenig auch in der Entwicklung über diese Zusammenhänge bekannt ist.

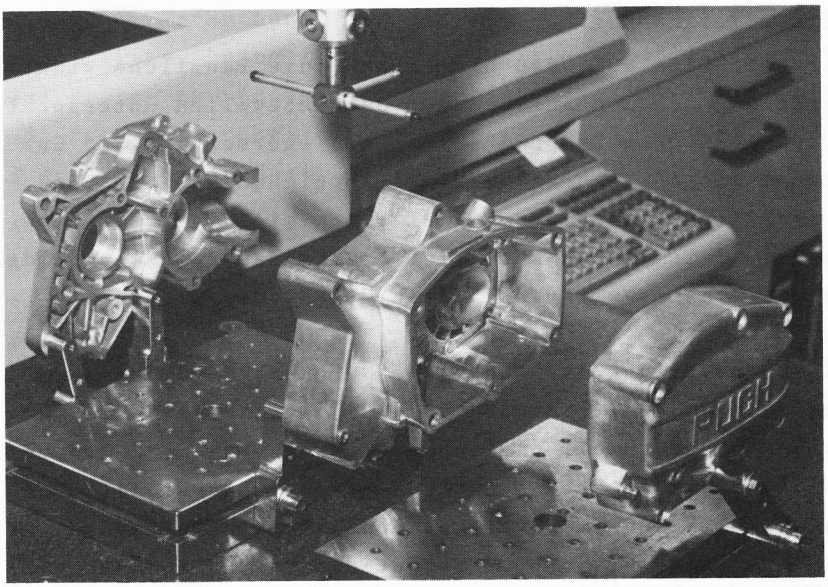


Bild 4

4. Einfluß von Formabweichungen

Bei der weiteren Untersuchung derartiger Gehäuse stellen wir fest, daß bei den heute angewandten, hochrationalisierten Fertigungsverfahren die bisher nicht sonderlich beachteten Merkmale höhrerer Ordnung (wie z.B. die Formabweichungen) Werte annehmen, die in die Größenordnung der heute erreichbar kleinen Maßtoleranzen kommen. Bild 5 zeigt eine Reihenmessung an einer Gehäusebohrung unter Berücksichtigung der Bohrungsform wie Ovalität, Konizität, etc.:

Bei jeder untersuchten Bohrung wurde eine Reihe von konventionellen 2 Punkt Durchmessermessungen durchgeführt und das Streufeld in Relation zu den Toleranzgrenzen aufgetragen. Ob dieser Zusammenhang gut oder schlecht ist, hängt ausschließlich von den funktionellen Anforderungen bzw. Auswirkungen ab und läßt sich weder zum Arbeitsverfahren noch zu den Formparametern als Zuordnung normieren.

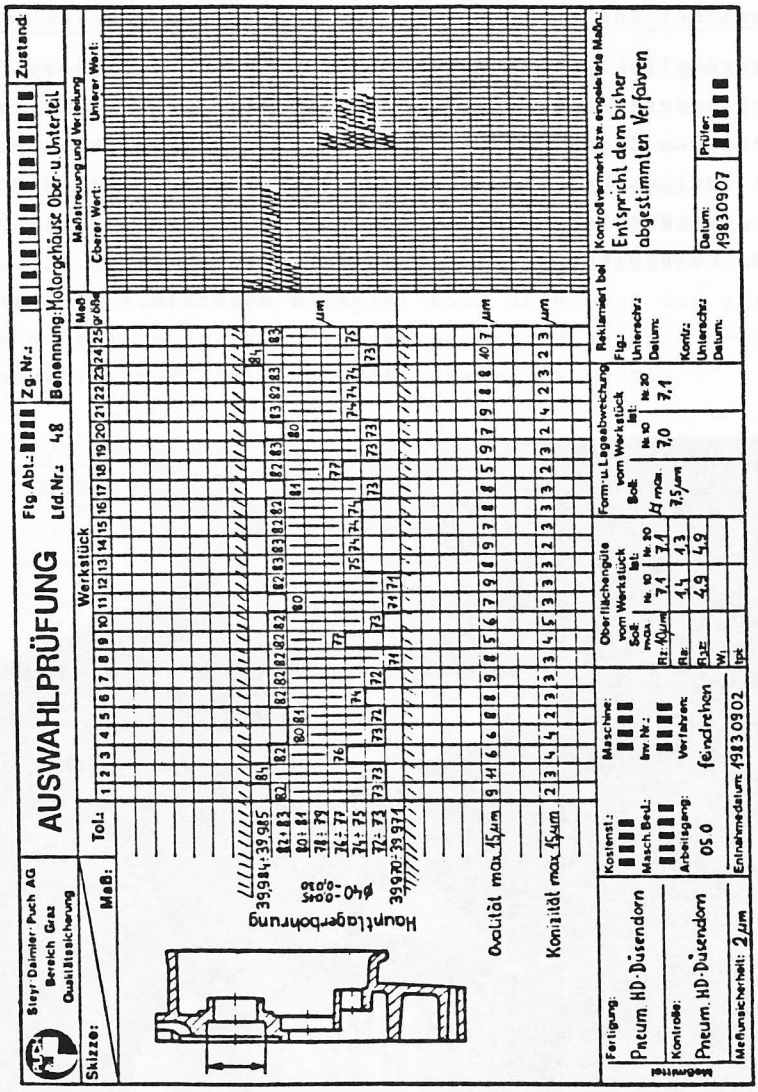
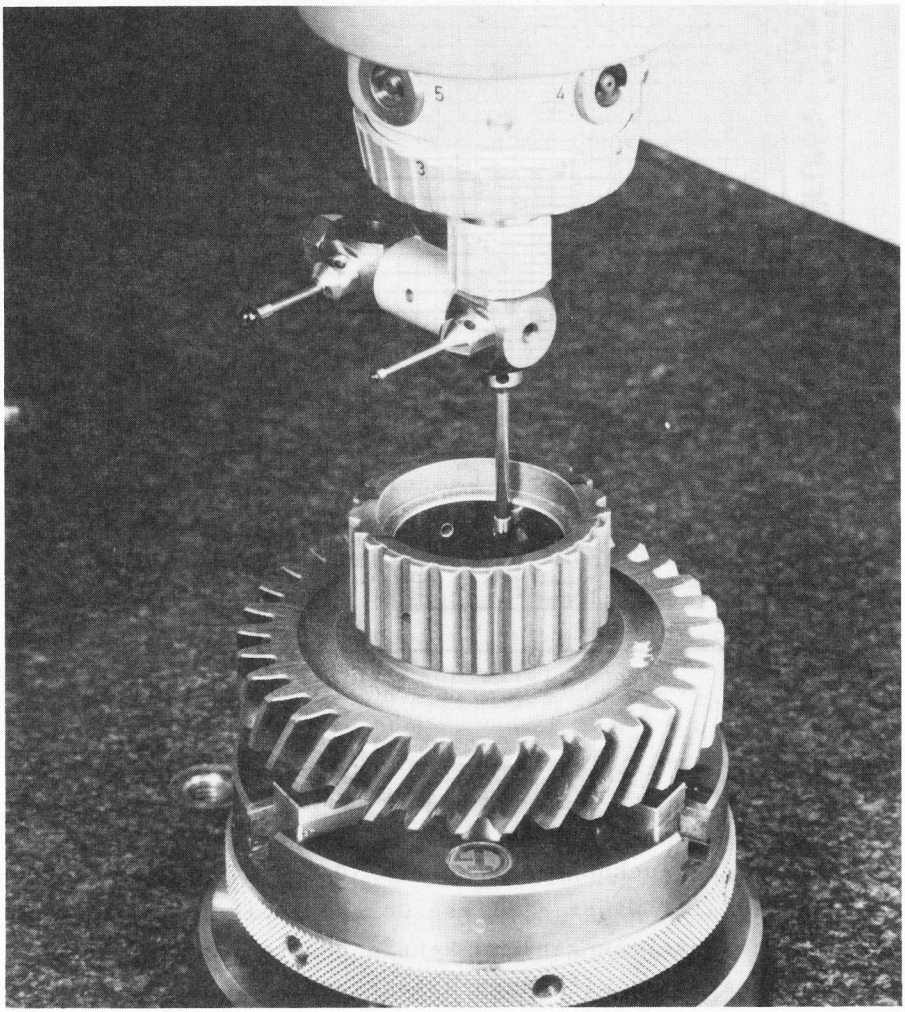


Bild 5

Für Problemuntersuchungen mit Hilfe 3D-Koordinatenmeßzentren ist es jedenfalls wichtig, diese Gegebenheiten (Größenordnung der Formabweichungen) zu kennen und bei Antast- und Ausrichtestrategien mitzuberücksichtigen.

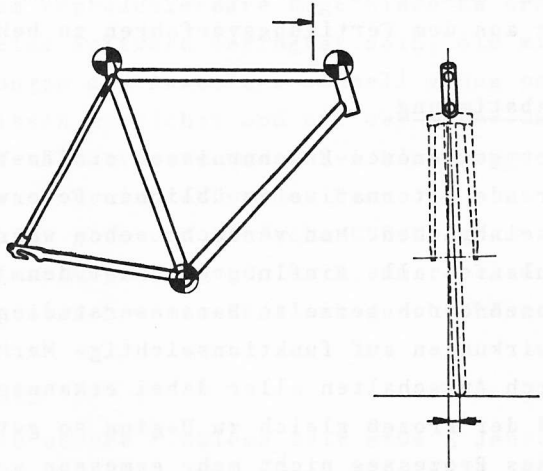
5. Zahnradmessung

Um funktionelle Zusammenhänge zielführend zu erfassen, führen wir auch unsere Zahnraduntersuchungen auf einem 3D-Koordinatenmeßzentrum durch. Nur so können die Verzahnungselemente auf die übrigen Funktionselemente z.B. Lagerstellen direkt bezogen ausgewertet werden. Dies ist auf konventionellen ZR-Meßmaschinen nicht möglich (Bild 6):



6. Karosserie-Meßtechnik

Ich möchte aber auch noch ein anderes Gebiet der 3D-Koordinatenmeßtechnik anschneiden, daß zu Unrecht oft vernachlässigt wird: Die Karosserie-Meßtechnik. Zwar ist die Genauigkeit im 1/10 mm Bereich wissenschaftlich weniger interessant, problemlösungstechnisch ergeben sich meist komplexere Aufgabenstellung als z.B. bei Getrieben.
Mit einem vereinfachten Beispiel soll auch hier der zielführende Einsatz der Koordinatenmeßtechnik gezeigt werden: Ein Fahrradrahmen soll überprüft werden (Bild 7):



In einer Prüfvorrichtung ist das einfach. Geht der Rahmen hinein, ist alles in Ordnung, geht er nicht hinein, muß er solange irgendwie verbogen werden (in der Fachsprache gerichtet) bis er hineingeht.
Soweit bisheriges Denken. Mit einer 3D-Koordinatenmeßmaschine ist man zuerst gezwungen, eine sinnvolle und gut reproduzierbare, auch im Sinne der Einpaßproblematik fehlerminimierende Meßbasis festzulegen. Dies seien die 3 markierten Punkte.

Wenn nun der Steuerkopf unten 0,5 mm zu weit nach rechts steht, was bedeutet das? Die Frage ist so gestellt, schwer zu beantworten. Wenn man die Untersuchung jedoch auf die funktionelle Auswirkung hin auswertet, dann bekommt man als Ergebnis einen Vorderradspurversatz zur Rahmenmittenebene bzw. zu einem exakt montierten Hinterrad von 4 mm.
Dieser Wert ist sogar für Nicht-Experten einer Beurteilung zugänglich. Um wieviel besser kann man daher in der Fertigung und Entwicklung mit derartigen Ergebnissen operieren. In unserem Beispiel kann jetzt gezielt ausgesagt werden, um wieviel 1/10 mm an welcher Stelle die Rahmenbauvorrichtung abgestimmt werden muß, um künftig funktionsfähige Rahmen direkt aus dem Fertigungsverfahren zu bekommen.

7. Parameterabstimmung

Mit den derart gewonnenen Erkenntnissen eröffnet sich eine sehr zielführende Alternative zu üblichen Feuerwehraktionen bei Qualitätseinbrüchen. Man versucht schon während des Produktionsanlaufes alle Einflußgrößen auf den jeweiligen Fertigungsprozeß durch gezielte Parameterstudien bezüglich der Auswirkungen auf funktionswichtige Merkmale zu erfassen. Durch Ausschalten aller dabei erkannten Störfaktoren wird der Prozeß gleich zu Beginn so gut abgestimmt, daß während des Prozesses nicht mehr gemessen werden muß und nur mehr über Verfahrens-Audits von Zeit zu Zeit Rechenschaft darüber gelegt wird, daß der Prozeß noch gleich gut beherrscht läuft.

Dieser Weg wurde erst mit Hilfe moderner 3D-Koordinatenmeßtechnik möglich. Im Unterschied zu teilespezifischen Meßgeräten oder auch Meßrobotern können mit 3D-Koordinatenmeßzentren der letzten Generation die Auswirkungen aller Parameter, ohne Begrenzung auf erwartete Zusammenhänge, geklärt werden.

8. Auswahl der Koordinatenmeßgeräte

Bei der Auswahl von 3D-Koordinatenmeßgeräten ist äußerste Vorsicht am Platze, wenn man gezielte Prozeßoptimierung betreiben will. Aufgrund der aufgezeigten Zusammenhänge zwischen Abständen, Winkeln und Form muß z.B. für Getriebegehäusemessungen einerseits ein entsprechendes Meßmaschinenvolumen vorhanden sein, anderseits aber auch die für die eindeutige Formmessung erforderliche hohe Genauigkeit gegeben sein.
Eine hohe Genauigkeit muß außerdem als Basis für rechnerische Verknüpfungen vor allem von mehreren Bauteilen gegeben sein, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.
Weiters muß eine Software verfügbar sein, die mit den Problemstellungen des Anwenders schnell genug parallel zu den Erkenntnissen mitwächst und mit der große Datenmengen in eine für Werkstattleute und Entwicklungsingenieure aussagefähige Form verdichtet werden kann.
Zuletzt muß eine gute und einfache CNC-Programmierbarkeit für Wiederholmessungen gegeben sein, um repräsentative Reihenmessungen auch wirtschaftlich durchführen zu können.

8. Auswirkungen

Wir haben alle unsere Probleme seit etwa 5 Jahren mit 3D-Koordinatenmeßzentren der Fa. Zeiss/Oberkochen in der beschriebenen Art lösen können (Bild 7, 8).
Auf diese Weise ist es uns gelungen, unseren guten Ruf bezüglich Funktion, Lebensdauer und Qualität unserer Produkte laufend neu zu festigen.
Bekanntlich läßt sogar Mercedes den Geländewagen G (Bild 9) bei Steyr-Daimler-Puch in Graz bauen und in kürze wird auch der Allradtransporter für VW in Graz vom Band laufen.

Intern wichtig ist ein wesentlich besseres Wissen über unsere Fertigung und die Funktions-Toleranzgrenzen.
Wir könnten überdies bei unseren Geländewagenlinien durch den gezeigten Einsatz der 3D-Koordinatenmeßtechnik auf Baulehren verzichten. Durch sporadische Messungen im Rahmen

des Verfahrensaudits bleibt das Qualitätsgeschehen voll im Griff und bei Veränderungen können der Fertigung meist Hinweise gegeben werden bevor es zu Montage- oder Funktionsstörungen kommt.

Aber auch die Entwicklung bekommt das Feedback, welche Toleranzen für das Funktionieren notwendig sind.
Dies führt dazu, daß die Entwicklung zunehmend in die Lage versetzt wird, funktionsbezogene Toleranzen anzugeben, auf deren Einhaltung sie sich aufgrund der aufgezeigten Problemlösungs- und Abstimmungswege auch tatsächlich verlassen kann.
Dies ist auch der einzige Weg Angsttoleranzen aus den technischen Unterlagen zu eliminieren, die ohnehin nie eingehalten werden konnten, aber für eventuelle Probleme automatisch der Produktion die Schuld zuschoben.

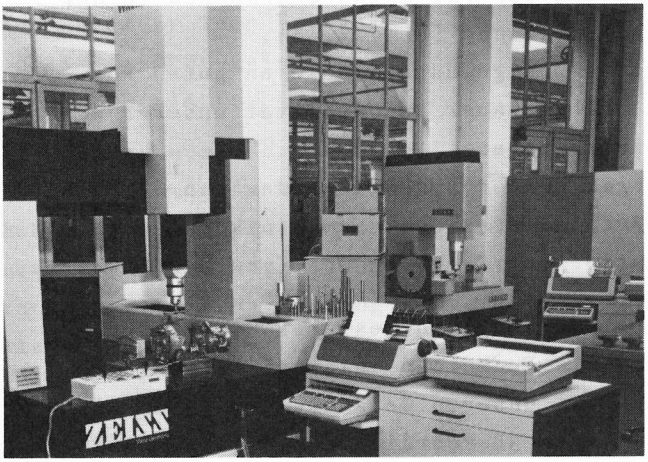


Bild 7

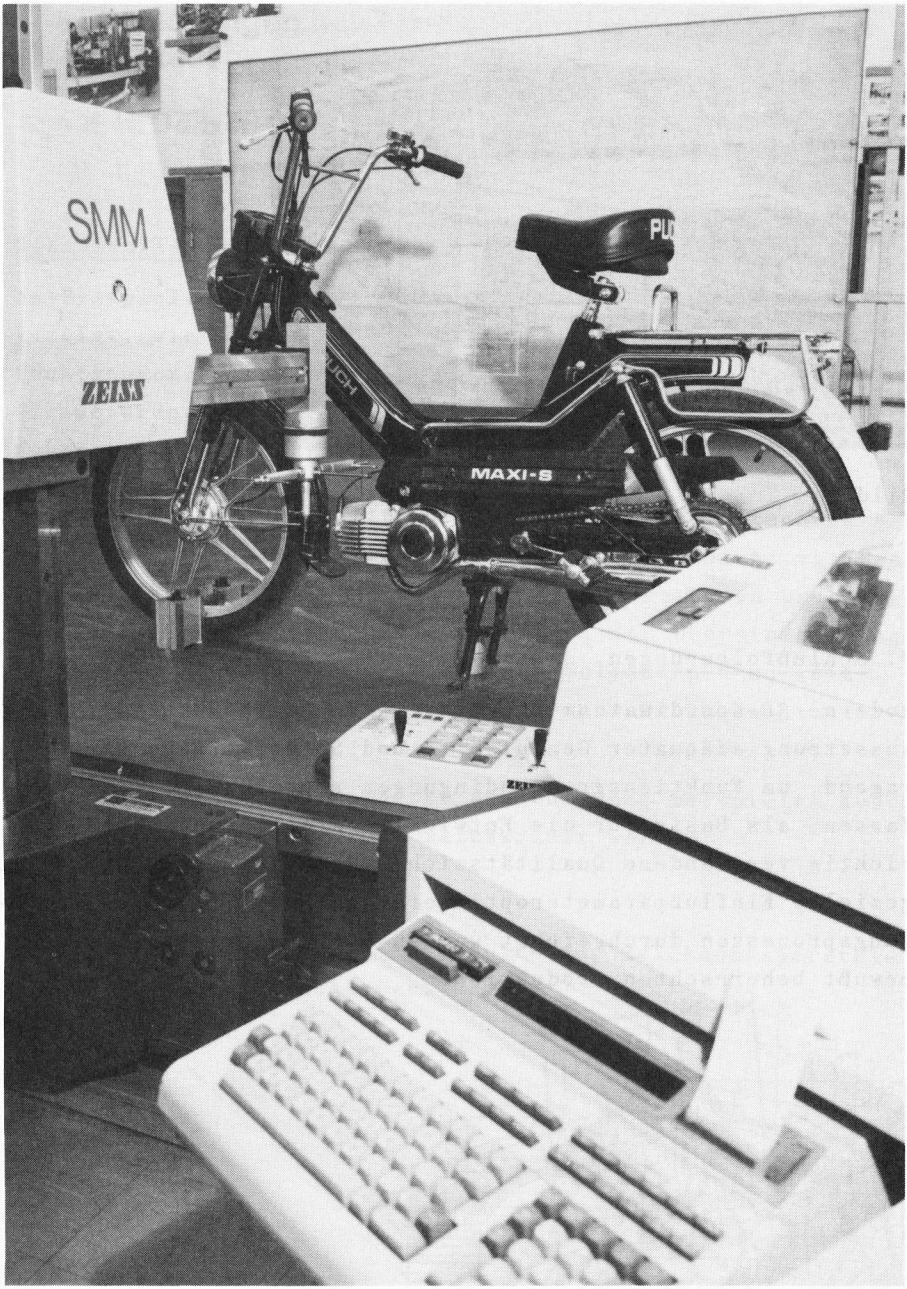


Bild 8

Bild 9

9. Schlußfolgerungen

Moderne 3D-Koordinatenmeßgeräte eignen sich unter der Voraussetzung adäquater Genauigkeit und Software ganz hervorragend, um Funktionsgrenzbedingungen reproduzierbar zu erfassen, als Basis für die Entwicklungsfestlegungen und richtig verstandene Qualitätssicherung. Darüberhinaus können gezielte Einflußparameteroptimierungen beim Start von Fertigungsprozessen durchgeführt werden mit dem Ergebnis einer bewußt beherrschten Produktion.