Messen, Prüfen und Analysieren von Schraubenkompressoren unter Einsatz eines 3D-Koordinatenmeßgerätes

H. Müller, Leitz Meßtechnik, Wetzlar K. Wahl, Leitz Meßtechnik, Wetzlar

Zusammenfassung:

Immer kleiner werdende Fertigungstoleranzen, größere Serien, größere Produktvielfalt und der Ruf der ISO 9000 machen den Einsatz hochgenauer, zertifizierter Meßmittel unabdingbar. Alle Komponenten des Schraubenkompressors sowie die bei der Fertigung eingesetzten Werkzeuge müssen wirtschaftlich geprüft werden. Unterschiedlichste Geometrien, Profile und Elemente müssen erfaßt werden. Nahezu das gesamte Feld der Längenmeßtechnik ist gefragt.

Die Meßdaten aller Komponenten müssen nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet und verknüpft werden. Die Ergebnisse aller Messungen und Analysen sollen zentral verwaltet werden. Eine statistische Kontrolle des gesamten Fertigungsprozesses ist wünschenswert. Nur hochgenaue 3-Koordinatenmeßgeräte mit den heute üblichen leistungsfähigen Rechnern und Software-Paketen bieten eine wirtschaftliche Lösung zum Messen, Prüfen und Analysieren der mechanischen Komponenten eines Schraubenkompressors.

Summary:

Tighter tolerances, larger batches more varied products and ISO 9000 make the use of high accuracy, certified measuring equipment essential. All screw compressor components and tools used in their manufacture, must be economically inspected. The different geometries, profiles and elements must be checked using the entire range of equipment available in the field of length measurement.

Data concerning all of the different components should be managed centrally. Statistical control of the complete manufacturing process is desirable. The interaction of the individual components can be simulated before assembly.

Only high accuracy 3 coordinate measuring machines utilizing high power computers and software can provide an economical solution to the measurement, inspection and analysis of the mechanical components of a screw compressor.

Anforderungen an die Meßtechnik in der Schraubenverdichterfertigung

Die Forderung nach besserem Wirkungsgrad und höherer Leistung bei Schraubenverdichtern stellt immer höhere Anforderungen an Fertigung und Qualitätssicherung. Neben genaueren Fertigungsmaschinen werden geeignete Meßmittel benötigt um den Fertigungsprozeß einzustellen und zu überprüfen.

Messen von Rotoren und Gehäuse auf dem gleichen Meßgerät.
 Verknüpfung dieser Ergebnisse zur analytischen Beurteilung der Funktionseinheit 'Schraubenverdichter'.

344 VDI BERICHTE

 Messen nahezu beliebig großer Rotoren in beliebiger Lage auf dem Gerätetisch (stehend, liegend auch ohne Drehtisch)

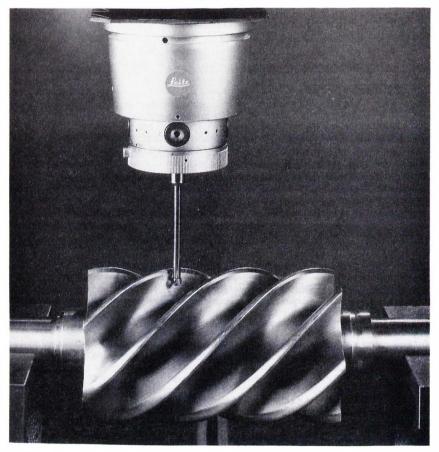


Bild 1: Messen eines Rotors in horizontaler Lage ohne Drehtisch

- Überprüfen der in der Fertigung eingesetzten Werkzeuge, Prüfmittel und Sondergeometrien auf dem gleichen Meßgerät :
 - Profilschleifscheiben
 - Wälzfräser
 - Lehrenprüfung nach DIN–ISO
 - Zahnräder
 - Lader- / Scroll -Geometrien

- High-Speed-Scanning. Kontinuierliches Abtasten bei der Form- und Profil-Messung mit hoher Geschwindigkeit (bis zu 50 mm/sec) und permanent hoher Abtastfrequenz (200 Punkte / sec.).
- Gute Zugänglichkeit zum Meßgerät.
- Messen von Schraubenrotoren mit Drehtisch.

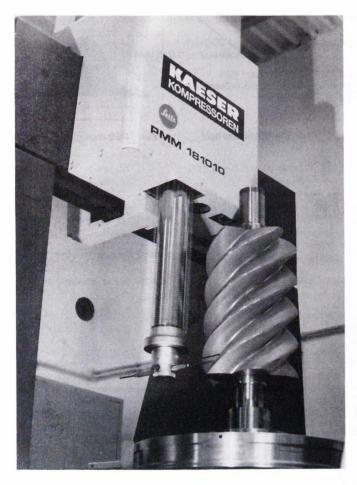


Bild 2: Rotormessung mit Drehtisch

Genauigkeit des Meßgerätes

Hohe Anforderungen werden an die absolute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Meß räte gestellt.

Die geforderten Genauigkeiten liegen häufig im mym-Bereich (wenige 1/1000 mm). Fe 📹 gungstoleranzen kleiner als 15 mym werden für Gehäuseteile und Rotoren vorgegeben. Daraus entsteht folgende Situation bei der Plazierung des Meßgerätes :

Die Meßunsicherheit des Meßgerätes muß möglichst gering sein, um der Fertigungsmaschir einen möglichst großen Anteil an der vorgegebenen Fertigungstoleranz zu belassen.

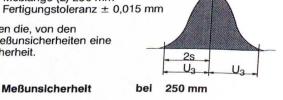
1.1.1 Minderung der Fertigungstoleranz durch die Meßunsicherheit :

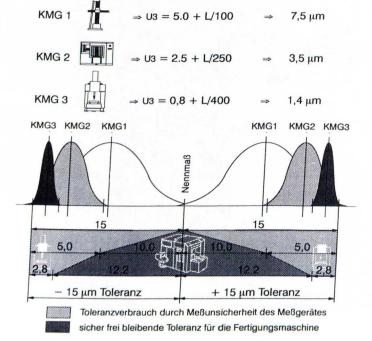
Beispiel: Rotorgehäuse: • Meßlänge (L) 250 mm

Fertigungstoleranz ± 0.015 mm

Nach VDI/VDE 2617 definieren die, von den Herstellern angegebenen, Meßunsicherheiten eine Meßgenauigkeit mit 95% Sicherheit.

KMG

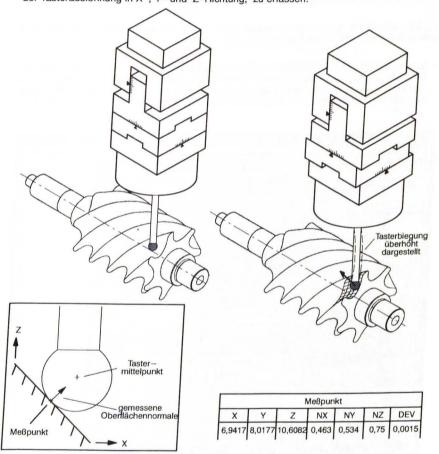




1.1.2 Anforderungen an das Tastsystem beim Messen von Rotoren :

Die Genauigkeit der Meßergebnisse sind maßgeblich geprägt von der Fähigkeit des Tastsystems. Um die Oberfläche eines Rotors mit hoher Genauigkeit abtasten zu können sollte ein, in allen Achsen messendes, Tastsystem eingesetzt werden.

Nur ein messendes Tastsystem ist in der Lage die wahre Oberflächennormale, entsprechend der Tasterauslenkung in X-, Y- und Z-Richtung, zu erfassen.



Die gemessene Oberflächennormale wird benötigt :

- Zur Kompensation der auftretenden Tasterbiegung.
- Zur Radiuskorrektur.

Das System übernimmt die Mittelpunktskoordinate der eingesetzten Tastkugel als Meßpunkt. Daher ist es notwendig eine Korrektur des Meßwertes durchzuführen um den tatsächlichen Berührpunkt (Meßpunkt) zu ermitteln. Der Tastermittelpunkt wird, entgegen der Richtung der Oberflächennormalen, zum Material verschoben.



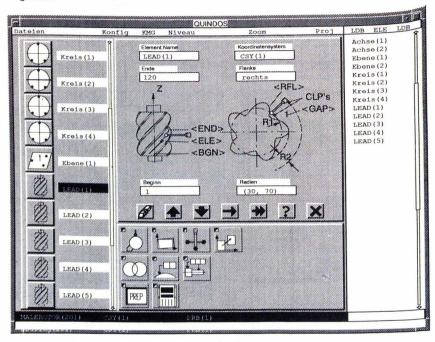
1.2 Anforderungen an die Software

Sind diese wesentlichen Voraussetzungen an die Geräte-Hardware erfüllt benötigt der Anwender, eine in hohem Maße leistungsfähige Software zur Gerätesteuerung und Auswertung der Meßergebnisse.

Drastische Kosteneinsparungen können durch eine hohe Flexibilität der Software erreicht wefden.

Das Ziel jeder Software ist es dem Menschen das Leben möglichst einfach zu machen und gleichzeitig wirtschaftlich, also kostensparend zu wirken!

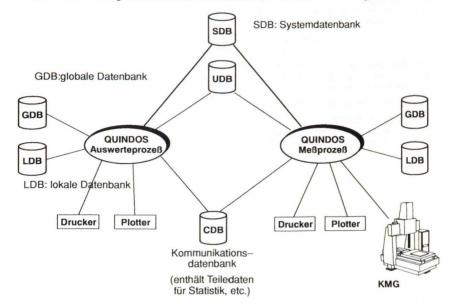
 Durch eine graphische Bedieneroberfläche können schnell und unkompliziert einfache Meßaufgaben gelöst werden. Gerade Anfänger oder sporadische Benutzer finden schnell den Einstieg in die Bedienung und das Vertrauen zur Software. Selbst komplexe Meßaufgaben werden durch 'Anklicken' von Symbolen, unkompliziert und schnell, von jedermann ausgeführt.



Graphische Bedienoberfläche der Meßsoftware QUINDOS. Eingabe der Parameter für eine Steigungsmessung mit grafischer Unterstützung. Komfortable Programmierhilfen erleichtern dem Benutzer das tägliche Leben.

Beispiele:

- Mustergenerierung für geometrische Elemente;
- Mustergenerierung nach beliebigen mathematischen Funktionen;
- Spiegeln ganzer Elementgruppen;
- leichtes Kopieren und Duplizieren von Objekten;
- einfachstes Zuladen von Objekten aus bestehenden Programmen;
- einfachstes Zuladen von Programmsequenzen aus bestehenden Programmen;
- Do-Schleifen und Fallunterscheidungen;
- freiprogrammierbare Fehlerbehandlungen auf jedes Ereignis im System kann individuell reagiert werden;
- einfachstes Editieren aller Objekte
- keine Limitierung der Anzahl der Meßpunkte
- keine Limitierung der Anzahl der Elemente
- Aufteilung eines Meßprogrammes auf mehrere Prozesse.
 Nach dem konsequenten Aufsammeln der Meßpunkte wird die Berechnung, Auswertung und Protokollierung der Merkmale, maschinenfern, im zweiten Prozeß abgearbeitet.



Eine als Datenbank—System aufgebaute Software erlaubt die Aufteilung eines Meßprogrammes auf mehrere Prozesse. Diese können zeitgleich oder zeitlich versetzt Programmteile abarbeiten.

• Parametrisierte Programme für eine Teilefamilie.

Beispiel: Parametrisiertes Meßprogramm für Schraubenrotoren.

Die Anpassung eines Teileprogrammes an eine neues Werkstück (Rotor) ge-

schieht durch die Eingabe bzw. das Einlesen der Rotorparameter.

Typische Rotorparameter sind die Profilkoordinaten, Teilung, Steigung, Teil-

kreisdurchmesser, Rotorlänge, etc..

So kann sehr leicht eine Meßstrategie schnell und konsequent für eine Teilefamilie umgesetzt werden. Die Phase der 'Lernprogrammierung' entfällt. Alle Änderungen können zentral und für alle Programme gültig durchgeführt wer-

den.

- Kopplung zu CAD-Systemen über standardisierte Schnittstellen. DMIS, VDAFS, STEP, DXF, IGES und weitere Standardschnittstellen bishin zum einfachsten Datenaustausch im ASCII-Format sollten unterstützt werden.
- Filter-Algorithmen. Die in der Formprüfung üblichen Filter sollten Bestandteil der Software sein.
- Integration in flexible Fertigungssysteme muß möglich sein.
- Merkmalorientiertes Programmieren revolutioniert die Meßtechnik.
 Nur ein umfassendes Meßprogramm enthält alle meßbaren Merkmale eines Werkstückes.
 Durch einfachste Bedienung werden bei Bedarf die gewünschten Merkmale selektiert. Das Programm erkennt die meßtechnische Vorgeschichte und führt automatisch, kollisionsfrei, nur die notwendigen Messungen aus.
- Verbundfähigkeit;
 Alle zur Kontrolle der Fertigung eingesetzten Meßgeräte sollten mit einem Softwaresystem betrieben werden

Vorteile: - Einheitliche Bedienung

- Einheitliche Protokollierung, Dokumentation und Datensicherung
- Ferndiagnose über lokale oder öffentliche Netzwerke. Fehlerferndiagnose bishin zur Programmierhilfen über standardisierte Modems. muß möglich sein. Ein Service der rund um die Welt genutzt werden kann.
- Einheitliche Datenstruktur f
 ür alle Programmpakete.
- Aufwärtskompatibilität;

Unter einer Programmversion erstellte Programme müssen, ohne Konvertierung, unter neueren Software-Releasen lauffähig sein.

2. Klassifizierung der Meßtechnik in der Schraubenverdichterfertigung

Bedingt durch unterschiedliche Situationen in der Fertigung werden ganz unterschiedliche Aufgaben und Forderungen an die Meßtechnik gestellt.

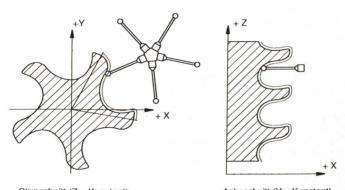
Im wesentlichen kann man hier drei Einsatzgebiete für die Längen-Meßtechnik erkennen:

- Meßtechnik in der Entwicklung und Prototyp-Fertigung (Rotor, Profil- und Gehäuseentwicklung)
- Meßtechnik in der Großserienfertigung (große Stückzahlen; meist kleine Losgrößen)
- Meßtechnik in der Kleinserienfertigung (geringe Stückzahlen; jedoch meist sehr große Werkstücke)

Der meßtechnische Anspruch an das Meßgerät, die Auswertesoftware und den Meßtechniker können sich deutlich voneinander unterscheiden.

Meßtechnik in der Entwicklung und Prototyp–Fertigung (Rotor, Profil– und Gehäuseentwicklung)

Messen beliebig vieler Profilschnitte.

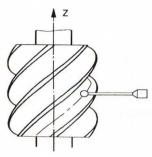


Stirnschnitt (Z = Konstant)

Achsschnitt (Y = Konstant)

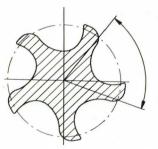
- Beliebige Punktdichte bei der Profilmessung, d.h. keine Begrenzung bzgl. Anzahl der Meßpunkte.
- Aufnahme oder Generierung der Solldaten für einen Profilschnitt. (Meistermessung)
 Rotorenmessung grundsätzlich auch ohne Solldaten möglich.
- Generieren der Normalenvektoren im Raum.
- · Gezielte Ausrichtung des Rotors nach Profilsolldaten.
 - nach einem ausgezeichneten Profilpunkt im Stirn- oder Achsschnitt,
 - nach mehreren, ausgewählten Profilpunkten,
 - nach dem kompletten Rotorprofil,
 - nach ausgezeichneten Punkten, verteilt am kompletten Rotorkörper
 - frei definierbar; beliebigen Forderungen Vorgaben entsprechend;

- Ist-Soll-Vergleich der Profilpunkte bzw. Profilkonturen. Ermitteln der Profilabweichnung im Raum (normal zur Rotoroberfläche) oder in der Profilschnittebene.
- 2D- oder 3D-Einpassungen der Profilkonturen nach dem Gaußschen Prinzip der Abstandsminimierung. Iterativ werden dabei die Abstände zwischen Ist- und Solldaten durch Verschieben (transformieren) des Ist-Profils minimiert.
- Ermittlung der Steigungsabweichungen entlang einer oder mehrerer gemessener Schraubenlinien. Die Abweichungen können axial oder normal zur Oberfläche bestimmt werden.

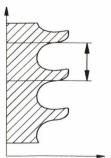




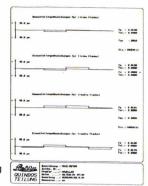
- Ermittlung der Teilungsabweichungen.
 - tangential / auf einem Teilkreis
 - axial



tangentiale Teilungsabweichung

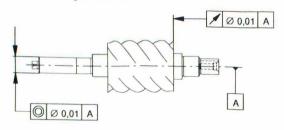


axiale Teilungsabweichung

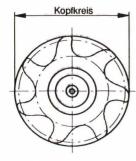


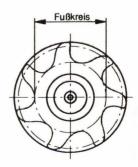
Form

– und Lageauswertungen nach ISO.



- Bestimmung des Kopf- bzw. Fußkreises und/oder Kopf- bzw. Fußzylinders
 - Mit festem oder freiem Mittelpunkt
 - Aus Minima bzw. Maxima der Profilkurven
 - Als Hüll- oder Pferchkreis

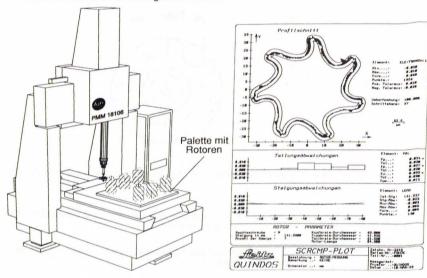




- Profil-Entwicklung
 Datenrückführung zur Fertigungsmaschine. (z.B.: NC-Schleifmaschine) mit dem Ziel der
 Profiloptimierung.
- Automatisches Generieren der Meßprogramme aus den Solldaten und Parametern. Die Teach-In-Phase bzw. Lernprogrammierung kann entfallen.
- Messen ohne Sollvorgaben!
 Generell sind zur Rotorenmessung keine Solldaten (Rotorparameter) notwendig. Alle Werte können gemessen bzw. errechnet werden!
- Weitere analytische Betrachtungen
 - Verschleißmessungen / –untersuchungen.
 Die vor dem Einbau gesammelten Meßpunkte werden bei der Wiederholmessung als Sollpunkte verwendet.
 - Mittelwertbildung über n-Teilungsmessungen in unterschiedlichen Schnitthöhen
 - Mittelwertbildung über n-Steigungsmessungen in unterschiedlichen Gängen
 - Mittelwertbildung bei der Profilmessung in unterschiedlichen Gängen
- Die große Flexibilität der Protokollerstellung.
 Die numerische und graphische Ausgabe der Ergebnisse muß leicht den unterschiedlichen Anforderungen angepaßt werden können.

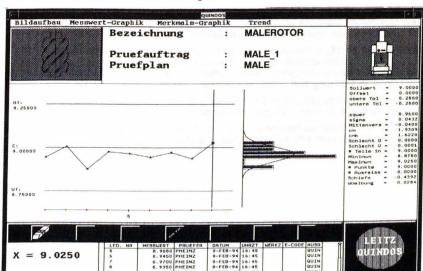
2.2 Meßtechnik in der Großserienfertigung (große Stückzahlen; meist kleine Werkstücke)

 Zum höheren Teile-Durchsatz in der Fertigungskontrolle kann eine Palettenmessung mit mehreren Werkstücken durchgeführt werden.



- kleine Toleranzen für alle Merkmale
- Nur ausgezeichnete Merkmale oder Punkte werden gemessen
- Kombination der verschiedenen Einflußgrößen direkt im Meßprogramm
- Form und Lage-Fehler bei der Gehäuse-Messung
- Einsatz merkmalsorientierter Programmiertechnik
 Ein Programm für die verschiedenen Fertigungstiefen/ –phasen
- Integration in flexible Fertigungssysteme
- Automatisches Generieren der Meßprogramme aus den Solldaten und Parametern. Die Teach-In-Phase bzw. Lernprogrammierung kann entfallen.

9.0250



Online Statistik zur Prozeßüberwachung

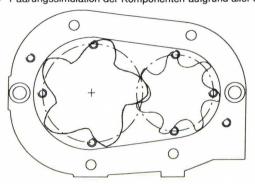
2.3 Meßtechnik in der Kleinserienfertigung (geringe Stückzahlen; jedoch meist sehr große Werkstücke)

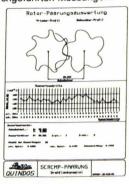
8.9450 PHEINZ 8.9700 PHEINZ 8.9350 PHEINZ

 Messen aller Einzel-Komponenten der Serie zur Paarung und optimierten Auswahl vor dem Zusammenbau. Rechnerisches montieren (verstiften, verschrauben) der Gehäuseteile. Ermittlung evtl. Maße zur Nacharbeit.

9-FEB-94 9-FEB-94 9-FEB-94 9-FED-94

- Ein Bezug zwischen Haupt- und Nebenrotor durch Vorgabe eines theoretischen oder des gemessenen Abstandes kann hergestellt werden. Dadurch ist es möglich, reale Funktionsbetrachtungen zu simulieren (Paarungsprüfung, Achsspiel, Drehflankenspiel).
- Paarungssimulation der Komponenten aufgrund aller durchgeführten Messungen.





QUIN

3. Ausblick

Qualitätssicherung stärkt die Marktposition. Die Werkzeuge der 3D-Meßtechnik (Soft- und Hardware) sind schon heute für die Fertigungstechnik von morgen konstruiert.

Der sehr innovative Markt 'Schraubenverdichter-Fertigung' bietet kaum Standards in der Meßtechnik. Das individuell vorhandene Know-How zur Optimierung der Fertigung soll nicht leichtfertig dem Wettbewerb offengelegt werden. Offene, flexible und anpassungsfähige Systeme für die Qualitätssicherung sind gerade hier gefragt.

Die ISO 9000 fordert den Einsatz zertifizierter Meßmittel, d. h. die Rückführung der Meßergebnisse auf staatliche Normale muß gewährleistet sein.

Nur die 3D-Koordinatenmeßtechnik erfüllt alle gestellten Forderungen. Unterstützt von motivierten Mitarbeitern kann eine leistungsfähige Qualitätssicherung den Weg zur Nullfehlerproduktion bereiten.