

Schleifen von Schraubenrotoren

Dipl.-Ing. M. Lorenz, Coburg

Zusammenfassung

Schraubenmaschinen-Rotoren sind komplizierte geometrische Bauteile, deren Effizienz ganz wesentlich von der Genauigkeit des Profils, der Steigung und der Zahnteilung abhängt. Die höchsten Genauigkeiten werden durch Schleifen erreicht.

Neben dem konventionellen Schleifen mit abrichtbaren keramischen Schleifscheiben setzt sich zunehmend die Schleifbearbeitung mit nichtabrichtbaren CBN-Profilschleifscheiben durch.

Auf einer speziell für diese Technologie entwickelten Maschine erfolgt das Profilschleifen in Schnittaufteilung Schruppen/Schlichten. Darüber hinaus werden an Rotoren bis ca. 110 mm Durchmesser die qualifizierten Durchmesser und Planschultern in der gleichen Aufspannung geschliffen. Die meßgesteuert arbeitende Maschine kann vollautomatisch betrieben werden.

1. Einleitung

Schraubenmaschinen-Rotoren werden auf einer hierfür entwickelten NC-Maschine mit nichtabrichtbaren Profilschleifscheiben geschliffen. Die Präzision der Profilschleifscheiben, deren Verschleißfestigkeit und Schneidfähigkeit bei der Stahl-Guß- und Alu-Bearbeitung führt zu einem engen Toleranzband der geschliffenen Lückenprofile.

Diese Tatsache, verbunden mit einer sehr hohen Steigungsgenauigkeit und mit Teilungsabweichungen im 0,001 mm-Bereich führen dazu, daß Haupt- und Nebenrotoren beliebig miteinander gepaart werden können. Der Wirkungsgrad der beliebig gepaarten Rotoren ist gleichbleibend hoch.

2. Schleifwerkzeug

2.1 Grundaufbau

Zur präzisen Schleifbearbeitung werden nichtabrichtbare galvanisch belegte CBN-Profilschleifscheiben eingesetzt.

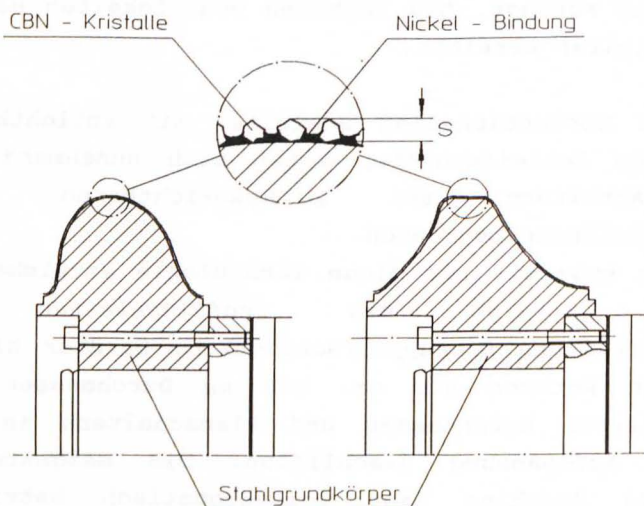


Bild 1

Bild 1 zeigt diese Schleifscheiben im Grundaufbau. Der gehärtete Stahlgrundkörper wird im Profilbereich um die Schichtdicke S des Schleifbelages kleiner gehalten. Die präzise geschliffene Bohrung in Verbindung mit der ebenso präzisen Planfläche dienen zur Aufnahme der Schleifscheibe auf dem zylindrischen Schleifspindelzapfen.

2.2 Schleifbelag

Der Schleifbelag besteht aus einer einschichtigen Lage von CBN-Kristallen, die bis zu 30 % Höhe mittels galvanisch ausgeschiedenem Nickel an das Grundkörperprofil gebunden werden. Der Schleifbelag hat eine offene Struktur. Es sind genügend Kammern zwischen den Kristallen zur Aufnahme von Spänen vorhanden. CBN (Kubisch Kristallines Bornitrid) ist ein hochverschleißfestes Schleifmittel, das in der Härte direkt hinter Diamant steht und diesen bezüglich Temperaturbeständigkeit weit übertrifft.



Bild 2:
CBN-Kristalle

Dank dieser Eigenschaften schreitet die Abstumpfung der Kristalle bei der Hart- und Weichbearbeitung von Stahl und Guß sehr langsam voran. Der damit verbundene Profilverschleiß wird an der Maschine durch eine entsprechend programmierbare NC-Bewegung kompensiert. Bis zur Erreichung eines durch steigende Leistungsaufnahme begrenzten Abnutzungsgrades können je nach Größe, Zähnezahl, Material und Vorbearbeitungszustand mehrere hundert bis zu mehr als tausend Rotoren mit einem Schleifbelag bearbeitet werden.

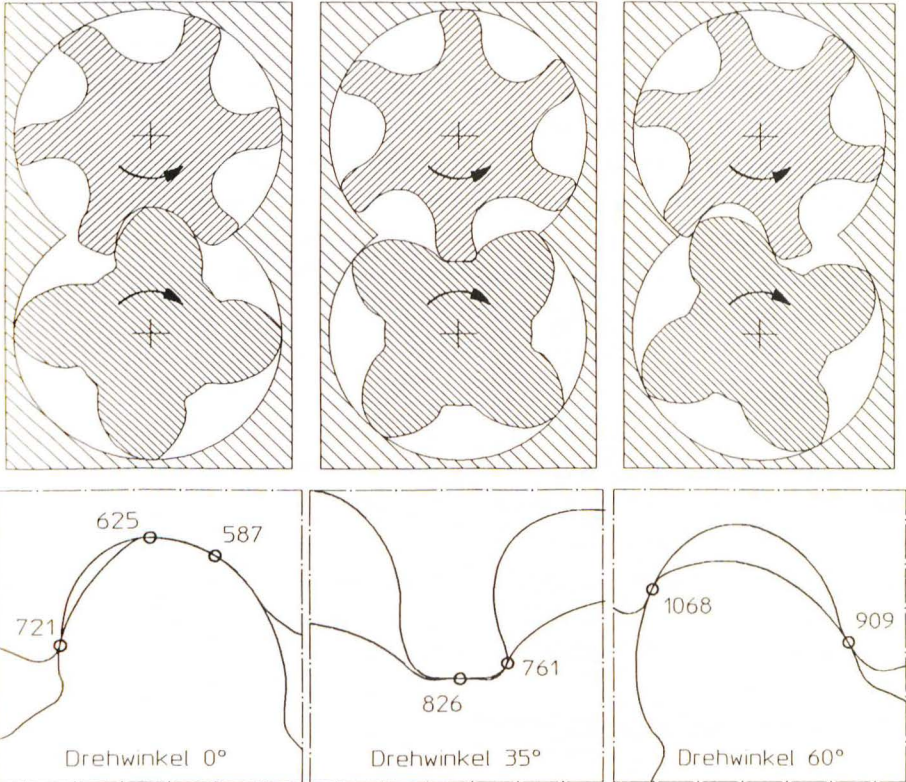
2.3 Erneuerung des Schleifbelages

Nach Durchlaufen der Standmenge wird der CBN-Nickel-Belag ohne Beeinträchtigung des Grundkörpers chemisch abgelöst und ein neuer Schleifbelag aufgebracht. Die geometrische Genauigkeit jedes Schleifbelages wird im Einschleifverfahren ermittelt und in einem die Schleifscheibe begleitenden Meßschrieb dokumentiert.

2.4 Profilberechnung

Für die erstmalige Profilberechnung der Schleifscheiben, die normalerweise einen Durchmesser von 240 mm haben, werden die Stirnschnittkoordinaten des Rotorprofils sowie Teilkreisdurchmesser und Steigungslänge zugrundegelegt.

Das Zusammenspiel der Stirnschnittprofile von Haupt- und Nebenläufer wird in einem Simulationslauf am Rechner vorab eingehend untersucht.



| Punkt | Abstand mm | | Punkt | Abstand mm | | Punkt | Abstand mm | |
|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|
| | Stirn. | Normal. | | Stirn. | Normal. | | Stirn. | Normal. |
| 587 | ,0515 | ,0500 | 761 | ,2883 | ,2667 | 909 | ,0524 | ,0494 |
| 625 | ,0521 | ,0521 | 826 | ,0551 | ,0551 | 1068 | ,0713 | ,0670 |
| 721 | ,0019 | ,0018 | | | | | | |

Bild 3 zeigt 3 Momentaufnahmen eines Simulationslaufs, bei dem die Stirnschnittprofile bei Soll-Achsabstand auf die geforderten Spiele überprüft werden. Erst wenn sichergestellt ist, daß die Spiele in allen Punkten den theoretischen Vorgaben entsprechen, wird die Berechnung und Fertigung der Schleifscheiben freigegeben.

2.5 Korngrößen

Für Schrappscheiben wird die Korngröße B251 entsprechend $S = 0,230$ mm verwendet.

Schlichtscheiben werden mit Korngröße B91 entsprechend $S = 0,100$ mm belegt. Nach einem Kalibrierprozeß liegt die Profilgenauigkeit von Schlichtscheiben je nach Profilgröße innerhalb einer Bandbreite von $\pm 0,003$ mm bis $\pm 0,007$ mm zum Sollprofil.

2.6 Vorteile

galvanisch belegter CBN-Profil schleifscheiben gegenüber konventionellen schleifscheiben

- a) Kein Abrichten, auf der Schleifmaschine. Der Schleifscheiben-Durchmesser bleibt konstant und erfährt somit keine Profiländerungen.
- b) Keine Abrichtkosten
- c) Kein Verschleiß des Abrichtwerkzeugs, der unerkannt als Profilabweichung in den Rotor einfließt und erst beim Messen des fertiggeschliffenen Rotors zutage tritt.
- d) Kein Schleifscheibenabrieb im ablaufenden Kühlschmieröl und damit geringere Maschinenbelastung.
- e) Kühler Schliff und hohe Abtragsleistung.
- f) Das Problem der Schleifscheibenprofilierung wird vom Anwender auf den Schleifscheibenhersteller verlagert, der jede Erneuerung des Schleifbelages mit einem Ist-Profil-Schrieb dokumentiert.

3. Rotornuten-Schleifmaschine RNS 581 CNC

3.1 Grundaufbau

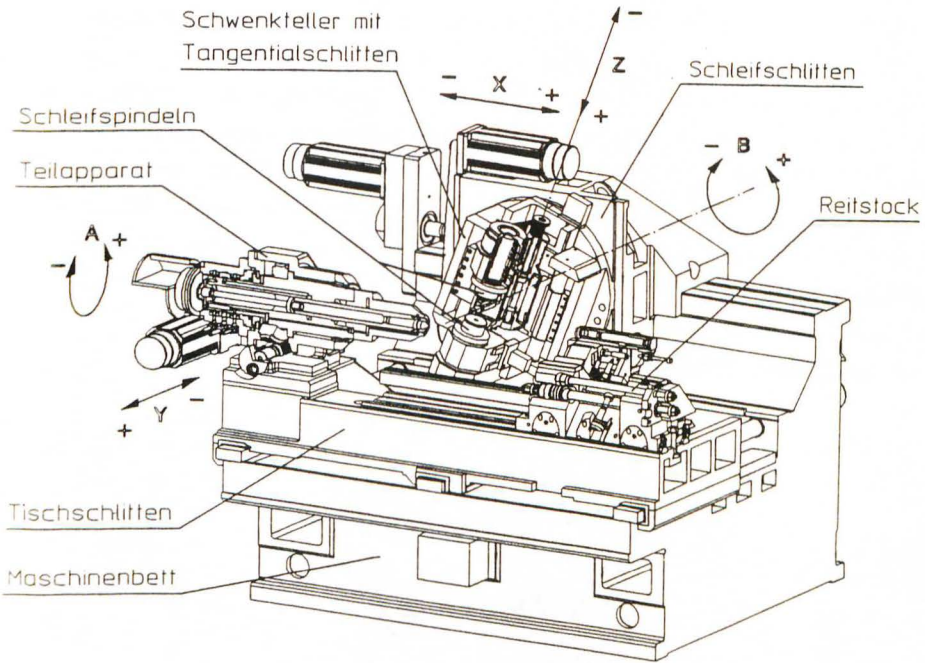


Bild 4 zeigt den Grundaufbau der Maschine ohne die störenden Abdeckungen des Maschinenraumes.

Die Maschine besitzt 5 NC-Achsen und zwar 2 Drehachsen (A,B) und 3 Linearachsen (X, Y, Z) jeweils mit direkten Wegmeßsystemen.

Auf dem Maschinenbett fährt der Tischschlitten in Y-Richtung zur Einstellung des Achsabstands zwischen Schleifscheibe und Rotor. Der Tischschlitten trägt den Teilapparat (A-Achse, Rotordrehung) und auf der Gegenseite den Reitstock. An der Wange des Maschinenbettes fährt der Schleifschlitten in Vorschubrichtung der Schleifscheibe (X-Achse). Der Schleifschlitten trägt den auf Schleifscheibenschwenkwinkel einschwenkbaren Schwenkteller (B-Achse).

Im Schwenkteller ist in Z-Richtung verfahrbar der Tangentialschlitten gelagert.

In den Tangentialschlitten ist der flüssigkeitsgekühlte Antriebsmotor eingebaut, der über die Zahnriemenscheiben an beiden Wellenenden zwei sich spiegelbildlich gegenüberliegende schnell wechselbare Schleifspindeln antreibt. Die Schleifspindeln nehmen die Schrupp- und die Schlichtschleifscheibe auf. Über die Z-Bewegung des Tangentialschlittens wird die jeweils zum Einsatz kommende Schleifscheibe in den Achskreuzungspunkt gefahren.

3.2 Maschinendaten

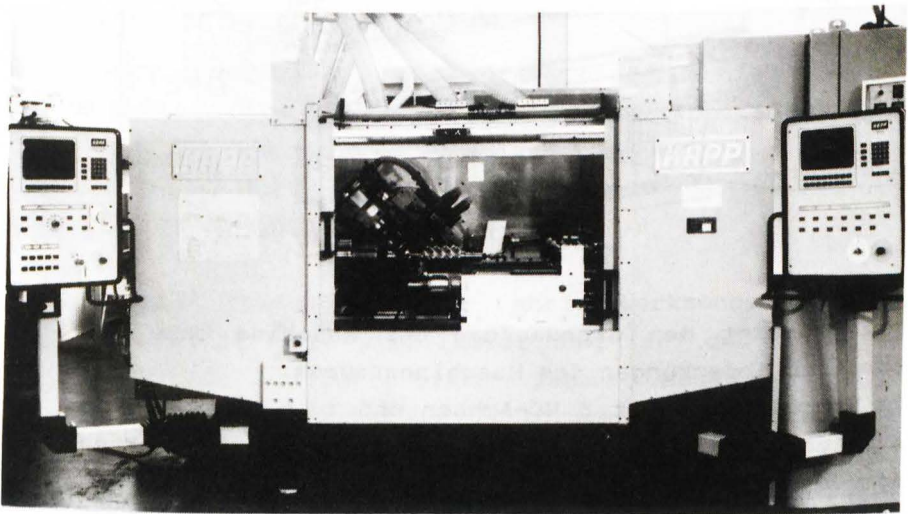


Bild 5 zeigt die Gesamtansicht der Maschine mit geöffneten Arbeitsraumtüren.

Maschinendaten:

| | |
|------------------------------------|---------|
| Antriebsleistung des Schleifmotors | 20 kW |
| Max. schleifbarer Rotordurchmesser | 320 mm |
| Max. schleifbare Ballenlänge | 560 mm |
| Max. Länge des Rotors ü. a | 1400 mm |

3.3 Anordnung der Schleifscheiben

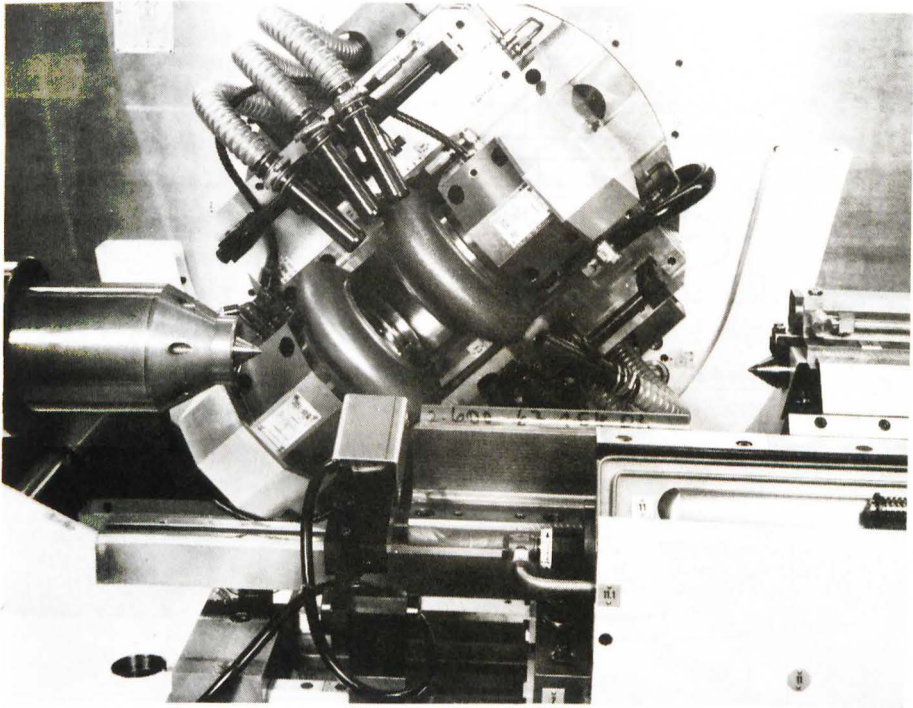


Bild 6 zeigt den Arbeitsraum der Maschine mit Schrupp- und Schlichtschleifscheibe zur Bearbeitung von Nebenläufer-Rotoren.

Der Fahrweg des Tangentialschlittens (Z-Achse) ist so ausgelegt, daß Rotoren bis 160 mm Durchmesser ohne Kollisionsprobleme mit dieser Schleifscheibenanordnung geschliffen werden können. Bei Rotoren größer 160 mm bis ca. 250 mm Durchmesser wird mit 3D-CAD-Unterstützung die Möglichkeit untersucht, die nicht im Eingriff befindliche Schleifscheibe in einer der Nachbarlücken kollisionsfrei mitlaufen zu lassen. In den meisten Fällen ist dies möglich.

3.3.1 Achskreuzungspunkt

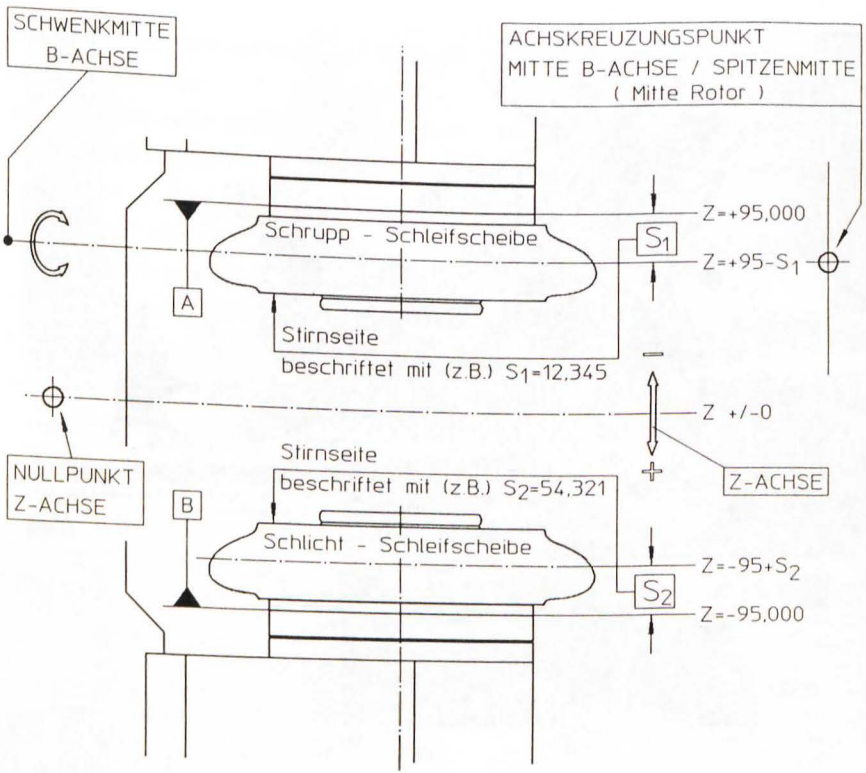


Bild 7 zeigt den Blick in Achsrichtung des Rotors von der Teilspindel aus auf die Schleifscheiben. Die Schleifscheiben werden im Rahmen der Profilprüfung beim Hersteller stirnseitig mit dem Abstandsmaßen S_1 und S_2 der Profilachsen zur gegenüberliegenden Stirnfläche beschriftet. An der Maschine sind die Anschlagflächen A und B der beiden Schleifspindeln auf definierte Maße z. B. $\pm 95,000$ mm zum Nullpunkt der Z-Achse justiert. Aus den Strecken $+95 - S_1$ und $-95 + S_2$ ergeben sich die von der Z-Achse per NC-Programm anzufahrenden

Achskreuzungspunkte für die Schrupp- und Schlichtschleifscheibe.

3.4 Werkstück-Handling

Der zu schleifende Rotor wird von Hand oder mittels Ladeportal in einer am Reitstock befestigten Ablageschale abgelegt. Die Schale ist so positioniert, daß die Rotormitte ca. 0,5 mm unter der Spitzenmitte liegt.

Beim automatischen Einfuttern wird der Rotor zwischen den Spitzen zentriert und in das an der Teilspindel befestigte hydraulisch betätigte Expansionsspannfutter eingeschoben und an einem qualifizierten Durchmesser gespannt. Die Gegenseite wird von der Reitstockspitze mit programmierbarem Spitzedruck abgestützt.

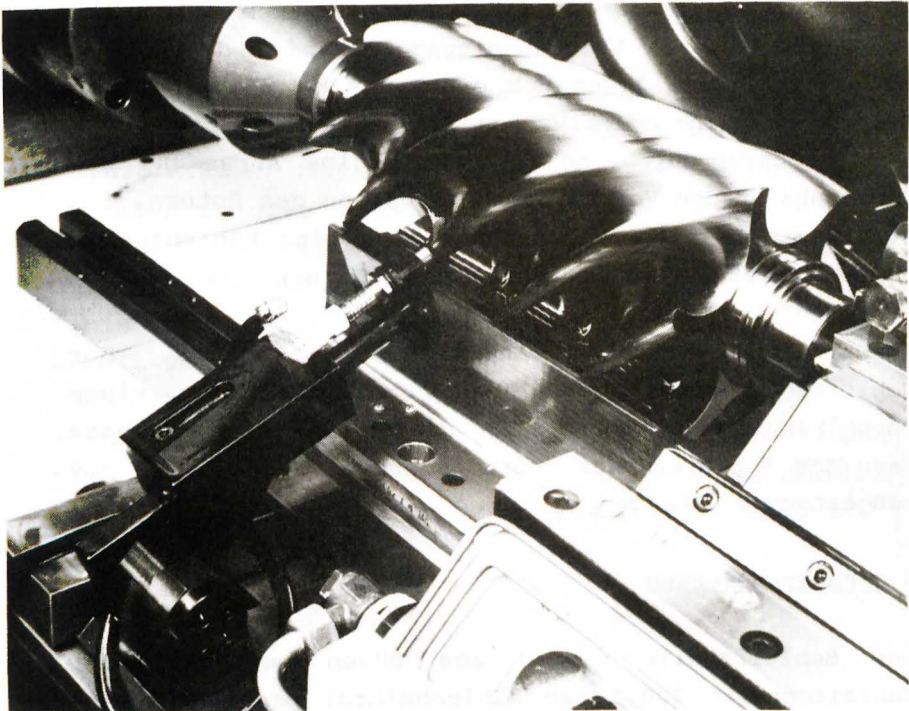


Bild 8 zeigt den eingefutterten und gespannten Rotor.

3.5 Ausrichten

Zum Ausrichten der vorgefrästen oder vorgegossenen Lückenprofile zur Schleifscheibe tastet der Ausrichtsensor berührungslos die Zahnköpfe des sich drehenden Rotors ab. Dabei werden vom Drehgeber der A-Achse die Winkellagen der Zähne erfaßt. Daraus berechnet die NC die von der A-Achse anzufahrende optimale Referenz-Drehlage. Aus dieser Referenzlage wird der Rotor vor dem Start des Schleifprogramms um einen programmierten Winkel gedreht, der vom Bediener beim Einrichten der Maschine einmalig ermittelt wird.

3.6 Schleifprogramm: Schruppen und Schlichten

Das Schleifprogramm beginnt mit dem Durchlauf der Schruppschleifscheibe in ein oder mehreren Hüben pro Rotornute je nach Vorbearbeitungszustand und Material des Rotors. Nach jedem Hub erfolgt eine Zustellung in Y-Richtung. Eine adaptive Regelung sorgt besonders beim ersten Schruppdurchgang für z. B. eine Anpassung des Vorschubs an den Vorbearbeitungszustand des Rotors.

Nach beendetem Schruppdurchgang kann eine Kühlphase in Form mehrerer Umdrehungen des Rotors im vollen Schleifölstrom notwendig werden.

Anschließend erfolgt nach dem Wechsel der Schleifscheibenpositionen das Schlichten in einem Doppelhub pro Rotornute. In dieser Bearbeitungsphase kann das Schleifen des Fußkreisdurchmessers analog 3.9 meßgesteuert erfolgen.

3.7 Kühlschmierung

Der Schleifstelle werden aus Düsen beidseits der Schleifscheibe 300 Liter Kühlschmieröl pro Minute mit ca. 1,5 bar zugeführt. Das Kühlschmieröl sorgt für

einen reibungsarmen und kühlen Spanablauf an den CBN-Kristallen und für den Abtransport der Späne aus den Spankammern der Schleifscheibe über den Maschinenraum in den hinter der Maschine stehenden Kühlschmiermittelbehälter, dessen Fassungsvermögen 4000 Liter beträgt. Hier erfolgt das Abscheiden der Späne über Papier- und Anschwemmfilter. Bei der Stahlbearbeitung handelt es sich um ausgeprägte Fließspäne, ein Indikator für einen perfekt ablaufenden Zerspanungsprozeß an der Schleifstelle. Ein im Behälter integrierter Eintauchkühler hält über einen raumtemperaturgeführten 3-Punkt-Regler die Öltemperatur ständig auf Raumtemperatur.

3.8 Schleifprogramm: Schruppen oder Schlichten

Falls aufgrund des Rotordurchmessers und/oder der Profildbreite der Schleifscheibe nicht mit der 2-Spindel-Anordnung gearbeitet werden kann, werden die schnell wechselbaren Schleifspindeln gegen eine solche mit verstärkter Lagerung ausgetauscht. Auf dieser verstärkten Spindel können Schleifscheiben mit 280 mm Durchmesser und bis zu 160 mm max. Profildbreite und 75 mm max. Profilhöhe aufgenommen werden.

Die bis zu 60 kg schweren Schleifscheiben werden außerhalb der Maschine auf die Schleifspindel montiert. Zur Montageerleichterung wird die Schleifspindel in einer Schwenkvorrichtung in senkrechte Lage mit dem Aufnahmezapfen nach oben geschwenkt und in waagerechter Lage von einem Krangeschirr übernommen zur Montage in der Maschine.

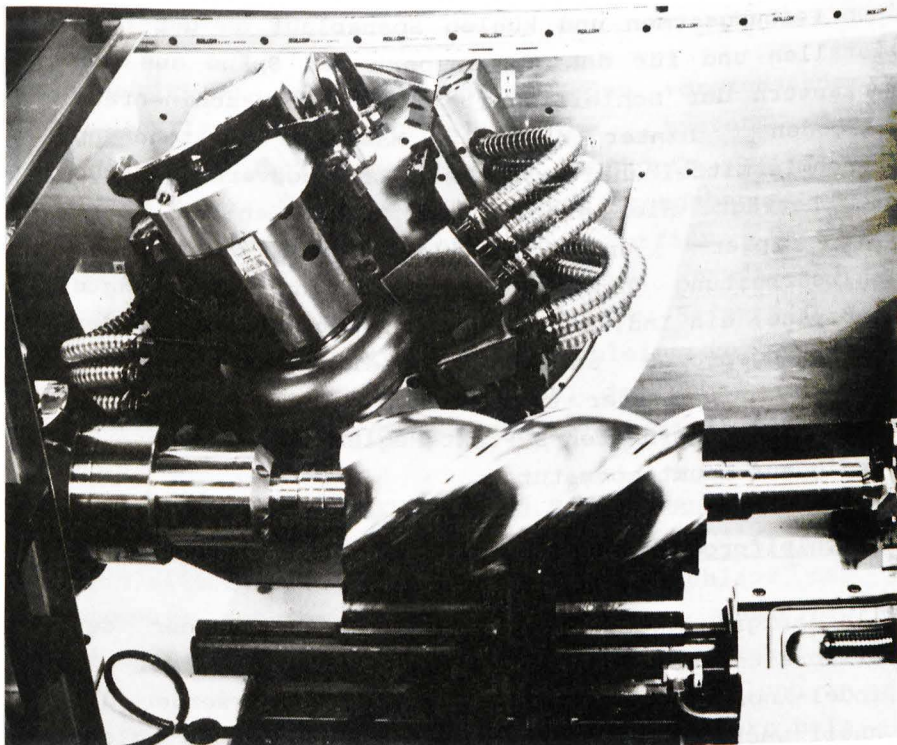


Bild 9 zeigt die verstärkte Schleifspindel im Maschinenraum. Die Schrupp/Schlichtbearbeitung in einer Aufspannung ist jetzt nicht mehr möglich. Die Rotorserie wird im 1. Durchgang geschruppt und im zweiten Durchgang fertiggeschliffen, d. h. in zwei Aufspannungen bearbeitet.

3.8.1 Feinausrichten

Da das Schleifaufmaß pro Fläche 0,05 .. 0,08 mm beträgt, muß das Rotorprofil vor dem Fertigschleifen d. h. in der 2. Aufspannung besonders sorgfältig zur Schlichtscheibe ausgerichtet werden. Dazu wird der über der Schleifspindel angebrachte RENISHAW-Taster mittels der B-Achse auf Spitzenmitte eingeschwenkt und in eine

vorher über Sensor grob ausgerichtete Rotorlücke gefahren. Anschließend werden durch Drehen der A-Achse beide Flanken angetastet.

Aus dem Drehwinkel zwischen den Flanken berechnet die NC eine von der A-Achse anzufahrende Referenz-Drehlage, aus der heraus der Rotor um einen programmierten Winkel in die bestpassendste Lage zur Schlichtscheibe gedreht wird.

3.9 Meßsteuerung

Der RENISHAW-Taster wird weiterhin zum meßgesteuerten Schleifen des Fußkreisdurchmessers eingesetzt. Besonders bei Rotoren mit ungerader Zähnezahl beseitigt diese Möglichkeit die Meßprobleme.

Die Streubreite meßgeschliffener Fußkreisdurchmesser einer Werkstückserie liegt bei entsprechendem Maschinenumfeld innerhalb 0,008 mm.

Der Meßgang erfolgt in der 1. geschlichteten Rotornute vor der letzten Schlichtzustellung durch Antasten des noch Übermaß-Fußkreisdurchmessers. Im gleichen Meßgang wird ein Referenzdurchmesser am Spannfutter angetastet. Aus den zu beiden Tastpunkten gehörenden Y-Positionen und dem eingegebenen Referenzdurchmesser berechnet die NC den letzten Schlicht-Zustellbetrag, der an allen Nuten dieses Rotors wiederholt wird.

3.10 Verschleißkompensation

Der langsam voranschreitende Verschleiß des Scheibenprofils führt dazu, daß die Profillücken am Rotor enger werden. Diese Erscheinung wird durch eine Drehzustellung der "steilen" Profilflanke gegen die Schleifscheibe vor dem letzten Schlichthub kompensiert.

Zur Ermittlung der Größe der Drehzustellung wird die Kugel des RENISHAW-Tasters in der fertiggeschliffenen Profillücke auf einen festgelegten Meßradius gefahren. In dieser Position werden durch A-Achsendrehung beide Flanken angetastet. Aus dem sich daraus ergebenden Ist-Drehwinkel und dem eingegebenen Soll-Drehwinkel wird von der NC ein Zustellbetrag der A-Achse errechnet, der vor dem letzten Schlichthub ausgeführt wird.

4. Rotornutenschleifzentrum RSZ 581 CNC

4.1 Einsatzmöglichkeiten

Auf dem Schleifzentrum wird die komplette Schleifbearbeitung von Rotoren bis 110 mm Ballendurchmesser in einer Aufspannung ausgeführt. Aus Kostengründen handelt es sich vorzugsweise um Rotoren mit vorgegossenem Profil, deren Zapfen und Planschultern mit Schleifaufmaß vorgedreht sind. Konuszapfen werden über eine entsprechende Linearinterpolation der X- und Y-Achse geschliffen. Für diesen Fall erhält der zylindrische Schleifbelag der Rundschleifscheibe einseitig eine 1,5 mm breite Fase mit Steigungswinkel des Konus. Es können natürlich auch Stahl- oder Gußrotoren mit vorgefrästem Profil oder nichtvorprofilierete Rotoren aus dem Vollen bearbeitet werden. Für Rotoren über 110 mm bis 320 mm Ballendurchmesser ist die Maschine wie unter Pos. 3 beschrieben, einsetzbar.

4.2 Grundaufbau

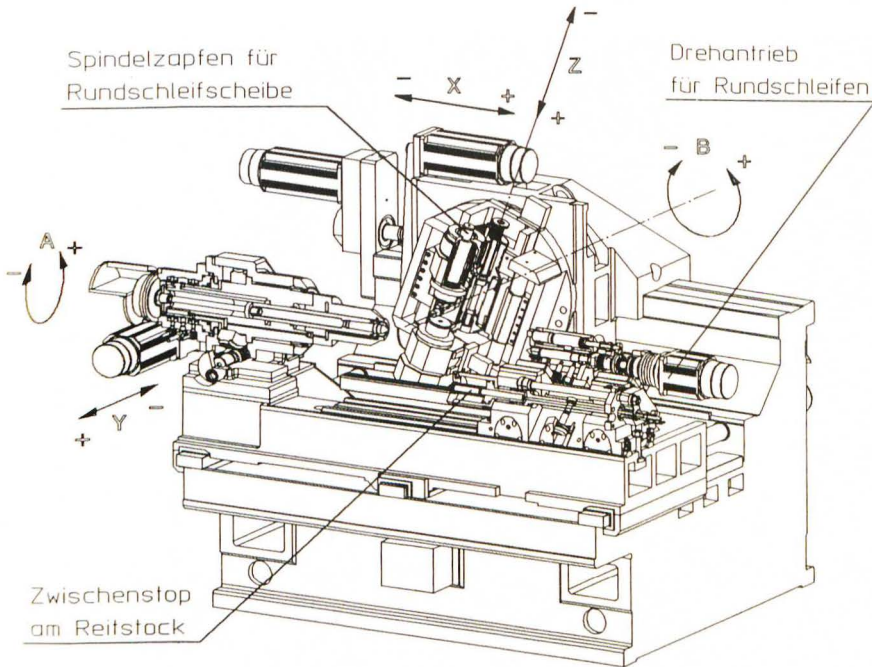


Bild 10 zeigt den Grundaufbau, der im wesentlichen dem von Bild 3 entspricht erweitert um die Bauteile :

- a) Drehantrieb am Reitstock zum Antrieb der Reitstockspitze beim Rund- und Planschleifen.
- b) Stufenlos einstellbarer Zwischenstopp am Reitstock zum Rund/Planschleifen zwischen Spitzen vor dem Einfuttern zum Profilschleifen.
- c) Schleifspindel zur Aufnahme einer CBN-Profil-Schleifscheibe 180 mm Durchmesser mit zusätzlichem Spindelzapfen für eine CBN-Rund/Planschleifscheibe 270 mm Durchmesser.

4.3 Rund- und Planschleifen

Diese Bearbeitung erfolgt vor dem Profilschleifen.

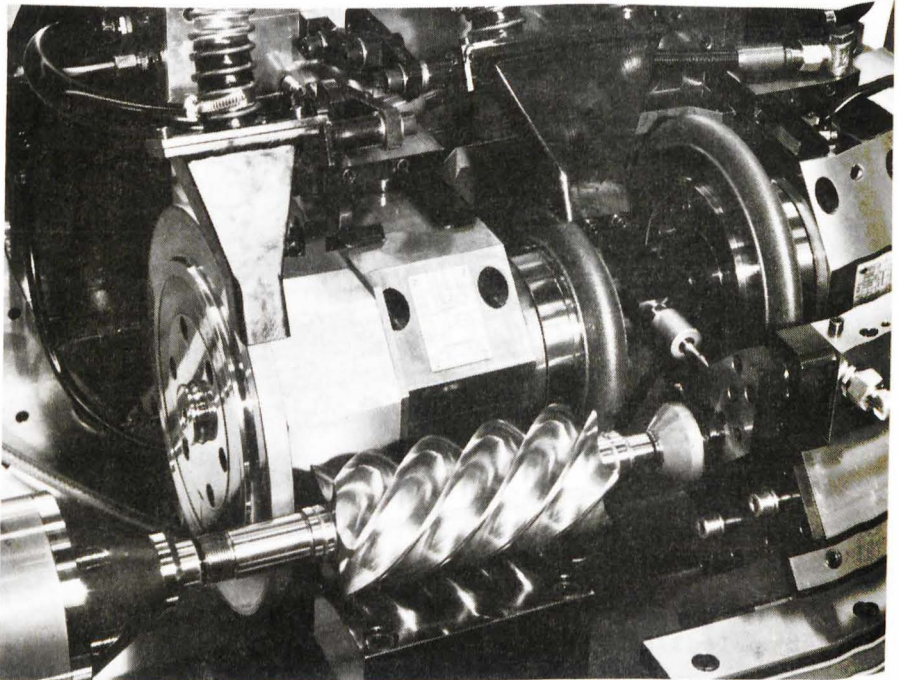


Bild 11 zeigt den Arbeitsraum beim Rund-Planschleifen. Die Schleifspindelachse liegt waagrecht und damit parallel zur Rotorachse. Die galvanisch belegte CBN-Rundschleifscheibe mit 15 mm breitem zylindrischen Belag hat an beiden Stirnseiten einen 2 mm breiten Planbelag mit 0,5 mm Übergangsradius zum Außenbelag.

Der RENISHAW-Taster ist zwischen den Profilscheiben angeordnet und übernimmt neben der unter 3.9 beschriebenen Funktion die Lagerfassung einer Planschulter vor dem Planschleifen und das Antasten der Referenzdurchmesser am Futter und am Werkstück vor dem Rundschleifen.

Der zwischen Spitzen gespannte Rotor wird von der diamantbelegten Reitstockspitze (rechts) mit programmierbarer Drehzahl $100.. 350 \text{ min}^{-1}$ angetrieben.

Die im Spannfutter zentrisch gespannte Teilapparatspitze (links) fungiert als feste Spitze und versorgt über eine Axialbohrung die Rotorzentrierung mit Kühlschmieröl. Das Rund/Planschleifen erfolgt in einem Durchgang direkt auf Fertigmaß mit einem Axial- bzw. Radialvorschub von $0,2 \text{ mm}$ pro Werkstückumdrehung.

4.4 Profilschleifen

Nach beendetem Rund/Planschleifen wird der soeben fertiggeschliffene linke Rotorzapfen in das Futter eingeschoben und gespannt.

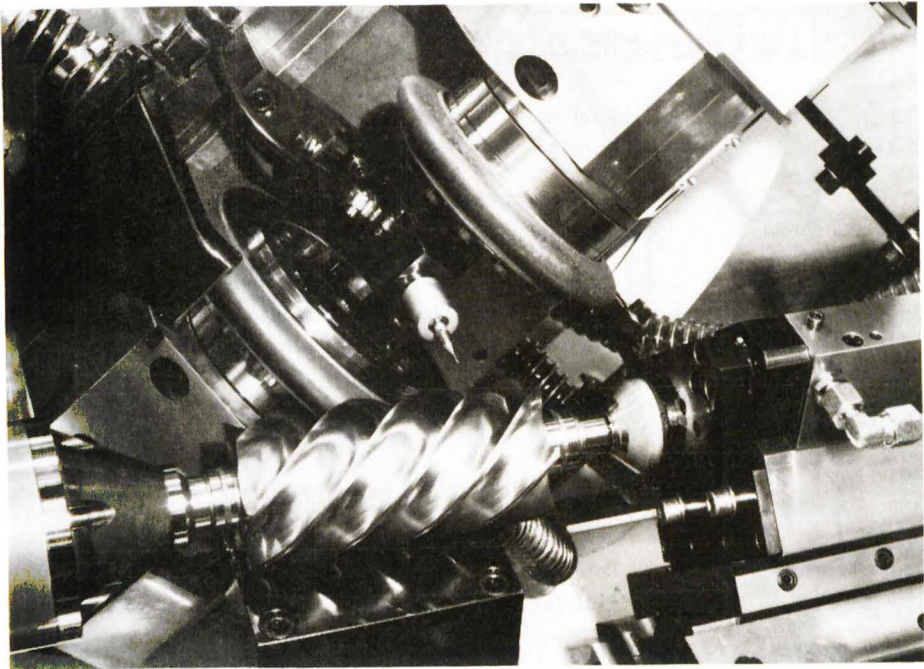
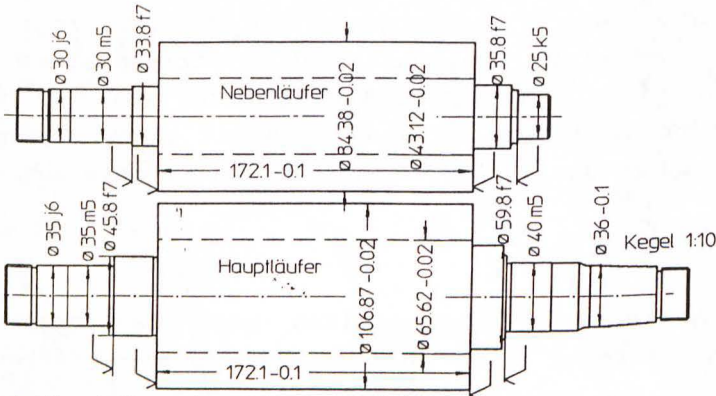


Bild 12 zeigt diese Situation.

Nach dem Ausrichten des Rotorprofils zur Schleifscheibe über einen in die Ablageschale integrierten Sensor läuft das Schleifprogramm wie unter Pos. 3.6 beschrieben.

4.5 Bearbeitungsbeispiel



Komplettbearbeitung eines Schraubenverdichterrotorpaares

Gesamtbearbeitungszeit für HL+NL=27min

Material: GGG40

Profil vorgegossen: Aufmaß am Fußkreis ca. 4mm

Zapfen, Ballen und Schullern vorgedreht: Aufmaß 0.1mm pro Fläche

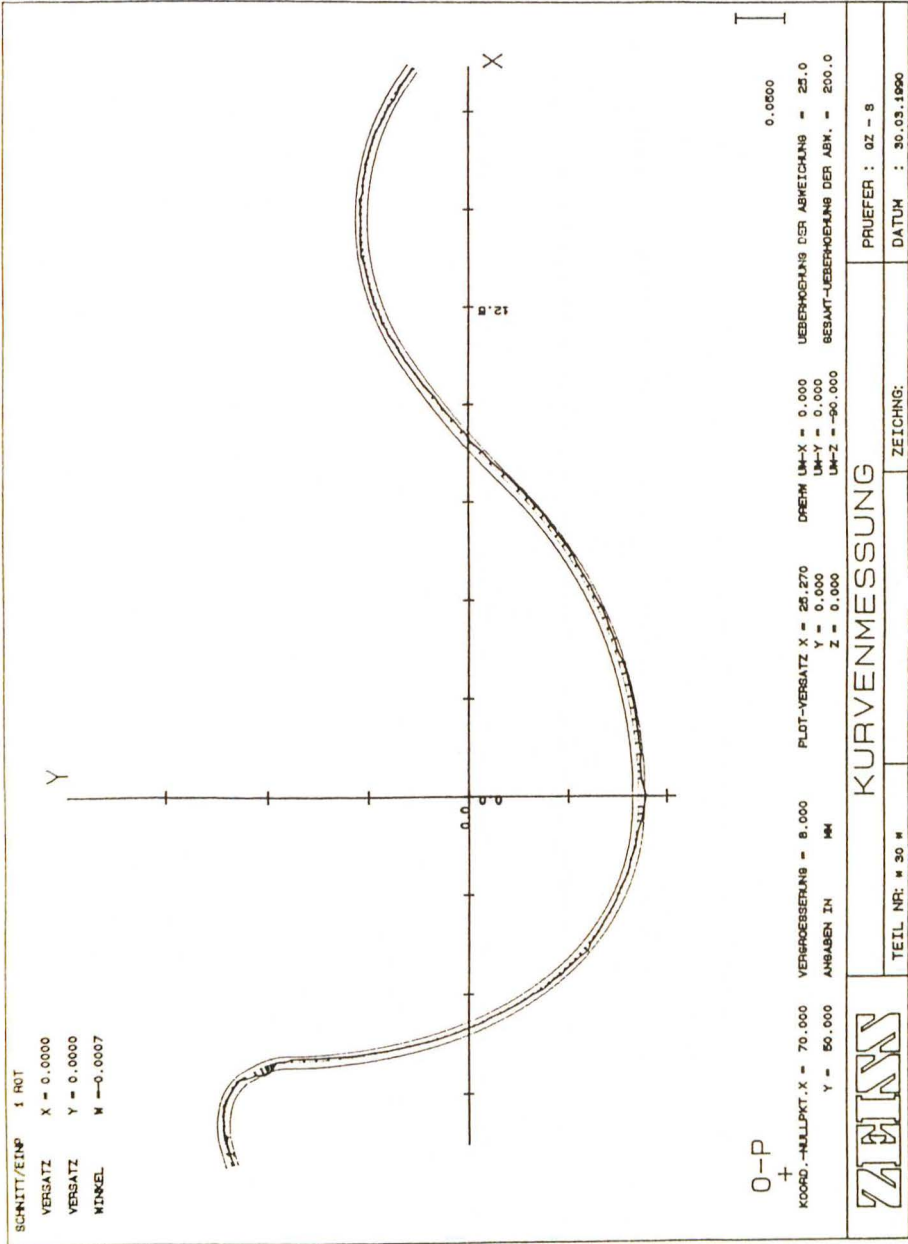
Schleifprogramm

| | Hauptläufer | Nebenläufer |
|---|--------------------------|--------------------------|
| NC-Laufzeit | 13.75 min | 13.25 min |
| Rundsleifen | | |
| Scheiben-Ø | 270 mm | 270 mm |
| Scheibendrehzahl | 5000 1/min | 5000 1/min |
| Schnittgeschw. | 70.5 m/s | 70.5 m/s |
| Werkstückdrehzahl | 250 1/min | 250 1/min |
| Axialvorsch. Zapfen | 150 mm/min | 150 mm/min |
| Axialvorsch. Ballen | 250 mm/min | 250 mm/min |
| Radialvorsch. | 75 mm/min | 75 mm/min |
| Zwischenzeit für Rundsleifen, inkl. Meßzeit | 3.8 min | 3.1 min |
| Profilsleifen-Schruppen | | |
| Scheiben-Ø | 180 mm | 180 mm |
| Scheibendrehzahl | 4000 1/min | 4000 1/min |
| Schnittgeschw. | 37.5 m/s | 37.5 m/s |
| Anzahl der Schnitte | 4 | 4 |
| Zustellung/Vorschub | | |
| Schnitt 1 | ca. 1.5 mm / 1200 mm/min | ca. 1.5 mm / 1200 mm/min |
| Schnitt 2 | 1.2 mm / 1500 mm/min | 1.2 mm / 2000 mm/min |
| Schnitt 3 | 0.75 mm / 1500 mm/min | 0.75 mm / 2500 mm/min |
| Schnitt 4 | 0.55 mm / 2000 mm/min | 0.55 mm / 2500 mm/min |
| Standmenge eines Schleifbelages | 500 Rotoren | 425 Rotoren |
| Profilsleifen-Schlichten | | |
| Scheiben-Ø | 240 mm | 240 mm |
| Scheibendrehzahl | 3000 1/min | 3000 1/min |
| Schnittgeschw. | 37.5 m/s | 37.5 m/s |
| Anzahl der Schnitte | 2 | 2 |
| Zustellung/Vorschub | | |
| Schnitt 1 | 0.05 mm / 1000 mm/min | 0.05 mm / 1200 mm/min |
| Schnitt 2 meßgesteuert | 0.03 mm / 1000 mm/min | 0.03 mm / 1000 mm/min |
| Standmenge eines Schleifbelages | 1500 Rotoren | 1250 Rotoren |

4.6. Meßprotokolle

zum Bearbeitungsbeispiel 4.5

4.6.1 Profil des Nebenläufers



4.6.2 Steigung des Nebenläufers

SCHNITT/EINP
 VERSATZ
 VERSATZ
 WINKEL
 O. CORREKT



O-P

0.0500

KOORD.-NULLPKT. X -
 Y -

VERGROESSERUNG -
 ANGABEN IN MM

PLOT-VERSATZ X -
 Y -
 Z -

DREHM UM-X -
 UM-Y -
 UM-Z -

UEBERHOEHUNG DER ABWEICHUNG - 200.0
 GESAMT-UEBERHOEHUNG DER ABW. - 200.0

ZEISS

KURVENMESSUNG

TEIL NR. # 30 #

ZEICHNG:

PRUEFER : gz - s

DATUM : 30.03.1990

4.6.3 Teilungsmessung-Nebenläufer

MESSPROTOKOLL ZEISS UMESS

CNC-ABLAUF

```

=====
ZEICHNUNGS NR | AUFTRAGS NR | LIEFERANT/KUNDE | ARBEITSGANG |
| | | | RS2 581 CNC |
-----
PRUEFER | DATUM | TEIL-NR |
QZ - S | 30.03.1990 | * 30 * |
    
```

```

-----
ADR|RFK|AUFGABE|BEZ|SYI|ISTMASS|NENNMASS|O.TOL|U.TOL|ABW|UEB
-----
SOLLTEILUNG(MM)= 0.0000
VON 28 BIS 28
VON 31 BIS 31
VON 34 BIS 34
VON 37 BIS 37
VON 40 BIS 40
VON 43 BIS 43
VON 46 BIS 46
VON 49 BIS 49
    
```

TEILUNGSMESSUNG (LINEARTEILUNG)

| NR | POS | f _p | F _p | f _u |
|-----|--------|----------------|----------------|----------------|
| 1/2 | 0.0194 | -0.0049 | -0.0049 | |
| 2/3 | 0.0173 | -0.0021 | -0.0071 | 0.0028 |
| 3/4 | 0.0159 | -0.0014 | -0.0084 | 0.0007 |
| 4/5 | 0.0160 | 0.0000 | -0.0084 | 0.0014 |
| 5/6 | 0.0173 | 0.0013 | -0.0071 | 0.0012 |
| 6/7 | 0.0199 | 0.0026 | -0.0045 | 0.0013 |
| 7/8 | 0.0238 | 0.0039 | -0.0006 | 0.0013 |

4.6.4 Rundheit von 40m5 des Hauptläufer

