

Rationelles Profilschleifen schnecken- und gewindeförmiger Werkstücke auf einer in acht Achsen CNC-gesteuerten Schnecken- und Gewindeschleifmaschine

Dipl.-Ing. **S. Dirrichs**, Hückeswagen

Zusammenfassung

In diesem Bericht wird die Fertigung von Verdichterrotoren auf einer in 8 Achsen CNC-gesteuerten Schnecken- und Gewindeschleifmaschine vorgestellt.

Durch ein neuartiges Maschinenkonzept, daß sich durch modernste CNC-Steuerungstechnik auszeichnet, ist bei höchster Präzision ein äußerst wirtschaftliches Formschleifen von schnecken- und gewindeförmigen Werkstücken in der Einzel- und Serienfertigung möglich.

Diese Konzeption gewährleistet bei hoher Bedienfreundlichkeit eine hervorragende Maschinenproduktivität durch weitgehenden Wegfall des Umrüstaufwandes und entsprechend kurze Rüst- und Nebenzeiten.

Neben der hohen Genauigkeit bei der Fertigbearbeitung besteht die Möglichkeit einer Vorbearbeitung der Werkstücke durch Schleifen aus dem vollen, das gegenüber bisherigen Verfahren große Vorteile bringt. Dazu gehören u.a. die höhere Profilgenauigkeit, die eine Verringerung des notwendigen Schleifaufmaßes zuläßt, und vor allem die kürzere Bearbeitungszeit.

Die Verwendung eines in zwei Achsen CNC-bahngesteuerten Universalabrichtgerätes erstreckt sich auch auf Profile, für die das Abrichten der Schleifscheibe mit einfachen Mitteln bislang nicht möglich war. Das für derartige Profile entwickelte CNC-Abrichtgerät besteht aus einem fest installierten mechanischen Teil mit den zugehörigen Antrieben, einer zusätzlichen Steuereinheit und einem handelsüblichen Tischrechnersystem zur automatischen, punktwisen Generierung des Schleifscheibenprofils aus den Geometriedaten des zu schleifenden Werkstückes.

Summary

This report presents the manufacture of compressor rotors on a worm and thread grinding machine, in 8 axis CNC controlled.

One to a newly developed machine concept with its most modern CNC control technique; profile grinding of worm- and thread type components can be done at highest precision and most economically in single piece as well as high production.

This concept ensures excellent machine productivity at a high degree of operator friendliness because of minimum change over times.

Besides the high accuracy when finish grinding, the machine offers the possibility to rough grind the workpieces from the solid, a process which in comparison to conventional machining systems results in considerable advantages. Besides others those are improved profile accuracy permitting a decrease of the required finishing allowance and the shorter production time.

The use of the 2 axis CNC path controlled universal wheel dresser includes profiles for which so far the grinding wheel could not be dressed with simple means.

The CNC dressing unit developed for such profiles consists of the mechanical part with its drives connected to the machine; one additional control unit and a common desk computer system for the automatic point by point generation of the grinding wheel profile from the geometry data of the workpiece to be ground.

1. Einleitung

Bei der Forderung nach immer genaueren und schnelleren Fertigungsverfahren kommt dem Schleifen als Feinbearbeitung eine hohe Bedeutung zu. Durch die Entwicklung eines CNC-Universal-Abrichtgerätes ist es möglich, selbst komplizierte Profile, wie sie Verdichtertrotoren darstellen, schleifbar zu machen. Neben der hohen Profildgenauigkeit und den leichten Korrekturmöglichkeiten wird auch im Zusammenhang mit der CNC-Schnecken- und Gewindeschleifmaschine HNC 35 durch den Einsatz modernster CNC-Steuerungstechnik eine Verbesserung der Genauigkeit bezüglich Steigung und Teilung erreicht.

2. Aufbau der CNC-gesteuerten Schnecken- und Gewindeschleifmaschine HNC 35

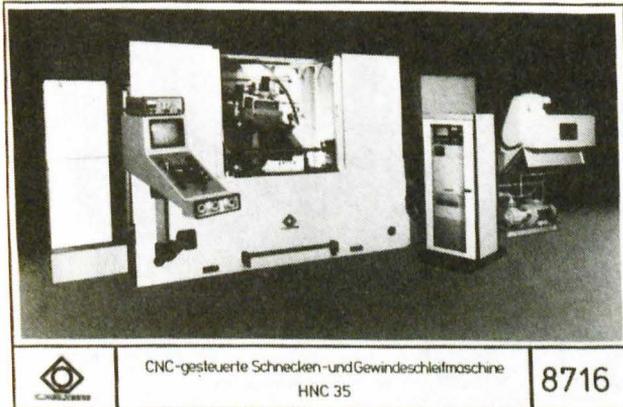


Bild 1

Fig. 1: CNC-controlled worm- and thread grinding machine HNC 35

In Bild 1 ist die Gesamtansicht der HNC 35 dargestellt. Neben der Maschine mit dem Bedienpult ist die separate Steuerung für das Abrichtgerät zu erkennen.

Durch die erwähnte technisch ausgereifte CNC-Steuerungstechnik ist bei höchster Präzision ein äußerst wirtschaftliches Formschleifen von schnecken- und gewindeförmigen Werkstücken möglich. Der vielseitige Anwendungsbereich ermöglicht das Schleifen nahezu aller in der Praxis vorkommender Werkstücke im Bereich von 10 bis 350 mm Durchmesser bei Schleiflängen bis 600 mm und Steigungswinkeln bis 60° . Die für die HNC 35 entwickelte elektronische Multiprozessorsteuerung erfüllt mit der permanenten Systemüberwachung und Selbstdiagnose bei eventuellen Störungen oder Fehleingaben höchste Anforderungen.

In Bild 2 ist eine Auswahl aus dem auf der HNC 35 schleifbaren Werkstückspektrum zu sehen. Neben Getriebeschnecken mit genormten Profilen (z.B. I, A, N, K-Profile) ist vor allem das Schleifen von Verdichterrotern und Förderschnecken mit Hilfe des CNC-Abrichtgerätes möglich. Dadurch ist eine weitgehende Verbesserung der Genauigkeiten bezüglich

Profilform; Steigung; Teilung und Oberflächengüte gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren gegeben.



Bild 2

Fig. 2: Selection of work pieces which can be ground on the HNC 35

2.1 Maschinenkonzept

2.1.1 Rüst- und Nebenzeiten

Die Basis des modernen Antriebskonzeptes der HNC 35 bildet ein geschlossener Regelkreis zwischen den separaten Antrieben für den Spannkopf (Werkstück-Drehbewegung) und dem Werkstückschlitten (Vorschubbewegung); der in Verbindung mit der nach dem neuesten Stand heutiger CNC-Steuerungstechnik ausgelegten 6-Achsen-CNC-Steuerung den bei konventionellen Schnecken- und Gewindeschleifmaschinen notwendigen Getriebestrang mit Teil- und Steigungswechsellrädern zur Koordinierung von Werkstückdreh- und Vorschubbewegung überflüssig macht. Der Umrüstaufwand beschränkt sich dadurch im wesentlichen auf die bedienergeführte Eingabe der Werkstückdaten und Schleifparameter am Terminal der Bedieneinheit (Bild 3), wobei diese Daten auch steuerungsintern gespeichert werden können. Für Wiederholbearbeitungen stehen sie dann jederzeit wieder auf Abruf bereit, so daß sich eine erneute Eingabe erübrigt. Bei serienmäßiger Ausrüstung der Maschine reicht die Speicherkapazität für 60 verschiedene Werkstücke. Sie kann jedoch in Stufen für bis zu 960 Werkstücke erweitert werden. Als besonderen Vorteil ergeben sich mit dieser Konzeption bei gegenüber konventionellen Maschinen hin-

ichtlich Teilung und Steigung noch gesteigerter Arbeitsgenauigkeit neben einer spürbar größeren Bedienfreundlichkeit drastisch verminderte Warte- und Nebenzeiten, so daß die HNC 35 insgesamt eine deutlich höhere Maschinenproduktivität besitzt als Schnecken- und Gewindeschleifmaschinen mit konventionellem Getriebestrang.



Bedieneinheit der HNC 35 mit
Bildschirm, Eingabetastatur
und Handrädern

8707

Bild 3

Fig. 3: Control unit of HNC 35 with monitor; keyboard for data input; electronic handwheels and all switches and controls for manual and automatic modes of operation.

2.1.2 Automatische Programmabläufe

Unabhängig davon, ob es sich um ein Schlichtschleifen zur Fertigbearbeitung vorgefertigter Werkstücke oder um ein Schruppschleifen zur Vorbearbeitung für ein nachfolgendes Schlichten geht, stehen auf der HNC 35 verschiedene automatische Schleifprogramme zur Wahl, die eine individuelle Anpassung an die jeweilige Schleifaufgabe erlauben, so daß entsprechend den vorliegenden Anforderungen jederzeit ein hinsicht-

lich kurzer Schleifzeit oder besonders hoher Genauigkeit optimales Schleifergebnis erreicht werden kann.

Vor allem das Schleifen aus dem vollen (Bild 4) ist gegenüber anderen Vorbearbeitungsverfahren eine sehr wirtschaftliche Methode. Dabei wird im Formschleifverfahren unter Reduzierung der Vorschubgeschwindigkeit die gesamte Schleifzugabe in wenigen bzw. einem Durchgang abgetragen. Als besonders vorteilhaft ist dabei, daß das Schlichtaufmaß für das Fertigschleifen vermindert und somit Schlichtschleifzeit eingespart werden kann, da dieses vorgeschliffene Profil dem endgültigen Profil besser entspricht, als dies bei anderen Vorbearbeitungsverfahren in der Regel der Fall ist. Hinzu kommt, daß die Vorbearbeitungszeit durch Tiefschleifen auch gegenüber anderen spanenden Bearbeitungen meist verringert werden kann. Neben den oben genannten Vorteilen wird außerdem durch eine geeignete Kühllözluführung die Temperatur des Werkstückes niedrig gehalten, so daß dadurch kaum Verzüge auftreten.



Bild 4

Fig. 4: Grinding from the solid

2.1.3 DNC-gerechter Maschinenaufbau

Die HNC 35 bietet in Verbindung mit dem CNC-Universalabrichtgerät alle Voraussetzungen für einen DNC-Betrieb und ist somit in Verbindung mit geeigneten Werkstückbeschickungs- und Magazineinrichtungen in ein Fertigungssystem zu integrieren.

Zusätzlich steht in Kürze auch eine CNC-gesteuerte Profilmelbeinrichtung für den Einsatz im Betrieb zur Verfügung, mit deren Hilfe selbst komplizierte Rotorprofile Punkt für Punkt meßbar sind. Davon ausgehend können bei Bedarf gezielte Profilkorrekturen durchgeführt werden.

2.2 CNC-Universalabrichtgerät

2.2.1 Arbeitsweise und Anwendungsbereich

Das CNC-Profilabrichtgerät der HNC 35 besteht aus einem in zwei Achsen bahngesteuerten Kreuzschlitten. Zur absoluten Bestimmung der Position werden beide Achsen mit Hilfe eines Längenmeßsystems über Glasmaßstäbe überwacht.

An dem Kreuzschlitten sind zwei Abrichtrollen (Bild 5), die auf ihrem Umfang mit Diamanten belegt sind, befestigt, die die Profilgebung der Schleifscheibe vornehmen.

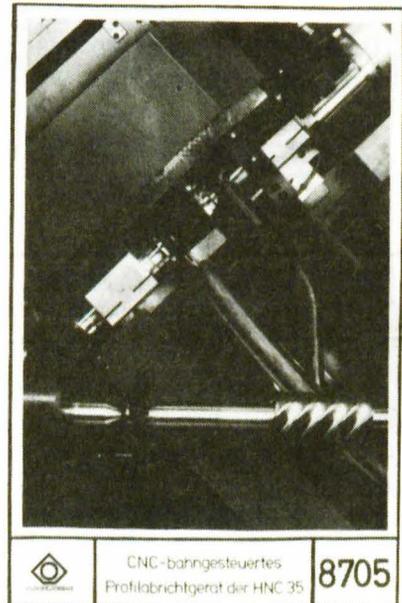


Bild 5

Fig. 5: CNC-path controlled dresser of HNC 35

Die Diamantrollen haben am Außendurchmesser einen definierten Radius, der je nach Profilform der Schleifscheibe festgelegt werden muß.

In Verbindung mit dem großen Durchmesser von 100 mm der Rollen ist eine hervorragende Profilhaltigkeit und lange Lebensdauer gewährleistet. Selbst bei kleinsten Profilradien sind dauerhafte Arbeitsgenauigkeit und gute Reproduzierbarkeit zu erreichen.

Auf der rechten Seite von Bild 6 ist die Arbeitsweise des Abrichtgerätes erklärt. Ausgehend vom Profilmullpunkt wird zunächst die linke Schleifscheibenseite abgerichtet. Am höchsten Punkt der Schleifscheibe erfolgt der Wechsel der Rollen und die rechte Rolle übernimmt das Abrichten der rechten Schleifscheibenseite.

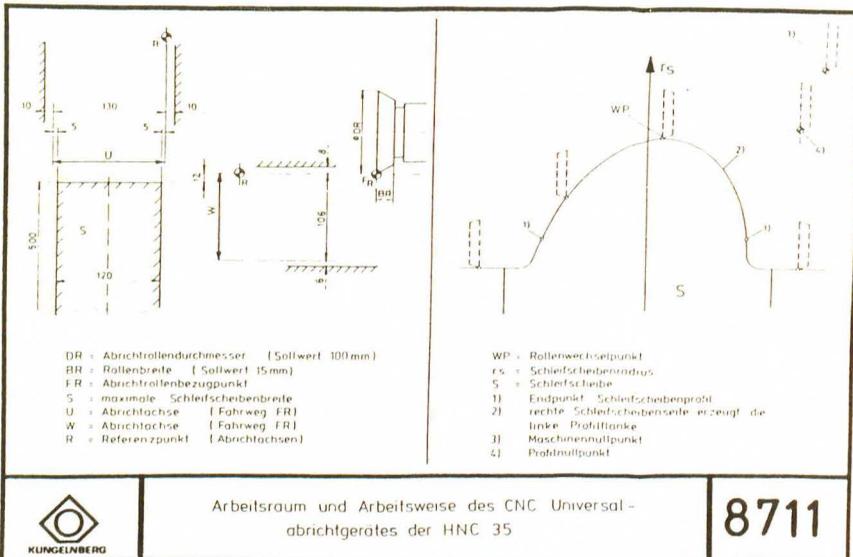


Bild 6

Fig. 6: Operating space and working procedure of the CNC-universal dresser of HNC 35

Im linken Bildteil sind die max. Verfahwege der beiden Achsen gezeigt. Sie betragen für die u-Achse 130 mm und für die w-Achse 106 mm. Die max. Schleifscheibenbreite beträgt 120 mm; so daß auch sehr breite Profile im Formschleifverfahren bearbeitet werden können.

8. Rechnergestützte Profilgenerierung

Die einzelnen Komponenten des Abrichtsystems sind in Bild 7 dargestellt. Dazu gehört der im Bild oben gezeigte Tischrechner mit entsprechender Peripherie. Hier erfolgt die Eingabe und Optimierung des Rotor- und Schleifscheibenprofils.

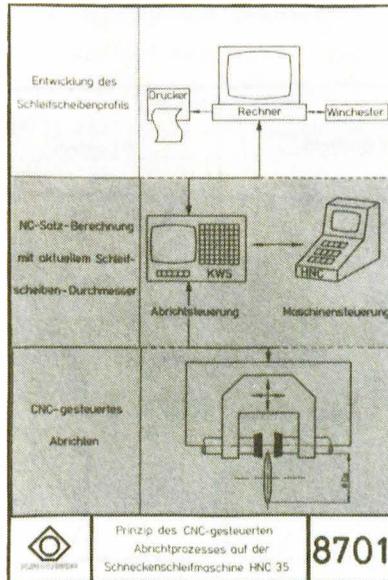


Bild 7

Fig. 7: Principle of CNC-Dressing System

Die Daten werden von der Abrichtsteuerung, die sich an der Maschine befindet, angefordert. Daran anschließend werden die NC-Sätze unter Berücksichtigung des aktuellen Schleifscheibendurchmessers, der von der Maschinensteuerung gemeldet wird, berechnet. Außerdem erfolgt von hier aus die Steuerung und Überwachung des Abrichtprozesses.

Durch das System des von der Maschine getrennten Generierungsrechners besteht die Möglichkeit, neue Profile einzugeben und zu optimieren, ohne eventuelle Maschinenstillstandszeiten in Kauf zu nehmen.

3.1 Bereich Generierungsrechner

3.1.1 Eingabe der Profildaten

Zu der Eingabe gehören zum einen die auf das Werkstück bezogenen Daten. Darunter fallen z. B. Durchmesser; Steigung; Gangzahl; Schleifscheiben-Schwenkwinkel usw.

Die Eingabe der Profilkordinaten erfolgt Punkt für Punkt wahlweise im Achs- oder Stirnschnitt (Bild 8). Jeder Punkt wird durch seine x- und y-Koordinaten und den Normalwinkel bestimmt.

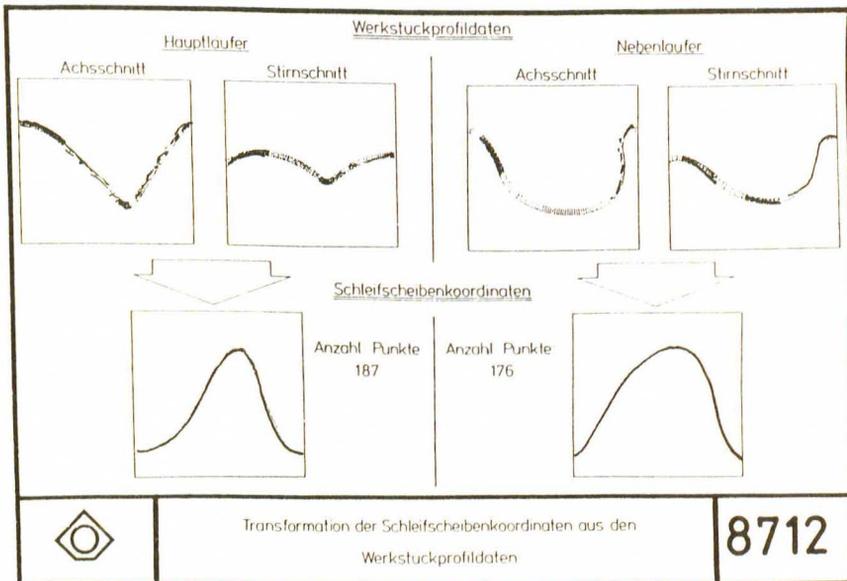


Bild 8

Fig. 8: Transformation of work piece profile data to grinding wheel coordinates

Die Anzahl der Punkte hängt von der erforderlichen Genauigkeit ab. So muß das Profil bei starker Krümmung durch eine größere Anzahl Punkte beschrieben werden als bei schwacher Krümmung. Für jedes Profil können max. 500 Punkte eingegeben werden.

3.1.2 Berechnung des Schleifscheibenprofils

Ausgangspunkt zur Berechnung des Schleifscheibenprofils ist der Achsschnitt des Werkstückes. Falls die Eingabe im Stirnschnitt erfolgte, werden zunächst rechnerintern die entsprechenden Achsschnittkoordinaten berechnet.

Grundsätzlich wird für jeden Profilpunkt ein Schleifscheibenpunkt berechnet. Eine Sonderstellung nehmen solche Punkte ein, die eine Unstetigkeitsstelle, wie z. B. eine Ecke, darstellen. In Bild 9 ist das Prinzip der Transformation solcher Punkte dargestellt. Eine Ecke wird bei der Eingabe durch zwei Punkte mit gleichen x - und y -Koordinaten, aber mit verschiedenen Normalenwinkeln, beschrieben.

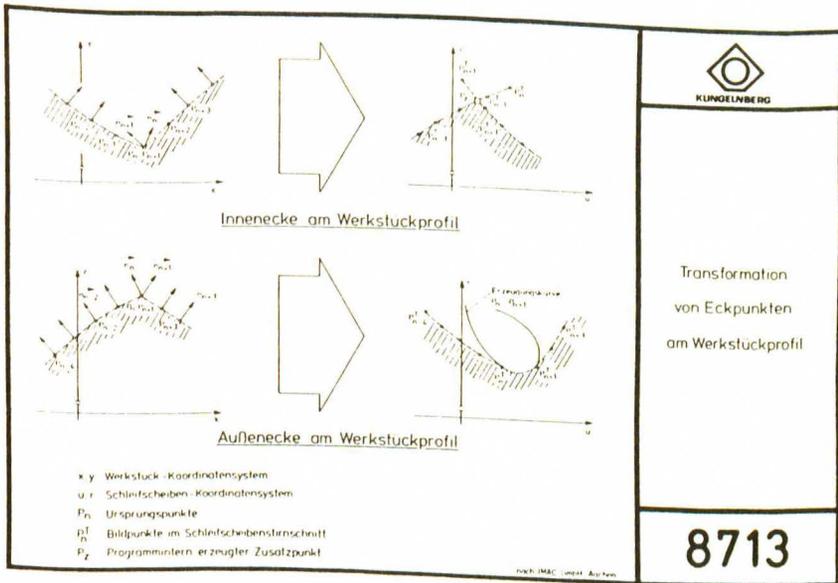


Bild 9

Fig. 9: Transformation of "profile corners" of work piece profile

Eine Innenecke am Werkstückprofil (Bild 9 oben) wird durch die Punkte P_N und P_{N+1} beschrieben. Dieser Doppelpunkt wird auf die zwei Punkte P_N^T und P_{N+1}^T auf der Schleifscheibe abgebildet. Da diese Punkte außerhalb des abrichtbaren Bereichs liegen, wird ein zusätzlicher Punkt P_Z auf dem Schnittpunkt der beiden Teilpolygone programmintern berechnet. Dies hat allerdings zur Folge, daß die Innenecke nicht exakt geschliffen werden kann, und eine Verrundung in diesem Profildbereich ein-

tritt. Dies kann aber durch Optimierung des Schleifscheibenschwenkwinkels minimiert werden.

Im Gegensatz hierzu schneiden sich die Teilpolygonzüge der Punkte p_N^T und p_{N+1}^T bei einer Außenecke nicht (Bild 9 unten). Die Schleifscheibe wird in diesem Bereich durch die Erzeugungskurve der Punkte p_N^T und p_{N+1}^T beschrieben, so daß dieser ganze Bereich der Schleifscheibe zur Erzeugung der Außenecke am Werkstück beiträgt.

Bei der Transformation wird gleichzeitig überprüft, ob jeder Punkt auf der Schleifscheibe abbildbar ist. Ist dies nicht der Fall, wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben. Bei kritischen Profilen mit sehr kleinen Eingriffswinkeln in bestimmten Profilbereichen muß eine Optimierung über den Schleifscheibenschwenkwinkel erfolgen. Dies ist am Computer durchzuführen, so daß hierdurch keine Ausfallzeiten auf der Maschine anfallen.

3.1.3 Rücktransformation und Profilvergleich

Um den Einfluß des Schleifscheibendurchmessers abzuschätzen, bietet das Programm die Möglichkeit der Rücktransformation. Dabei wird zu einem vorliegenden Schleifscheibenprofil das zugehörige Rotorprofil in Abhängigkeit vom Schleifscheibendurchmesser bestimmt. In Verbindung mit einem Vergleichsmodul kann somit die Abweichung des Profils bestimmt werden, indem der Abstand berechnet wird, den jeder Punkt des Sollprofils vom Polygonzug des rücktransformierten Rotorprofils hat.

Mit Hilfe dieser Module kann die Stufung des Schleifscheibendurchmessers bestimmt werden, nach deren Durchlaufen automatisch eine Neugenerierung des Profils durchgeführt werden muß (vgl. Abschnitt 3.2.2), um eine vorgegebene max. Abweichung nicht zu überschreiten.

3.1.4 Möglichkeiten für Profilkorrekturen

Einen Überblick über mögliche Profilkorrekturen gibt Bild 10. Diese Korrekturen können je nach Meßsystem im Achs- oder im Stirnschnitt durchgeführt werden. Es stehen drei verschiedene Korrekturen zur Auswahl:

1. lineare Korrektur
2. zirkulare Korrektur
3. punktweise Korrektur

Bei den Korrekturen ist darauf zu achten, daß die Korrekturwerte einer gleichmäßigen Tendenz folgen und keine Ecken und Sprünge im Profil entstehen, die dann nicht in das Schleifscheibenprofil transformierbar sind.

Bei der Korrektur werden die Ursprungskordinaten in Richtung ihrer Profilnormalen mit dem eingegebenen Korrekturwert überlagert.

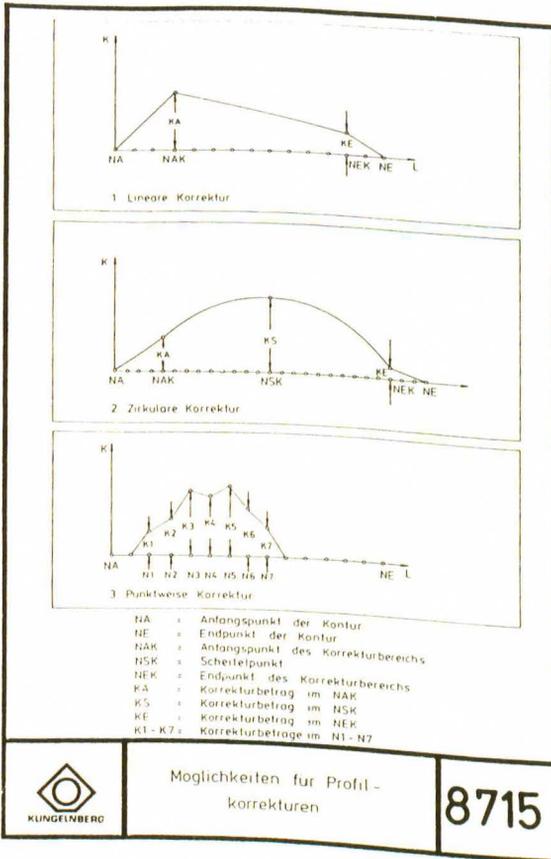


Bild 10

Fig. 10: Possibility for profile correction

3.2 Bereich Abrichtsteuerung

3.2.1 Übertragung und Aufarbeitung der Daten

Nachdem das Profil am Computer generiert und abgespeichert ist, können die Daten von der Abrichtsteuerung angefordert werden. Dies geschieht

über eine serielle Schnittstelle, wobei der Generierungsrechner in einer Entfernung bis zu 150 m aufgestellt werden kann.

Übertragen werden die werkstückspezifischen Daten und die Achsschnittkoordinaten des Werkstückes.

In der Abrichtsteuerung sind zwei Rechnersysteme integriert. Das eine System berechnet die Schleifscheibenkoordinaten und die entsprechenden NC-Sätze, während das zweite die eigentliche Steuerung und Überwachung der Achse des Abrichtgerätes übernimmt.

An die Datenübertragung schließt sich die Berechnung der Schleifscheibenkoordinaten an; unter Berücksichtigung des aktuellen Schleifschei-

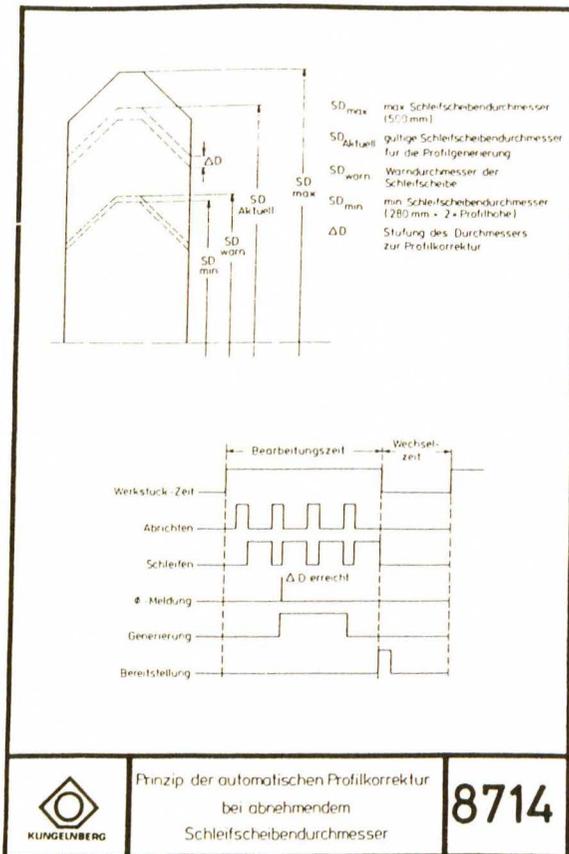


Bild 11

Fig. 11: Principle of automatic profile correction with decrease of grinding wheel diameter

bendurchmessers. Nach der Transformation werden die NC-Sätze berechnet und an die Steuerung des Abrichtgerätes übertragen.

3.2.2 Automatische Profilkorrektur in Abhängigkeit vom Schleifscheibendurchmesser

Da vor allem für komplizierte Profile, wie sie Rotoren darstellen, der Einfluß des Schleifscheibendurchmessers durch Veränderung des Achsabstandes von großer Bedeutung ist, besteht die Möglichkeit, bei einer vorgegebenen Änderung des Durchmessers eine automatische Korrektur durchzuführen.

In Bild 11 ist die Eingliederung der Korrektur in einen Werkstückzyklus beschrieben. Während einer Werkstücktaktzeit, bestehend aus Abrichten und Schleifen, wird von der Maschinensteuerung eine Änderung des Schleifscheibendurchmessers gemeldet. Falls der Betrag der Stufung ΔD erreicht ist, startet eine neue Generierung des Schleifscheibenprofils. Der Bearbeitungszyklus bleibt davon unbeeinflusst. Erst nach Beendigung der Bearbeitungszeit wird das neue NC-Programm bereitgestellt, um sicherzustellen, daß ein Werkstück mit dem gleichen Programm fertig bearbeitet wird.

3.2.3 Profilkorrekturen und Rückmeldung der Daten an den Generierungsrechner

Die unter Punkt 3.1.4 beschriebenen Korrekturen sind unabhängig vom Computer und an der Abrichtsteuerung direkt durchzuführen. Nach Beendigung der Korrekturen können die Daten an den Generierungsrechner zurückgemeldet und dort abgespeichert werden. Sie stehen somit neben den Ursprungsdaten bei einem Wiederholauftrag zur Verfügung.