



# LUND UNIVERSITY

## Beurteilen der Investitionen von Industrierobotern

Nordahl, Håkan; Nilsson, Carl-Henric; Martins, Gösta

*Published in:*  
Werkstatt und Betrieb

1988

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Nordahl, H., Nilsson, C.-H., & Martins, G. (1988). Beurteilen der Investitionen von Industrierobotern. *Werkstatt und Betrieb*, 121(12), 963-965.

*Total number of authors:*  
3

*Creative Commons License:*  
Ospecificerad

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

Autorenfortdruck aus der Zeitschrift

---

# ***Werkstatt und Betrieb***

Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung

---

121. Jahrgang 1988

Carl Hanser Verlag, München

---

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe dieses Autorenfortdrucks und der Übersetzung, behält sich der Verlag vor

*Håkan Nordahl, Carl-Henric Nilsson, Lund und Gösta Martins, Västerås, Schweden*

# Beurteilen der Investitionen von Industrierobotern

*Allen Anwendern von Industrierobotern dürfte bekannt sein, daß die herkömmlichen Gründe für eine Investition – wie das Einsparen von Arbeitskräften oder die Verbesserung von Qualität und Arbeitsumwelt – kein richtiges Bild von der Rentabilität einer Roboterinstallation geben. Wie eine 1987 durchgeführte Untersuchung an der TH Lund, Schweden in Zusammenarbeit mit Asea Brown Boveri (ABB) zeigte, spielen auch andere Faktoren eine maßgebliche Rolle für die Rentabilität der Anlage. Dazu gehört die Möglichkeit, die Produkte, den Produktionsumfang und die Produktionsausrüstung zu ändern. Eine Methode, die zum Beurteilen von Investitionen maßgebend sein dürfte, nennt sich *capital-back* und berücksichtigt den Aspekt der Flexibilität bei Investitionen.*

## 1 Wichtige Rentabilitätsfaktoren

Fünf Roboterinstallationen aus den Jahren 1971 bis 1981 wurden in dieser Hinsicht untersucht. Um die Rentabilität der Installationen zu erklären, wurden die Anlagen über lange Zeit hinweg – von der Installation bis zum heutigen Stand – ausgewertet. Dabei wurde besonderer Wert auf die Veränderung der Bedingungen und der Umgebung der Industrieroboter gelegt. Es sollte ermittelt werden, wie flexibel eine Roboterinstallation ist.

Die erzielten Ergebnisse sind in vieler Hinsicht interessant. Es stellte sich heraus, daß die Umgebung in der Werkstatt häufig „dynamisch“ ist. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß es zum Zeitpunkt der Installation schwierig sein kann, das Geschehen in der Anlage für die kommenden zehn Jahre vorauszusehen. Es besteht auch das Risiko, daß bestimmte Änderungen während der veranschlagten Lebensdauer einer weiteren Anwendbarkeit der betreffenden Maschine für die Produktion im Wege stehen.

So ergab sich die interessante Tatsache, daß alle der untersuchten fünf Installationen die geänderten Voraussetzungen ohne größere Probleme bewältigen. Hätte man zum Installationszeitpunkt statt der anpaßbaren Automatisierung mit Industrierobotern eine Anlage mit fester Automatisierung gewählt, wäre dies schwieriger gewesen. Im wesentlichen konnte den Änderungen durch Änderungen der Software und der Spannzeuge begegnet werden. Bei der Analyse der fünf Fälle ergab sich, daß einige Faktoren größere Bedeutung für die Rentabilität hatten als andere.

Einer der wichtigsten Gründe für Investitionen zur Rationalisierung ist offensichtlich das Einsparen von Arbeitskräften. Auch hier zeigte die Untersuchung, daß die vorkalkulierten Ersparnisse mit dem wirklichen Ergebnis in den meisten Fällen gut übereinstimmten. Es ist also kein großes Problem, diesen Faktor bei einer Investitionsbeurteilung abzuschätzen.

Eine verbesserte Arbeitsumwelt und ein verringerter Personalumsatz sind deutliche Effekte von Roboterinstallationen. Auch diese Erscheinungen dürften bekannt sein und bei

Roboterinstallationen als wichtige Entscheidungshilfe herangezogen werden. Die Fallstudien lassen erkennen, daß die Arbeit interessanter wird, wenn sich der Bedienungsmann anlässlich der Installation des Industrieroboters fortbilden kann und danach die Programmierung, Wartung und Fehlerbeseitigung in der Anlage beherrscht.

Eine Roboterinstallation kann gewöhnlich auch eine Produktion mit begrenzter Bemannung bewältigen. Ein großer Vorteil ist dann außer der Erhöhung der Effektivität die Möglichkeit, durch Änderung der unbemannten Betriebszeit den Produktionsumfang von einem Tag zum anderen umzustellen, und zwar ohne Überstunden-Zuschläge oder andere Mehrkosten.

Bei den meisten Produkten macht sich eine Tendenz in Richtung auf einen kürzeren Lebenskreislauf bemerkbar. Deshalb ist es wichtig, daß eine Installation bei einem Wechsel der Produkt-Generation nicht unbrauchbar wird. Wie die Fallstudien gezeigt haben, ist die Flexibilität in Industrieroboter-Installationen häufig so hoch, daß Änderungen dieser Art zu bewältigen sind. In vier von den fünf untersuchten Fällen sind Produktänderungen aufgetreten, die zum Zeitpunkt der Installation nicht vorauszusehen waren. In keinem der fünf Fälle waren große Änderungen der Anlage erforderlich.

Den Fallstudien zufolge kann man bei Roboterinstallationen ohne größere Produktionsausfälle oder andere Hindernisse einzelne Fertigungsstufen hinzufügen oder wegnehmen. Das liegt an der räumlichen Ungebundenheit zwischen den betreffenden Maschinen.

## 2 *capital-back*

Ein Teil der oben genannten Faktoren wird bei heutigen Investitionskalkulationen nicht berücksichtigt. Dazu gehören die Flexibilität des Fertigungsumfangs, des Produkts und der Ausrüstung. Der praktische Nutzen der Flexibilität steht außer Zweifel. Eine flexible Anlage bewältigt künftige Änderungen leichter und hat deshalb gute Voraussetzungen, die errechnete wirtschaftliche Lebensdauer zu erzielen. Diese Eigenschaft sei hier „Solidität“ genannt; unter Solidität sei das Risiko des Unternehmens verstanden, Geld zu verlieren, falls die Investition mißlingt. Ein Industrieroboter kann weiterverkauft werden, während ein fester Automat im Prinzip nur für den jeweiligen Anwendungszweck von Wert ist.

Eine aufschlußreiche Methode zum Berücksichtigen der Solidität ist die *capital-back*-Methode, die von der TH Lund in Zusammenarbeit mit ABB Production Development, Västerås, Schweden entwickelt wurde. Sie gibt an, nach welcher Zeit die Summe der jährlichen Einzahlungsüberschüsse zusammen mit dem Wert des wiederverwendbaren Teils der Ausrüstung zum gleichen Zeitpunkt ebenso groß ist wie die Grundinvestition. Das *capital-back* ist also ein Maß für Solidität der Investition, während *pay-back* ein Maß für die Liquidität und Rentabilität einer Investition darstellt. Die bei-

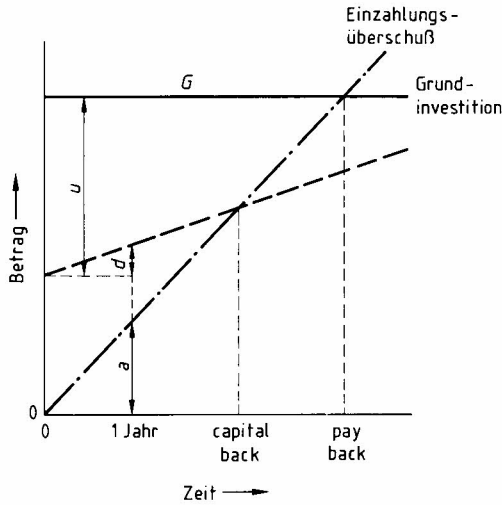


Bild 1. Capital-back-Methode  
*a* jährlicher Einzahlungs-Überschuß, jährliche Wertminderung des wiederanwendbaren Anlageteils, *u* wiederanwendbarer Teil der Gesamtinvestition bzw. -anlage

den Methoden ergänzen einander und ergeben zusammen ein gutes Bild von der Wirtschaftlichkeit der Investition.

Die Beziehung des capital-back *cp* läßt sich folgendermaßen ausdrücken:

$$cp = (G - u) : (a - d).$$

Darin bedeuten *G* die Grundinvestition, *u* der wiederanwendbare Teil der Investition, *a* der jährliche Einzahlungs-Überschuß und *d* die jährliche Wertminderung des wiederverwendbaren Teils. Der graphische Verlauf dieser Gleichung ist in Bild 1 wiedergegeben. Zur Verdeutlichung der Methode ist in Tabelle 1 ein Beispiel angeführt.

Welche der Investitionen ist am rentabelsten? Die Wahrscheinlichkeit für Änderungen spielt natürlich eine wichtige Rolle bei dieser Beurteilung. Die Unternehmensleitung muß dies für jeden einzelnen Fall beurteilen. Der Begriff der capital-back-Zeit dürfte die Beurteilung erleichtern und eine breitere und bessere Entscheidungshilfe geben.

Ein offensichtliches Problem dieser Methode ist das Abschätzen des wiederanwendbaren Teils der Investition. Am schwersten ist jedoch zu bestimmen, welche äußere Änderung zum Berechnen der Wiederanwendbarkeit zugrundeliegen soll. Hier kann man beispielsweise annehmen, daß der Markt oder auch die in der Anlage gefertigte Produktionsgeneration gleich nach der Installation aufhört. *U* ist dann der Wert des Anlagenteils, der verkauft oder für die nächste Produktengeneration angewendet werden kann.

Tabelle 1. Beispiel für die capital-back-Methode

	Untersuchte Investitionsbeispiele		
	A	B	C
Grundinvestition <i>G</i> 1000 sKr	100	100	100
wiederanwendbarer Investitionsteil <i>u</i> 1000 sKr	5	50	80
jährlicher Überschuß <i>a</i> 1000 sKr	25	25	25
jährliche Wertminderung des wiederanwendbaren Teils <i>d</i> 1000 sKr	0,5	5	8
pay-back Jahre	4,0	4,0	4,0
capital-back Jahre	4,0	2,5	1,2

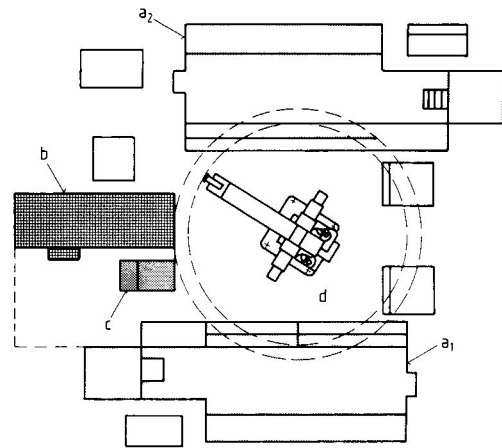


Bild 2. Ursprüngliche Anordnung der flexiblen Drehzelle für Zahnrad-Rohlinge  
*a*<sub>1</sub>, *a*<sub>2</sub> Drehmaschinen, *b* Eingangs- und Ausgangs-Pufferlager, *c* Meßstation, *d* Industrieroboter

### 3 Fallstudie: Drehzelle für Zahnräder

Um zu untersuchen, wie die Flexibilität in Installationen dieser Art wirklich genutzt wird, wurden fünf Fallstudien durchgeführt. Einer dieser untersuchten Fälle soll hier beschrieben werden.

In der Installation werden Zahnrad-Rohlinge für Getriebe gedreht. Die Produktionszelle (Bilder 2 und 3) besteht aus einem Industrieroboter IRB-60 der Asea Brown Boveri, zwei numerisch gesteuerten Drehmaschinen, einer Meßstation sowie den Eingangs- und Ausgangs-Magazinen für die Werkstücke. Der Arbeitszyklus des Industrieroboters beginnt mit dem Aufsuchen eines verfügbaren Rohlings im Eingangs-Magazin. Der aufgenommene Rohling wird in einer Lagerstation zwischengelagert. Der Industrieroboter bewegt sich darauf zur Kontrollstation, nimmt dort ein fertiges und kontrolliertes Werkstück auf und legt es im Ausgangs-Magazin ab. Dann wird der Rohling der Lagerstation entnommen und das Werkstück in Drehmaschine 1 wird ausgewechselt. Der nächste Schritt im Arbeitszyklus ist die Bewegung zu einer Umgreifstation, wo der Industrieroboter das Werkstück ablegt und von der anderen Seite her neu erfaßt. Danach bewegt sich der Industrieroboter weiter zur Drehmaschine 2, wo das Werkstück gewechselt wird. Im letzten Schritt des Arbeitszyklus wird das fertige Werkstück von Drehmaschine 2 zur Kontrolle der Abmessungen in eine Meßstation gebracht.

Heute werden in der Produktionszelle 70 unterschiedliche Varianten im Bereich von 35 bis 198 mm Dmr. gefertigt. In dieser Anlage der AB Benzler, Helsingborg, Schweden werden Zahnradgetriebe gefertigt. Ende der siebziger Jahre wurde bei den Produkten des Unternehmens eine erhebliche Erhöhung des Verkaufsvolumens vorausgesagt. Die vorhandene Kapazität der Fabrik war zu niedrig und mußte erhöht werden.

Mit der Installation wurde im Winter 1981 begonnen. Die Meßeinrichtung war schwierig zu kalibrieren, so daß sich der Produktionsbeginn verzögerte, aber im übrigen traten keine Probleme auf. Von Anfang an wurden in der Anlage 50 Varianten produziert. 1987 wurde das Getriebe neu konstruiert, damit es höhere Drehmomente bewältigte; man begann mit der Fertigung breiterer Zahnräder. Um die neuen Varianten bewältigen zu können, wurden Maschinen, Industrieroboter und die Meßeinrichtung umprogrammiert. Außerdem waren



Bild 3. Flexible Drehzelle  
(Werkfoto: ABB Asea Brown Boveri, Västerås, Schweden und Friedberg/Hss.)

neue Prototypen für die Meßeinrichtung erforderlich. Am Gehäuse des Getriebes konnte dagegen nichts geändert werden, da es in einer Transfer-Maschine gefertigt wurde, die dann hätte ausgewechselt werden müssen. Heute werden 70 Varianten hergestellt.

1984 sollte mit der Fertigung eines ganz neuen Produkts begonnen werden, den Kupplungshälften für elektrische Maschinen. Auf Anregung eines Bedienungsmanns wurde diese Fertigung der hier genannten Gruppe übertragen. Außer Ergänzungen der Software brauchten hierzu keine Änderungen vorgenommen zu werden. Dank der eingebauten Flexibilität der Anlage konnte diese Erhöhung der Maschinenbelegung durchgeführt werden.

Infolge der von Industrierobotern beschickten Zahnrad-Gruppe wurde die Produktqualität erhöht. Durch eine automatische Meßstation, in der alle Werkstücke gemessen werden, gelangen keine fehlerhaften Werkstücke in die Produktionskette.

Gegenwärtig wird das Auswechseln der Drehmaschinen geplant, da sie aus Verschleißgründen nicht mehr so genaue Toleranzen halten können. Infolge der Gestaltung der Installation können Industrieroboter und Meßeinrichtung auch zusammen mit den neuen Drehmaschinen angewendet werden. Diese Freiheit zum Auswechseln von Teilen einer Anlage hat sich als sehr charakteristisch für Roboterinstallationen erwiesen.

Die Bemannung der Installation ist auf durchschnittlich 2 h je Schicht begrenzt. Das Personal ist also nur zum Erledigen qualifizierter Aufgaben (wie die Fehlerbeseitigung und das Einrichten), zuständig. Das Bedienpersonal empfindet es als sehr positiv, daß keine Werkstücke in die Drehmaschinen geladen zu werden brauchen, denn die Zykluszeit beträgt nur 6 min. Da gegenwärtig ein Mangel an Facharbeitern besteht, muß man anregende Arbeitsaufgaben anbieten können, wenn man das Personal behalten will.

#### 4 Zusammenfassung

Der hier beschriebene Fall hat gezeigt, daß die in Industrieroboter-Anlagen vorhandene Flexibilität in der Praxis ge-

nutzt wird. Es besteht also keine Gefahr, daß man nach wenigen Jahren auf einer veralteten Anlage sitzenbleibt. Die Aussichten, daß die Installation während der gesamten technischen Lebensdauer produktiv bleibt, sind also gut.

Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß das Risiko des Unternehmens bei der Investition erheblich gemindert wird, wenn anstatt einer Transfer-Maschine eine flexible Anlage, z. B. mit Industrierobotern, angeschafft wird. Eine Möglichkeit, dies zu kalkulieren, ist die beschriebene capital-back-Methode als Teil der Entscheidungshilfe bei der Investitionskalkulation.

#### Literatur

- 1 *Martins, G.; Svensson, M.: Profitability and Industrial Robots.* Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1988
- 2 *Nilsson C.-H.; Nordahl, H.: Investeringsbedömning av Industrieroboter.* Institut für Industrielle Organisation an der TH Lund, Schweden 1988

#### Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Ing. *Håkan Nordahl*, Jahrgang 1964, studierte Maschinenwesen an der TH Lund. Er ist derzeit mit seiner Promotionsarbeit auf dem Gebiet des Beurteilens der Investitionen neuer Technik am Institut der industriellen Organisation der TH Lund beschäftigt.

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. *Carl-Henric Nilsson*, geboren 1961, studierte Maschinenwesen an der TH Lund und Ökonomie an der Universität Lund, Schweden. Derzeit ist er mit seiner Promotionsarbeit auf dem Gebiet der Beurteilung der Investitionen neuer Technik am Institut für industrielle Organisation an der TH Lund beschäftigt.

Dipl.-Ing. *Gösta Martins*, 1930 geboren, studierte Maschinenwesen mit Schwerpunkt Fertigungstechnik an der TH Stockholm. Er arbeitet jetzt bei der ABB Production Development der Asea Brown Boveri, Västerås, Schweden. Seit 1969 ist er mit der Automatisierung und der Installation von Industrierobotern in Asea-Werkstätten beschäftigt. Darüber hinaus hat er mehrere einschlägige Bücher verfaßt und ist als Vortragender auf diesen Gebieten tätig. Im Herbst wurde er zum außerordentlichen Professor für Fertigungssysteme an der Königlichen Technischen Hochschule, Stockholm berufen. 1341 A

## Fünfachsiges Universal-Bearbeitungszentrum

Das in Bild 1 gezeigte Bearbeitungszentrum der Maho AG, Pfronten ist Teil einer Baureihe mit einer vertikalen und einer horizontalen Spindel. Die vertikale Spindel läßt sich automatisch in eine Ruheposition wegschwenken, so daß dann mit der horizontalen Spindel bearbeitet werden kann.

Die Maschinen lassen sich aufrüsten bis zur Fünf-Achsen-Bearbeitung. Hierbei gibt es bei kleineren Werkstückgewichten die Möglichkeit, einen NC-Schwenk-Rundtisch einzusetzen. Bei schwereren Werkstücken und den entsprechend größeren Maschinen der Baureihe in Bettbauweise dagegen wird ein NC-Rundtisch eingesetzt und der Vertikalfräskopf zur vollwertigen NC-Achse (C-Achse) erweitert. Diese Achse wird über einen regelbaren Wechselstrom-Motor angetrieben. Es wird ein Schwenkwinkel von bis zu  $\pm 60^\circ$  ermög-

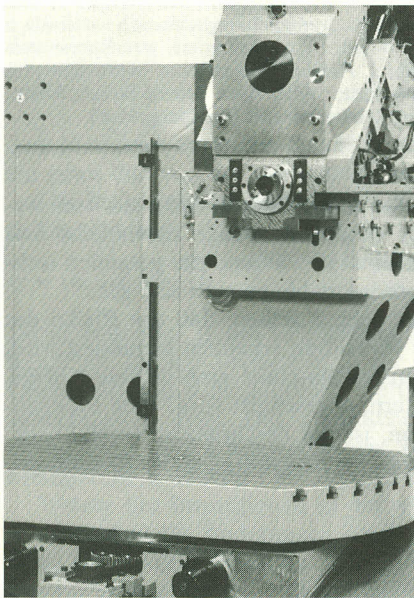


Bild 1. Universal-Bearbeitungszentrum MH 1200S (vertikale Spindel in Ruheposition geschwenkt)

licht, wobei Schwenkvorschübe von bis zu  $3000^\circ$  je Minute realisiert werden. Die maximal zulässige Schwenk-Vorschubkraft beträgt an der Spindelnase 5000 N. In der vertikalen  $0^\circ$ -Stellung erfolgt eine mechanische Verriegelung. Durch den Ausbau ergibt sich keine Reduktion des möglichen Drehfrequenz-Bereichs von 20 bis  $6300 \text{ min}^{-1}$  (Hauptantrieb 15 kW).

Die Maschine besitzt in der X-, Y- und Z-Achse einen Arbeitsbereich von  $1200 \times 600 \times 600 \text{ mm}$ . Die Palettengröße ist  $630 \times 800 \text{ mm}$ , wofür ein  $180^\circ$ -Palettenwechsler angeboten wird. Im Eilgang werden in der X- und der Z-Achse je  $12 \text{ m/min}$  und in der Y-Achse maximal  $10 \text{ m/min}$  erreicht. Die maximale Vorschubgeschwindigkeit im Eingriff beträgt  $4 \text{ m/min}$ .

Es werden Werkzeuge mit Steilkegel ISO 40 eingesetzt. Der automatische Werkzeugwechsler greift zurück auf ein Magazin mit 36 Plätzen. Im Werkzeugmagazin läßt sich eine Werkzeug-Bruchüberwachung durchführen durch Messen der Werkzeuglängen. Ab 1 mm Längenabweichung wird eine Warnung ausgegeben.

Durch den Einsatz des Mikroprozessors 80286 mit einer Taktfrequenz von 12 MHz werden in der CNC-Steuerung 432 kurze Blockzykluszeiten erreicht. Die Möglichkeit

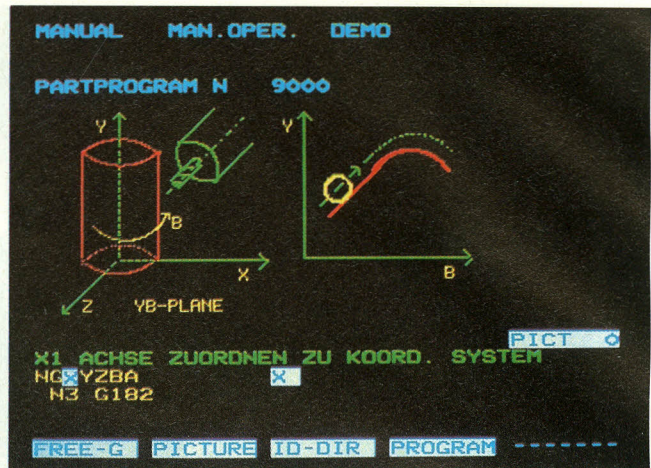


Bild 2.  $2\frac{1}{2}$ -D-Zylinder-Interpolation in den Achsen X, Y und B

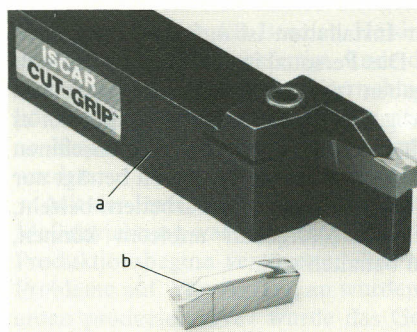
einer Fünf-Achsen-Bearbeitung mit immer senkrecht stehendem Werkzeug (normale Schaftfräser statt Kugelfräser) ist durch eine simultane Linear-Interpolation aller fünf Achsen und eine  $2\frac{1}{2}$ -D-Zirkular-Interpolation gegeben. Weiterhin ermöglicht die Zylinder-Interpolation (Bild 2) die einfache Programmierung von Konturen auf einem Zylinder. Die Geometriefunktionen und die Grafik-Möglichkeiten wurden vervollständigt. Es besteht die Möglichkeit einer 3D-Werkzeug-Korrektur. Alle bisherigen Steuerungen des gleichen Typs sind auf diesen Software-Umfang aufrüstbar.

Neu. 3528

## Drehmeißel zur Innen- oder Außenbearbeitung

Die Wendeschneidplatten-Geometrie des gezeigten Drehmeißels der Iscar Hartmetalle GmbH, Esslingen, ermöglicht dessen Anwendung wahlweise zum Innen- oder Außenbearbeiten. Je nach dem zu zerspanenden Werkstoff kommen unterschiedlich beschichtete Hartmetall-Sorten zum Einsatz. Befestigt werden die Wendeschneidplatten kraft- und formschlüssig. Der als Klemmhalter ausgeführte Drehmeißel-Schaft ist in Breiten von 12 bis 32 mm erhältlich; die Breite der Schneideinsätze variiert zwischen 3 und 8 mm. Zerspanungsversuchen zu Folge haben sich die Werkzeuge bei Vorschüben von 0,1 bis 0,5 mm pro Umdrehung und Schnittiefen bis 5 mm bewährt.

kp. 3357



Drehmeißel mit titannitrid-beschichteter Wendeschneidplatte zum Innen- oder Außenbearbeiten  
a als Klemmhalter ausgeführter Drehmeißel-Schaft, b titannitrid-beschichtete Wendeschneidplatte