

Hans B. Kief  
Helmut A. Roschiwal  
Karsten Schwarz

# CNC-Handbuch 2015/2016



HANSER



# HEIDENHAIN



## dynamic + precision

Genauer und gleichzeitig schneller fräsen ist eigentlich ein Widerspruch. Die TNC-Steuerung mit dem Funktionsumfang **Dynamic Precision** löst dieses Paradoxon auf elegante Weise und hilft Ihnen, das Genauigkeitspotential Ihrer Werkzeugmaschine noch besser zu nutzen. Die Werkstücke werden maßhaltiger selbst bei kleinsten Toleranzen und unterschiedlichsten Formen. Und das ohne Einschränkungen in der Bearbeitungsgeschwindigkeit. Im Gegenteil: Werkzeugmaschinen mit der TNC und **Dynamic Precision** sind oft noch etwas schneller als ohne.

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, 83292 Traunreut, Germany, Telefon +49 8669 31-0, [www.heidenhain.de](http://www.heidenhain.de)

Winkelmessgeräte + Längenmessgeräte + Bahnsteuerungen + Positionsanzeigen + Messtaster + Drehgeber

Hans B. Kief  
Helmut A. Roschiwal  
Karsten Schwarz

---

# CNC-Handbuch

---

2015/16

CNC · DNC · CAD · CAM · FFS · SPS · RPD · LAN  
CNC-Maschinen · CNC-Roboter · Antriebe · Energieeffizienz  
Werkzeuge · Industrie 4.0 · Fertigungstechnik · Richtlinien  
Normen · Simulation · Fachwortverzeichnis

HANSER

*Die Herausgeber:*

Hans B. Kief, Michelstadt

Helmut A. Roschiwal, Augsburg

Karsten Schwarz, Schwabach



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Zu diesem Buch wird für Dozenten eine Power-Point-Präsentation im Internet angeboten, vorgesehen zur Unterstützung der Vorlesungen über CNC-Technik. Der Foliensatz besteht aus über 400 Folien mit erläuternden Notizen und ist abgestimmt auf das CNC-Handbuch 15/16. Um die Dateien herunterladen zu können, loggen Sie sich ein oder melden Sie sich an unter: <https://dozentenportal.hanser.de/>

© 2015 Carl Hanser Verlag München

Gesamtlektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Jörg Strohbach

Titelillustration: intACT Multimedia & Werbung, [www.intACT-multimedia.de](http://www.intACT-multimedia.de)

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Umschlaggestaltung: Stephan Rönigk

Gesamtherstellung: Kösel, Krugzell

Ausstattung patentrechtlich geschützt. Kösel FD 351, Patent-Nr. 0748702

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44090-6

E-Book ISBN: 978-3-446-44356-3

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

## Vorwort

In fast 40 Jahren ist das CNC-Handbuch unter dem Gründer und langjährigen Herausgeber Hans B. Kief zu einem Standardwerk für Ausbildung und Praxis mit einem deutlichen Alleinstellungsmerkmal geworden. Stets aktuell gehalten, fühlen wir uns als Verlag und Herausgeber diesem Anspruch weiterhin verpflichtet. Daher begrüßen wir mit großer Freude Herrn Karsten Schwarz, den wir als zusätzlichen Herausgeber und Autor für dieses Buch gewinnen konnten.

Nach erfolgreich absolvierten Studium der Gerätetechnik an der TU Karl-Marx-Stadt, heute Chemnitz, begann er seinen Berufsweg beim renommierten Hersteller von Werkzeugmaschinen Heckert in Chemnitz. Seit 1990 arbeitet er im Bereich der Automatisierungstechnik für Werkzeugmaschinen in verschiedenen Positionen und leitet seit 2007 das Technologie- und ApplikationsCenter im Siemens-Stammhaus in Erlangen.

*Dr. Hermann Riedel      Helmut A. Roschiwal*

## Lieber Leser,

das CNC-Handbuch hat seit 1976 die schnelle Entwicklung der NC zur CNC-Steuerung und die Entstehung neuer Technologien begleitet und Neuentwicklungen zeitnah beschrieben. Wir sehen es auch weiterhin als eine interessante Aufgabe, den Lesern sowohl das notwendige Grundwissen verständlich zu vermitteln, als auch einen Gesamtüberblick über das große Gebiet und den aktuellen Stand der digitalen Fertigungstechnik zu geben.

Gegenüber der letzten Auflage enthält die **Ausgabe 2015/2016** eine große Anzahl von neuen und aktualisierten Beiträgen:

- Die Beiträge über Positionsmessung, Kompensationen und Kollisionsvermeidung wurden wesentlich erweitert.
- „Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen“ wurde in Teil 3 zusammengefasst und durch Details zur prozess-spezifischen Auslegung ergänzt.
- Das Kapitel „Arten von CNC-Maschinen“ wurde aktualisiert und durch „Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung“ ergänzt.
- Die Kombination verschiedener Zerspanungstechnologien wird an sechs „Multitasking-Maschinen“ gezeigt.
- „Maschinenintegrierte, prozessnahe Werkstückmessungen und Prozessregelung“ wurde aktualisiert.
- Mit dem Kapitel „Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0“ und einem Anwendungsbeispiel aus der Dentalindustrie wird ein Blick in die Zukunft gewagt.

Unser besonderer Dank gilt allen Autoren für die engagierte Unterstützung bei der Ausarbeitung der neuen Kapitel, sowie für die Aktualisierungen von Text- und Bildmaterial. Auch den Rezensenten sei für ihre Anregungen gedankt, die zur ständigen Verbesserung der Neuauflagen beigetragen haben.

*Hans B. Kief*

*Helmut A. Roschiwal*

*Karsten Schwarz*

# Inhaltsübersicht

\* aktualisiert, \*\* neuer Beitrag

<b>Teil 1</b>	<b>Einführung in die CNC-Technik</b>	17
*	1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung	19
	2 Meilensteine der NC-Entwicklung	33
	3 Was ist NC, CNC?	37
<b>Teil 2</b>	<b>Funktionen der CNC-Werkzeugmaschinen</b>	59
	1 Weginformationen	61
	2 Schaltfunktionen	94
**	3 Funktionen der numerischen Steuerung	111
	4 SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen	159
	5 Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine	183
<b>Teil 3</b>	<b>Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen</b>	193
*	1 Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	195
*	2 Hauptspindelantriebe	213
*	3 Prozessadaptierte Auslegung von Werkzeugmaschinenantrieben	221
**	4 Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter	243
<b>Teil 4</b>	<b>Die Arten von numerisch gesteuerten Maschinen</b>	253
*	1 CNC-Werkzeugmaschinen	255
	2 Generative Fertigungsverfahren	345
	3 Flexible Fertigungssysteme	364
*	4 Industrieroboter und Handhabung	402
	5 Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung	425

<b>Teil 5</b>	<b>Werkzeuge in der CNC-Fertigung</b>	437
	1 Aufbau der Werkzeuge	439
	2 Werkzeugverwaltung (Tool Management)	466
**	3 Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung	495
*	4 Lasergestützte Werkzeugüberwachung	509
<b>Teil 6</b>	<b>NC-Programm und Programmierung</b>	521
	1 NC-Programm	523
	2 Programmierung von NC-Maschinen	559
	3 NC-Programmiersysteme	581
	4 Fertigungssimulation	599
<b>Teil 7</b>	<b>Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0</b>	617
	1 DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control	619
	2 LAN – Local Area Networks	636
	3 Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM	656
**	4 Industrie 4.0	675
**	5 Anwendung der durchgängigen Prozesskette in der Dentalindustrie	686
<b>Teil 8</b>	<b>Anhang</b>	697
*	Richtlinien, Normen, Empfehlungen	699
*	NC-Fachwortverzeichnis	707
*	Stichwortverzeichnis	753
*	Empfohlene NC-Literatur	764
*	Inserentenverzeichnis	766

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenübersicht</b> .....	14
<b>Teil 1 Einführung in die CNC-Technik</b> .....	17
<b>1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung</b> .....	19
1.1 Erste Nachkriegsjahre .....	19
1.2 Wiederaufbau der Werkzeugmaschinenindustrie .....	20
1.3 Die Werkzeugmaschinenindustrie in Ostdeutschland .....	20
1.4 Weltweite Veränderungen .....	22
1.5 Neue, typische NC-Maschinen .....	25
1.6 Der japanische Einfluss .....	25
1.7 Die deutsche Krise .....	26
1.8 Ursachen und Auswirkungen .....	26
1.9 Flexible Fertigungssysteme .....	27
1.10 Weltwirtschaftskrise 2009 .....	28
1.11 Situation und Ausblick .....	29
1.12 Fazit .....	31
<b>2 Meilensteine der NC-Entwicklung</b> .....	33
<b>3 Was ist NC und CNC?</b> .....	37
3.1 Der Weg zu NC .....	37
3.2 Hardware .....	38
3.3 Software .....	40
3.4 Steuerungsarten .....	40
3.5 NC-Achsen .....	42
3.6 SPS, PLC .....	43
3.7 Anpassteil .....	45
3.8 Computer und NC .....	45
3.9 NC-Programm und Programmierung .....	47
3.10 Dateneingabe .....	50
3.11 Bedienung .....	51
3.12 Zusammenfassung .....	54
<b>Teil 2 Funktionen der CNC-Werkzeugmaschinen</b> .....	59
<b>1 Weginformationen</b> .....	61
1.1 Einführung .....	61
1.2 Achsbezeichnung .....	61
1.3 Lageregelkreis .....	64
1.4 Positionsmessung .....	67
1.5 Kompensationen .....	81

<b>2</b>	<b>Schaltfunktionen</b>	94
2.1	Erläuterungen	94
2.2	Werkzeugwechsel	95
2.3	Werkzeugwechsel bei Drehmaschinen	95
2.4	Werkzeugwechsel bei Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren	96
2.5	Werkzeugidentifikation	100
2.6	Werkstückwechsel	101
2.7	Drehzahlwechsel	105
2.8	Vorschubgeschwindigkeit	106
2.9	Zusammenfassung	106
<b>3</b>	<b>Funktionen der numerischen Steuerung</b>	111
3.1	Definition	111
3.2	CNC-Grundfunktionen	111
3.3	CNC-Sonderfunktionen	117
3.4	Kollisionsvermeidung	121
3.5	Integrierte Sicherheitskonzepte für CNC-Maschinen	128
3.6	Anzeigen in CNCs	144
3.7	CNC-Bedienoberflächen ergänzen	145
3.8	Offene Steuerungen	148
3.9	Preisbetrachtung	151
3.10	Vorteile neuester CNC-Entwicklungen	153
3.11	Zusammenfassung	154
<b>4</b>	<b>SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen</b>	159
4.1	Definition	159
4.2	Entstehungsgeschichte der SPS	159
4.3	Aufbau und Wirkungsweise von SPS	160
4.4	Datenbus und Feldbus	163
4.5	Vorteile von SPS	168
4.6	Programmierung von SPS und Dokumentation	170
4.7	Programm	172
4.8	Programmspeicher	173
4.9	SPS, CNC und PC im integrierten Betrieb	174
4.10	SPS-Auswahlkriterien	175
4.11	Zusammenfassung	177
4.12	Tabellarischer Vergleich CNC/SPS	177
<b>5</b>	<b>Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine</b>	183
5.1	Maschinenkonfiguration	183
5.2	Maschinengestelle	185
5.3	Führungen	186
5.4	Maschinenverkleidung	188
5.5	Kühlmittelversorgung	189
5.6	Späneabfuhr	189
5.7	Zusammenfassung	189

<b>Teil 3</b>	<b>Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen</b>	193
<b>1</b>	<b>Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen</b>	195
1.1	Anforderungen an Vorschubantriebe	196
1.2	Arten von Vorschubantrieben	197
1.3	Die Arten von Linearmotoren	204
1.4	Vor-/Nachteile von Linearantrieben	206
1.5	Anbindung der Antriebe an die CNC	206
1.6	Messgeber	209
1.7	Zusammenfassung	210
<b>2</b>	<b>Hauptspindelantriebe</b>	213
2.1	Anforderungen an Hauptspindelantriebe	213
2.2	Arten von Hauptspindelantriebe	214
2.3	Bauformen von Hauptspindelantriebe	216
2.4	Ausführungen von Drehstrom-Synchronmotoren	218
2.5	Vor- und Nachteile von Synchronmotoren	219
<b>3</b>	<b>Prozessadaptierte Auslegung von Werkzeugmaschinenantrieben</b>	221
3.1	Grenzen der Betrachtung	221
3.2	Ausgangspunkt Bearbeitungsprozess	222
3.3	Energiebilanz	224
3.4	Aufbau von Werkzeugmaschinen-Antrieben	225
3.5	Stationäre und dynamische Auslegung von Vorschubantrieben	227
3.6	Linearantriebe	232
3.7	Ableitung der Antriebsauslegung aus Prozesskenngrößen	232
3.8	Universelle/spezifische Auslegung von Maschinen	235
3.9	Auslegung von Vorschubantrieben spanender Werkzeugmaschinen aus Prozessparametern	236
3.10	Systembetrachtung einer Werkzeugmaschine	238
3.11	Zusammenfassung	241
<b>4</b>	<b>Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter</b>	243
4.1	Motorenauswahl	243
4.2	Lagerung	244
4.3	Schmierung	245
4.4	Bearbeitungsprozesse	246
<b>Teil 4</b>	<b>Die Arten von numerisch gesteuerten Maschinen</b>	253
<b>1</b>	<b>CNC-Werkzeugmaschinen</b>	255
1.1	Bearbeitungszentren, Fräsmaschinen	255
1.2	Drehmaschinen	266
1.3	Schleifmaschinen	274
1.4	Verzahnmaschinen	285
1.5	Bohrmaschinen	295

1.6	Sägemaschinen	297
1.7	Laserbearbeitungsanlagen	301
1.8	Stanz- und Nibbelmaschinen	308
1.9	Rohrbiegemaschinen	314
1.10	Funkenerosionsmaschinen	316
1.11	Elektronenstrahl-Maschinen	319
1.12	Wasserstrahlschneidmaschinen	321
1.13	Multitasking-Maschinen	323
1.14	Messen und Prüfen	336
1.15	Zusammenfassung	341
<b>2</b>	<b>Generative Fertigungsverfahren</b>	<b>345</b>
2.1	Einführung	345
2.2	Definition	346
2.3	Verfahrenskette	348
2.2	Einteilung der generativen Fertigungsverfahren	350
2.5	Vorstellung der wichtigsten Schichtbauverfahren	352
2.6	Zusammenfassung	362
<b>3</b>	<b>Flexible Fertigungssysteme</b>	<b>364</b>
3.1	Definition	364
3.2	Flexible Fertigungsinseln	367
3.3	Flexible Fertigungszellen	367
3.4	Technische Kennzeichen Flexibler Fertigungssysteme	370
3.5	FFS-Einsatzkriterien	372
3.6	Fertigungsprinzipien	373
3.7	Maschinenauswahl und -anordnung	375
3.8	Werkstück-Transportsysteme	376
3.9	FFS-geeignete CNCs	386
3.10	FFS-Leitrechner	387
3.11	Wirtschaftliche Vorteile von FFS	389
3.12	Probleme und Risiken bei der Auslegung von FFS	391
3.13	Flexibilität und Komplexität	392
3.14	Simulation von FFS	396
3.15	Produktionsplanungssysteme (PPS)	398
3.16	Zusammenfassung	399
<b>4</b>	<b>Industrieroboter und Handhabung</b>	<b>402</b>
4.1	Einführung	402
4.2	Definition: Was ist ein Industrieroboter?	403
4.3	Aufbau von Industrierobotern	404
4.4	Mechanik/Kinematik	405
4.5	Greifer oder Effektor	407
4.6	Steuerung	407
4.7	Safe Robot Technologie	410
4.8	Programmierung	413

4.9	Sensoren .....	415
4.10	Anwendungsbeispiele von Industrierobotern .....	416
4.11	Einsatzkriterien für Industrieroboter .....	420
4.12	Vergleich Industrieroboter und CNC-Maschine .....	421
4.13	Zusammenfassung und Ausblick .....	422
<b>5</b>	<b>Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung .....</b>	<b>425</b>
5.1	Einführung .....	425
5.2	Was ist Energieeffizienz? .....	425
5.3	Werkhallen .....	425
5.4	Maschinenpark .....	426
5.5	Sonderfall Bearbeitungszentren .....	426
5.6	Energieeffiziente NC-Programme .....	427
5.7	Möglichkeiten der Maschinenhersteller .....	428
5.8	Möglichkeiten der Anwender .....	429
5.9	Blindstrom-Kompensation .....	431
5.10	Zusammenfassung .....	434
5.11	Ausblick .....	434
<b>Teil 5</b>	<b>Werkzeuge in der CNC-Fertigung .....</b>	<b>437</b>
<b>1</b>	<b>Aufbau der Werkzeuge .....</b>	<b>439</b>
1.1	Einführung .....	439
1.2	Anforderungen .....	439
1.3	Gliederung der Werkzeuge .....	442
1.4	Maschinenseitige Aufnahmen .....	446
1.5	Modulare Werkzeugsysteme .....	452
1.6	Einstellbare Werkzeuge .....	453
1.7	Gewindefräsen .....	457
1.8	Sonderwerkzeuge .....	459
1.9	Werkzeugwahl .....	464
<b>2</b>	<b>Werkzeugverwaltung (Tool Management) .....</b>	<b>466</b>
2.1	Motive zur Einführung .....	466
2.2	Evaluation einer Werkzeugverwaltung .....	468
2.3	Lastenheft .....	468
2.4	Beurteilung von Lösungen .....	469
2.5	Einführung einer Werkzeugverwaltung .....	469
2.6	Gliederung .....	469
2.7	Integration .....	470
2.8	Werkzeugidentifikation .....	470
2.9	Werkzeuge suchen .....	472
2.10	Werkzeugklassifikation .....	473
2.11	Werkzeugkomponenten .....	473
2.12	Komplettwerkzeuge .....	475
2.13	Werkzeuglisten .....	477

2.14	Arbeitsgänge .....	477
2.15	Werkzeuvoreinstellung .....	478
2.16	Werkzeuglogistik .....	480
2.17	Elektronische Werkzeugidentifikation .....	482
2.18	Zusammenfassung .....	489
<b>3</b>	<b>Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung .....</b>	<b>495</b>
3.1	Einführung .....	495
3.2	Ansatzpunkte für die Prozessregelung .....	495
3.3	Einsatzbereiche von Werkstück- und Werkzeugmesssystemen .....	496
3.4	Werkstückmesssysteme für Werkzeugmaschinen .....	501
<b>4</b>	<b>Lasergestützte Werkzeugüberwachung .....</b>	<b>509</b>
4.1	Einführung .....	509
4.2	Bruchüberwachung .....	510
4.3	Einzelschneidenkontrolle .....	510
4.4	Messung von HSC-Werkzeugen .....	511
4.5	Kombinierte Laser-Messsysteme .....	512
4.6	Mit Bohrungsmessköpfen nah am Prozess .....	513
4.7	Aktorische Werkzeugsysteme .....	514
4.8	Mechatronische Werkzeugsysteme .....	514
4.9	Geschlossene Prozesskette .....	517
4.10	Zusammenfassung .....	519
<b>Teil 6</b>	<b>NC-Programm und Programmierung .....</b>	<b>521</b>
<b>1</b>	<b>NC-Programm .....</b>	<b>523</b>
1.1	Definition .....	524
1.2	Struktur der NC-Programme .....	524
1.3	Programmaufbau, Syntax und Semantik .....	527
1.4	Schaltbefehle (M-Funktionen) .....	528
1.5	Weginformationen .....	529
1.6	Wegbedingungen (G-Funktionen) .....	532
1.7	Zyklen .....	535
1.8	Nullpunkte und Bezugspunkte .....	539
1.9	Transformation .....	544
1.10	Werkzeugkorrekturen .....	547
1.11	DXF-Konverter .....	554
1.12	Zusammenfassung .....	557
<b>2</b>	<b>Programmierung von CNC-Maschinen .....</b>	<b>559</b>
2.1	Definition der NC-Programmierung .....	559
2.2	Programmiermethoden .....	559
2.3	CAM-basierte CNC-Zerspanungsstrategien .....	567
2.4	Arbeitserleichternde Grafik .....	573
2.5	Auswahl des geeigneten Programmiersystems .....	575
2.6	Zusammenfassung .....	576

<b>3</b>	<b>NC-Programmiersysteme</b> .....	581
3.1	Einleitung .....	581
3.2	Bearbeitungsverfahren im Wandel .....	582
3.3	Der Einsatzbereich setzt die Prioritäten .....	583
3.4	Eingabedaten aus unterschiedlichen Quellen .....	585
3.5	Leistungsumfang eines modernen NC-Programmiersystems (CAM) .....	585
3.6	Datenmodelle auf hohem Niveau .....	586
3.7	CAM-orientierte Geometrie-Manipulation .....	586
3.8	Nur leistungsfähige Bearbeitungsstrategien zählen .....	587
3.9	Adaptives Bearbeiten .....	588
3.10	3D-Modelle bieten mehr .....	589
3.11	3D-Schnittstellen .....	589
3.12	Innovativ mit Feature-Technik .....	590
3.13	Automatisierung in der NC-Programmierung .....	591
3.14	Werkzeuge .....	594
3.15	Aufspannplanung und Definition der Reihenfolge .....	595
3.16	Die Simulation bringt es auf den Punkt .....	595
3.17	Postprozessor .....	596
3.18	Erzeugte Daten und Schnittstellen zu den Werkzeugmaschinen .....	597
3.19	Zusammenfassung .....	597
<b>4</b>	<b>Fertigungssimulation</b> .....	599
4.1	Einleitung .....	599
4.2	Qualitative Abgrenzung der Systeme .....	600
4.3	Komponenten eines Simulationsszenarios .....	603
4.4	Ablauf der NC-Simulation .....	606
4.5	Integrierte Simulationssysteme .....	610
4.6	Einsatzfelder .....	610
4.7	Zusammenfassung .....	614
<b>Teil 7</b>	<b>Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0</b> .....	617
<b>1</b>	<b>DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control</b> ....	619
1.1	Definition .....	619
1.2	Aufgaben von DNC .....	619
1.3	Einsatzkriterien für DNC-Systeme .....	620
1.4	Datenkommunikation mit CNC-Steuerungen .....	621
1.5	Technik des Programmanforderns .....	622
1.6	Heute angebotene DNC-Systeme .....	623
1.7	Netzwerktechnik für DNC .....	625
1.8	Vorteile beim Einsatz von Netzwerken .....	627
1.9	NC-Programmverwaltung .....	627
1.10	Vorteile des DNC-Betriebes .....	628
1.11	Kosten und Wirtschaftlichkeit von DNC .....	632

1.12	Stand und Tendenzen .....	632
1.13	Zusammenfassung .....	633
<b>2</b>	<b>LAN – Local Area Networks .....</b>	<b>636</b>
2.1	Einleitung .....	636
2.2	Local Area Network (LAN) .....	636
2.3	Was sind Informationen? .....	637
2.4	Kennzeichen und Merkmale von LAN .....	638
2.5	Gateway und Bridge .....	646
2.6	Auswahlkriterien eines geeigneten LANs .....	647
2.7	Schnittstellen .....	648
2.8	Zusammenfassung .....	651
<b>3</b>	<b>Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM ..</b>	<b>656</b>
3.1	Einleitung .....	656
3.2	Begriffe und Geschichte .....	657
3.3	Digitale Produktentwicklung .....	662
3.4	Digitale Fertigung .....	667
3.5	Zusammenfassung .....	672
<b>4</b>	<b>Industrie 4.0 .....</b>	<b>675</b>
4.1	Grundlagen .....	675
4.2	Kernelemente der Industrie 4.0 .....	677
4.3	Industrie 4.0 in der Fertigung .....	680
4.4	Ein MES als Baustein der Industrie 4.0 .....	680
4.5	Herausforderungen und Risiken von Industrie 4.0 .....	684
<b>5</b>	<b>Anwendung der durchgängigen Prozesskette in der Dentalindustrie .....</b>	<b>686</b>
5.1	Einleitung .....	686
5.2	Einfluss des Medizinproduktgesetzes .....	686
5.3	Dentale Fertigung im Wandel .....	687
5.4	Anforderungen an den Informationsfluss in der dentalen Fertigung .....	689
5.5	Das durchgängige Informationssystem für die Dentalindustrie .....	693
<b>Teil 8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>697</b>
	<b>Richtlinien, Normen, Empfehlungen .....</b>	<b>699</b>
	1. VDI-Richtlinien .....	699
	2. VDI/NCG-Richtlinien .....	701
	3. DIN – Deutsche Industrie Normen .....	703
	<b>NC-Fachwortverzeichnis .....</b>	<b>707</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>753</b>
	<b>Empfohlene NC-Literatur .....</b>	<b>764</b>
	<b>Inserentenverzeichnis .....</b>	<b>766</b>

# Tabellenübersicht

Inhalt	Seite
Adressen-Zuordnung nach DIN 66 025	526
Beispiel für Achsadressen mit mehreren Zeichen und zusätzlichen Erläuterungen	530
Maximale Blechdicke bei Nibbeln/Laserschneiden	312
Bohrzyklen G80 – G89	536
Neue Möglichkeiten der integrierten Sicherheitstechnik	131
G-Funktionen nach DIN 66 025, Bl. 2	534
Grundbestandteile von Handhabungsprogrammen	413
Komponenten eines Robotersystems	404
Nutzungsminderung ohne Automatisierung und Nutzungszeitgewinn durch flexible Automatisierung (theoret. Zahlenwerte)	390
RFID, Lesezeiten im dynamischen Betrieb	489
Schaltfunktionen nach DIN 66025, Bl. 2	529
Technische Sensoren (nach Hesse)	417
Übertragungsgeschwindigkeiten im Vergleich	645
Unterschiedliche Anforderungen verschiedener Werkzeugmaschinen an den Umfang ihrer Automatisierung	62
Vergleich CNC und SPS	178
Vergleich der unterschiedlichen Simulationsansätze	601
Wegmaßtabelle für ein Bohrbild bei Absolut- und Relativmaß-Programmierung	531
Zahlenwerte für $\cos \varphi$ und $\sin \varphi$	433

## Die Revolution in der CNC-Fertigung



Die zertifizierte, integrierte CAM-Lösung für SOLIDWORKS® und Autodesk Inventor®

- iMachining 2D
- iMachining 3D
- 2.5D Fräsen
- HSS High-Speed Flächenbearbeitung
- 3D HSM High-Speed Fräsen
- 3+2 Mehrseitenbearbeitung
- 5-Achsen Simultanfräsen
- Drehen und Drehfräsen mit Mehrfachspindeln und -revolvern
- Solid Probe Antasten und Messen



Die CAD/CAM-Experten in Ihrer Nähe:  
Schramberg | Rosenheim | Worms | Hörstel  
Suhl-Friedberg | Amberg



# SolidCAM

iMachining – The Revolution in CAM!



# Einführung in die CNC-Technik

Kapitel 1	Historische Entwicklung der NC-Fertigung . . . . .	19
Kapitel 2	Meilensteine der NC-Entwicklung . . . . .	33
Kapitel 3	Was ist NC und CNC? . . . . .	37



# 1

## Historische Entwicklung der NC-Fertigung

Ein Rückblick auf die Einführung und Entwicklung der NC-Technik soll zeigen, dass nicht nur technische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle spielten. Richtige und falsche Management-Entscheidungen, der Beginn der Globalisierung und insbesondere die japanische Herausforderung waren wesentlich an der Gesamtveränderung des Marktes und der Fertigungslandschaften beteiligt.

### 1.1 Erste Nachkriegsjahre

**1945 – 48:** Alle Fertigungsstätten in Deutschland waren zerstört oder unbrauchbar, teilweise demontiert und als Reparationsleistungen ins Ausland transportiert. Die Produktion lag am Boden.

Die Industriestädte waren zerstört und größtenteils unbewohnbar, Millionen Tonnen Trümmerschutt blockierten die Straßen und Verkehrswege. Die Versorgung mit Strom, Gas und Wasser war notdürftig, eine industrielle Fertigung bis auf wenige, unbedeutende Ausnahmen unmöglich.

**1948 (Währungsreform) bis 1955:** Wiederaufbau der Werkzeugmaschinen- und Fertigungsindustrie, vorwiegend auf Basis noch vorhandener Konzepte. Die Entwicklung neuer Maschinenkonzepte war während des Krieges und kurz danach nicht möglich.

Die meisten Maschinen waren für die manuelle Bedienung ausgelegt, aber es fehlten die erfahrenen Facharbeiter. Die wenigen noch verfügbaren Maschinen fertigten dringend benötigte Massenprodukte.

Der Bedarf war fast unbegrenzt. Die vorhandenen Maschinen arbeiteten in zwei und drei Schichten.

Neue Arbeitsplätze entstanden, aber es fehlten die Arbeitskräfte. Über zwei Millionen deutsche Männer waren gefallen, über sechs Millionen verwundet, krank oder noch in Gefangenschaft.

Die Lösung waren die Gastarbeiter. Sie kamen aus allen westeuropäischen Ländern. Arbeit gab es genügend.

Das Ziel hieß: Wiederaufbau der zerstörten Städte, Fabriken, Brücken, Häuser, Straßen, der Infrastruktur und Bereitstellung der dringend benötigten Transportkapazitäten.

Dazu benötigte man jede Art von Maschinen, insbesondere Baumaschinen, Kräne, Bagger und Lkw.

Im Vordergrund der industriellen Produktion stand die **Massenfertigung** auf manuellen Produktionsmaschinen, Transferstraßen und mechanischen Automaten. Die Lebensdauer der hergestellten Produkte lag bei mindestens 10 Jahren, schnelle Produktionswechsel waren nicht gefragt.

Das Ergebnis dieses riesigen Bedarfs, einer klugen Politik und tatkräftiger Bürger war das deutsche „**Wirtschaftswunder**“.

## 1.2 Wiederaufbau der Werkzeugmaschinen-industrie

**Deutschland** verfügte aufgrund der geschilderten Ausgangslage innerhalb weniger Jahre (ca. 1960 – 70) über den jüngsten Werkzeugmaschinenbestand aller Industrienationen: das Durchschnittsalter betrug 5 – 6 Jahre. Aber es waren zu wenige, die Statistik „hinkte“. Einige neue Maschinen waren zudem technisch noch auf dem Vorkriegsstand!

**Amerika** lag zu dieser Zeit (ca. 1960 – 75) bei ca. 15 bis 17 Jahre alten Maschinen. Eine Verjüngung entstand durch den Einsatz von NC-Maschinen (Drehen, Fräsen, Bearbeitungszentren) in der Fahrzeug- und Luftfahrt-Industrie. Die in den USA entwickelte NC-Technik setzte sich in der dortigen Industrie viel schneller durch als in Europa. Viele Projekte wurden staatlich unterstützt, wie z. B. zur Herstellung militärischer Produkte.

Die amerikanischen Hersteller von NC-Maschinen verkauften sehr gut und weltweit, vernachlässigten jedoch die konsequente Weiterentwicklung der Maschinen. Dies führte zu ständig steigenden Importen preiswerter japanischer Maschinen.

Die rasch aufeinanderfolgenden Verbesserungen der Numerischen Steuerungen hatten einen gravierenden Einfluss auf alle Maschinen-Typen und verlangten nach neuen, angepassten Konstruktionen. Dies wurde nicht rechtzeitig realisiert und führte sehr schnell zum Konkurs mehrerer amerikanischer Hersteller.

**Japan** förderte mit **Beginn der 70er Jahre** mit großen Investitionen die Werkzeugmaschinen-Produktion. Es waren einfache, preiswerte, aber nach neuesten Gesichts-

punkten konstruierte NC-Maschinen. Bald konnte man ab Lager und zu bis dahin unglaublich niedrigen Preisen liefern. Die Maschinen waren nach anderen Vorgaben konstruiert: Serienmäßige Standard-Maschinen ohne größere Modifikationen, zuverlässig, mit Serien-NC ohne Möglichkeit der Steuerungswahl, preiswert.

Während die deutschen Hersteller traditionell den europäischen Raum belieferten, hatten sich die Japaner von Anfang an strategisch auf den Weltmarkt ausgerichtet, mit dem Schwerpunkt USA, später auch Europa. Kundenspezifische Modifikationen wurden konsequent abgelehnt.

**Mitte der 80er Jahre** hatte Japan hinsichtlich der Weltmarktanteile zu Deutschland aufgeschlossen!

Ein Zeichen der nachlassenden Wettbewerbsfähigkeit deutscher Hersteller war die stetig steigende Importquote: Von 1973 bis 81 stieg sie um 11,9% auf 33,3%, und bis 1991 auf 41,2%.

## 1.3 Die Werkzeugmaschinen-industrie in Ostdeutschland

Die sächsischen Industriegebiete im Dreieck Leipzig – Dresden – Chemnitz gelten als die Wiege des deutschen Werkzeugmaschinenbaus und vor dem 2. Weltkrieg waren noch mehr als 20 000 Menschen in dieser Branche beschäftigt. Auch hier waren die Industrieanlagen mehrheitlich zerstört, aber der Neuanfang gestaltete sich deutlich schwieriger als in Westdeutschland.

In der Sowjetischen Besatzungszone wurden die meisten noch existierenden Industriebetriebe als Reparationsleistung der Sowjetunion übereignet. Namhafte Maschinenbauunternehmen wie Pfauter, Pittler, Hille, Reinecker verlegten ihren Hauptsitz in den Westteil Deutschlands. Millionen von Menschen, darunter auch viele Fachkräfte aus

dem Werkzeugmaschinenbau verließen aus Angst vor den Repressalien des kommunistischen Regimes das Land über die damals noch offene Grenze.

Nach 1953 verzichtete die Sowjetunion auf weitere Reparationsleistungen und auch die Maschinenbaubetriebe wurden schrittweise wieder aufgebaut. Allerdings nicht als das Eigentum der ehemaligen Besitzer und Unternehmer, sondern in Form von Staatsbetrieben auch als VEB (Volkseigener Betrieb) oder VVB (Vereinigung Volkseigener Betriebe) bezeichnet. Es wurde die VVB WMW, also Vereinigung Volkseigener Betriebe Werkzeugmaschinen und Werkzeuge gegründet, unter deren Dach bis heute bekannte Maschinenbauer wie Heckert, Mikromat, Niles, Auerbach, Union, Modul usw. zusammengefasst wurden.

Da es auf dem Gebiet der DDR so gut wie keine Schwerindustrie gab, lag der Schwerpunkt bis etwa Anfang der sechziger Jahre auf dem Bau von Werkzeugmaschinen für sehr große und schwere Werkstücke zur

Herstellung von Turbinen sowie Stahl- und Walzwerken. Nachdem dieser Bedarf gedeckt war, wurden im Zuge der Planwirtschaft auch Maschinen für die Klein-, Mittel- und Großserienfertigung in das Programm genommen. Drehautomaten, Konsolenfräsmaschinen, Universalmaschinen, Rund- und Flachsleifmaschinen, Bohrwerke, Verzahnmaschinen und diverse Sondermaschinen gehörten zum Produktportfolio. Werkzeugmaschinen aus der DDR-Produktion genossen weltweit einen guten Ruf und etwa 70% der Werkzeugmaschinen wurden exportiert, allerdings mehr als die Hälfte davon in die Länder der ehemaligen Sowjetunion, was sich nach den Fall der deutschen Mauer sehr negativ auf die Umsatzzahlen der ostdeutschen Maschinenbauer auswirkte. Mitte der sechziger Jahre wurde auch das Thema Automatisierung von Werkzeugmaschinen in den Fokus der DDR-Planwirtschaft gerückt und bereits 1964 zur Leipziger Frühjahrsmesse eine erste eigene NC-Steuerung basierend auf



*Bild 1.1: Die vom DDR-Steuerungshersteller VEB NUMERIK produzierte CNC-600 im Einsatz an einer Heckert-Maschine CW500, die auch als Modul für den FMS-Einsatz genutzt wurde.*

Relaistechnik an diversen Maschinen gezeigt. Die Fertigung von numerischen Steuerungen wurde im VEB Starkstromanlagenbau Karl-Marx-Stadt (Chemnitz), der aus den enteigneten Siemens- und AEG-Niederlassungen in Chemnitz entstanden war, begonnen. Der VEB Starkstromanlagenbau zentralisierte die Steuerungsproduktion 1972 in einem Neubau und wurde 1978 in VEB Numerik „Karl-Marx“ umbenannt.

Seit 1965 wurden diverse Steuerungsgenerationen entwickelt und gefertigt, deren Funktionsumfang anfangs vergleichbar zu den NC-Steuerungen der westlichen Welt war. Allerdings litt die Entwicklung der Steuerungstechnik unter dem Umstand, dass aufgrund der Embargopolitik der westlichen Staaten nur sehr begrenzt moderne Mikroprozessoren und Speicherchips eingekauft werden konnten. Der Versuch eigene Mikroprozessoren herzustellen, gelang nur zum Teil bzw. der Abstand zur westlichen Konkurrenz vergrößerte sich zunehmend. Die Wiedervereinigung brachte viele der ostdeutschen Werkzeugmaschinenfabriken an den Rand der Existenz. Neben dem fehlenden Absatzmarkt der ehemaligen Sowjetunion, waren unklare Besitzverhältnisse sowie teilweise veraltete Produktionsmittel und extrem hohe Fertigungstiefen die Ursachen für den Niedergang. Die meisten Maschinenfabriken Ostdeutschlands haben aber überlebt und gehören nach entsprechenden Restrukturierungsmaßnahmen und Eigentümerwechsel heute wieder zur Spitze der Werkzeugmaschinenindustrie weltweit.

## 1.4 Weltweite Veränderungen

In vielen **Industrienationen** wurde noch 10 bis 15 Jahre nach dem 2. Weltkrieg vorwiegend auf veralteten Maschinen produziert. Zuerst waren diese völlig ausreichend, aber mit zunehmendem Wettbewerb,

dem Kostendruck und verändertem Käuferverhalten war eine Modernisierung des Maschinenparks in vielen Fertigungsbetrieben dringend erforderlich.

Zudem begann in den **70er Jahren** weltweit die Entwicklung zum **Käufermarkt**, d.h. schnellere Produktänderungen und kürzere Lebensdauer setzten sich bei fast allen Produkten durch.

**Folge:** Verlagerung von der Massenproduktion hin zu **kleineren Losgrößen**. Anstelle der starren Massenfertigung auf Automaten und Transferlinien kamen zunehmend flexiblere NC-Maschinen zum Einsatz. Aber auch die höhere Komplexität der Produkte infolge verstärkter Nutzung von CAD-Systemen erforderte den Einsatz moderner Werkzeugmaschinen mit durchgängiger Datennutzung zur schnelleren NC-Programmierung.

Neue, potenzielle NC-Maschinen-Anwender kamen hinzu, wie z. B.:

Rüstungsindustrie für Panzer, gepanzerte Fahrzeuge, Transporter etc.

Flugzeugindustrie mit den Lizenzfertigungen von Starfighter, Phantom, Helikopter und Waffen, später mit den Programmen Airbus, MRCA-Tornado, Alpha-Jet, Dornier DO 27.

Aber auch die Flugzeugindustrie in Frankreich (Dassault, Aerospatiale, Snecma), England (Hawker, British Aerospace) und in den USA (Boeing, McDonnell, Fairchild, Lockheed, Sikorsky u. a.) suchte neue Maschinenkonzepte. Gefragt waren schnell umrüstbare Maschinen mit hoher Präzision, neue Maschinengrößen (Flächenfräsmaschinen, Großbohrwerke) und Bearbeitungszentren.

Ein großes unerschlossenes Potenzial waren alle kleinen und mittleren Zulieferbetriebe.



# Messtaster TC50



Multidirektional



Infrarotübertragung



Verschleißfreies Messwerk



Freiformflächen



Einzel- und Serienfertigung



## BLUM Measurement Protocol

Customer:	Blum-Novotest GmbH
Project:	FC_V4.0.8
Part No.:	Part 1
CAD File:	Housing.lgs
Controller:	Fuchs
Date:	2010-05-19
Machine:	DMG - DMU50
Sensor:	BLUM - TC50
Stylus:	BLUM - P03.8000-01
Unit:	mm
Bestfit:	No

**Schnell. Präzise. Wirtschaftlich.**  
**High Performance. Blum.**

**BLUM**  
focus on productivity

[www.blum-novotest.com](http://www.blum-novotest.com)

Fertigungsmesstechnik Made in Germany



## Alles, was der Konstrukteur benötigt!

- Enthält die gesamte Bandbreite zum Thema Konstruktion: Materialien, Maschinenelemente, das Entwickeln und Konstruieren sowie Verfahren und Methoden
- Lässt keine Fragen offen: Das Buch behandelt neben klassischen Themen auch top-aktuelle Aspekte wie etwa Modularisierung, Leichtbau, Umweltgerechtes Konstruieren und gewerblicher Rechtsschutz
- Konsequenter praxisorientiert: Mit zahlreichen Beispielen, Hinweisen und Empfehlungen zur direkten Umsetzung in Ihren betrieblichen Alltag
- Optimale Visualisierung: Zahlreiche farbige Abbildungen, übersichtliche Tabellen, beispielhafte Konstruktionszeichnungen und anschauliche Fotos von Produktbeispielen
- Kompakte Aufbereitung des Fachwissens: Ideal auch als kompetentes Nachschlagewerk für einzelne Fragestellungen

**Profitieren Sie von diesem einzigartigen Praktikerbuch!**

Frank Rieg, Rolf Steinhilper

### **Handbuch Konstruktion**

1.218 Seiten, 1.314 Abb., 153 Tab., komplett in Farbe

ISBN 978-3-446-43000-6 | € 249,-

## 1.5 Neue, typische NC-Maschinen

Die westdeutsche Luftfahrtindustrie und die Automobilindustrie brachten ab 1968 wesentliche Impulse für die einheimische Werkzeugmaschinen-Industrie:

- Großflächenfräsmaschinen und Bearbeitungszentren mit hohem Automatisierungsgrad,
- Drei- und Fünfachs-Fräsmaschinen mit Simultaninterpolation in allen Achsen,
- Gantry-Type-Fräsmaschinen für große Fräsbreiten mit bis zu acht parallelen Hauptspindeln,
- Elektronenstrahl-Schweißmaschinen, Flexible Fertigungszellen und ein sehr hoher Automatisierungsgrad beim Werkstück- und Werkzeughandling sowie bei der Bearbeitung,
- High Speed Cutting-Maschinen für den Formen- und Werkzeugbau,
- sowie neue Programmier- und Bearbeitungsstrategien (APT, CAD, CAD/CAM) brachten große Aufträge für viele europäische Hersteller.

Innerhalb weniger Jahre (1970 – 80) wurde Deutschland zum größten Werkzeugmaschinen-Exporteur.

Zunächst wurden den alten, „bewährten“ Maschinenkonzepten viele Ausbaustufen einfach hinzugefügt, ohne das Grundkonzept zu modernisieren.

**Folge:** Zu viele Bauteile,  
zu schwere Maschinen,  
zu lange Bauzeit,  
zu aufwändige Konzeptionen,  
zu teuer.

**Sowie:** zu lange Inbetriebnahmezeiten,  
zu häufige Ausfälle,  
zu lange Ausfallzeiten.

**Ergebnis:** Diese Maschinen waren für die „normale“ Industrie zu unwirtschaftlich! Erst die überarbeiteten, preiswerteren Konzepte brachten den dringend notwendigen Durchbruch im allgemeinen Maschinenbau.

## 1.6 Der japanische Einfluss

Im Gegensatz zu den europäischen und insbesondere deutschen Herstellern wurden diese Maschinen in Großserienfertigung für einen anonymen Massenmarkt gefertigt. Damit konnten Werkzeugmaschinen preiswerter und schneller lieferbar angeboten werden. Sonderapplikationen waren allerdings nur begrenzt möglich. Die japanischen Maschinen und die dazugehörigen numerischen Steuerungen (Fanuc, Mitsubishi) erfreuten sich aufgrund der hohen Qualität steigender Akzeptanz. Der verbreitete Einsatz dieser Maschinen besonders im Mittelstand und der Zulieferindustrie, zwang auch europäische Maschinenhersteller japanische Steuerungsfabrikate an ihren Maschinen einzusetzen. Damit eröffneten sich neue Chancen für deutsche Maschinenbauer, ihre Maschinen auch international besser zu verkaufen. Die deutschen Steuerungshersteller (Siemens, Heidenhain, Bosch) gerieten dadurch unter Druck und mussten in der Folge auch ihre Produkte den internationalen Anforderungen anpassen.

Die Maschinen wurden in Großserien gebaut, hatten ungewohnt kurze Lieferzeiten und verfügten über sehr zuverlässige Numerische Steuerungen (Fanuc, Mitsubishi, Okuma, Mazatrol etc.). Zudem boten die japanischen Firmen einen großzügigen Service. Bald bauten auch immer mehr deutsche Maschinenhersteller japanische Steuerungen an ihre Maschinen an und nutzten den international vorhandenen Service, z. B. von Fanuc, um Maschinen weltweit zu verkaufen.

## 1.7 Die deutsche Krise

Nach der Boomphase von 1985 bis 90 kämpfte der deutsche Werkzeugmaschinenbau **ab 1992** gegen die schwerste Krise der Nachkriegszeit. Bis 1994 sackte die Produktion real um fast 50% ab, die Beschäftigten um 30%. Nun traten die strukturellen und finanziellen Schwierigkeiten der Maschinenhersteller besonders hervor.

Verursacht wurde dieser Einbruch durch das Zusammentreffen mehrerer Probleme.

Die deutsche Werkzeugmaschinen-Industrie kam wegen vergleichbarer Ursachen in die Krise wie in den 80er Jahren die amerikanische. Anstatt die Kräfte zu bündeln und sich gegen den japanischen Wettbewerb zu formieren, versuchte man mit Preisnachlässen den Wettbewerb fernzuhalten, was auf Dauer nicht gutgehen konnte. Zudem arbeiteten die deutschen Hersteller gegeneinander, anstatt sich miteinander und mit neuen Ideen gegen die schnell stärker werdende japanische Konkurrenz zu wehren. Gute Ansätze wären z.B. gewesen: einheitliche Werkzeugaufnahmen und -wechselsysteme, einheitliche Palettenwechsler und aufeinander abgestimmte Tischhöhen. Dies hätte z.B. die Einführung von Flexiblen Fertigungssystemen durch Kombination von Maschinen unterschiedlicher Hersteller wesentlich vereinfacht, verbilligt und damit gefördert. Es fehlte aber auch das Geld, um neue, preiswertere Maschinen zu entwickeln.

Das Wettbewerbsdenken verhinderte gemeinsame, aufeinander abgestimmte, sich ergänzende, strategische Lösungen, wie sie von mehreren Großanwendern gewünscht wurden.

**Folge:** Die unter 5% geschrumpften Deckungsbeiträge ließen keine größeren zukunftsorientierten Entwicklungen zu. Viele deutsche Maschinenhersteller hatten

entweder kein strategisches Konzept oder kein Geld, es zu realisieren. Stattdessen versuchten fast alle, „nach oben“ in den Sonder- und Spezialmaschinenbereich auszuweichen. Doch diese Nischenpolitik konnte nicht funktionieren, die (Sonder-) Maschinen wurden zu teuer, weil die Grundauslastung mit Standard-Maschinen fehlte. Zudem verlangten die potenziellen Käufer umfangreiche Detailplanungen von mehreren Herstellern, ohne die dafür entstandenen Kosten zu tragen.

Viele renommierte Hersteller steuerten in den Konkurs oder wurden in den Folgejahren von Wettbewerbern übernommen.

## 1.8 Ursachen und Auswirkungen

Deutsche Manager fragten ganz offen: Was machen die Japaner besser als die einst so erfolgsgewohnten deutschen Maschinenhersteller?

Waren es die niedrigeren Preise durch geringere Produktionskosten? Oder die besseren technischen Konzepte? Oder die Lieferzeiten?

Nur zum Teil! Viel gravierender waren die besseren Geschäftsideen, die höheren Stückzahlen und die **Weltmarkt-Strategie!** Die deutschen Hersteller suchten **Käufer** für Sondermaschinen, die japanischen Hersteller suchten **Märkte** für Standardmaschinen!

Japanische Maschinen waren gut und kamen mit ca. 30% weniger mechanischen Teilen aus.

Den Käufern imponierten die Vorteile, die immer stärker zum Vorschein kamen.

Selbst ur-deutsche Käufer griffen immer mehr zu den asiatischen Produkten. Für den Preis einer deutschen „Super-Spezial-Sondermaschine“ mit langer Lieferzeit konnte man zwei bis drei japanische Standardmaschinen ab Lager kaufen. Das war überzeugend!

Erst gegen **Ende der 80er-/Anfang der 90er Jahre** hatten die überlebenden deutschen Maschinen-Hersteller begriffen, dass sie „andere“ Maschinen bauen mussten, um wieder gefragt und erfolgreich zu werden. Die Nischen für die deutschen Spezialmaschinen-Hersteller waren zu klein geworden.

Die Lösung lag für viele Hersteller in der Fusion – oft durch die Banken erzwungen. Heute sind wieder mehrere Hersteller wettbewerbsfähig geworden und werben damit, dass sie die Anzahl der Bauteile ihrer modernisierten Maschinen um 30 – 35% reduziert haben. Diese Firmen hatten endlich begriffen, dass man sowohl mit veralteten Konzepten, als auch mit „technischem Overkill“ und mit der Nischenpolitik auf dem falschen Weg war. Aber auch die Käufer akzeptierten inzwischen, dass deutsche Maschinen mit vergleichbaren Spezifikationen wie japanische Maschinen angeboten wurden, ohne die vielen kundenspezifischen Sonderspezialfunktionen.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle entfiel auf die neuen, leistungsfähigen und dialogorientierten **NC-Programmiersysteme**, die sowohl als Programmierplatz, als auch direkt an den Maschinen zur Verfügung standen.

Zur Genesung des Werkzeugmaschinenbaus haben auch die **neuen Technologie-Verfahren** und völlig neue Maschinen beigetragen, wie High Speed Cutting, Hochleistungs-Laser zum Schweißen und Trennen, Generative Fertigungsverfahren wie z.B. Rapid Prototyping Systeme sowie Maschinen zur Hartbearbeitung von Metallen und Keramiken. Allerdings werden Universal-Maschinen zur Komplettbearbeitung in einer Aufspannung zunehmend interessanter.

Der Einsatz neuer, hochdynamischer An-

triebe machte die Maschinen zudem immer schneller.

## 1.9 Flexible Fertigungssysteme

Amerikanische Großfirmen wie Caterpillar, Cummings Diesel, General Electric und mehrere Maschinenhersteller (Cincinnati Milacron, Kearney & Trecker, Sundstrand u. a.) konzipierten und installierten **seit den 70er Jahren** die ersten Flexiblen Fertigungssysteme. Diese bestehen aus mehreren **sich ersetzenden** (identischen) oder **sich ergänzenden** (unterschiedlichen) NC-Maschinen sowie einem gemeinsamen Werkstücktransport- und Steuerungssystem. Auf derartigen Anlagen lassen sich auftragsbezogen Einzelstücke, aber auch kleinere und mittlere Losgrößen wirtschaftlich fertigen. In besonderen Fällen werden FFS auch für die Großserienfertigung eingesetzt.

In Japan wurden zu dieser Zeit erste FFS-Installationen erfolgreich getestet und international propagiert. Die Besucher kamen aus der ganzen Welt und bestaunten die mannlose Fertigung in dunklen Hallen.

In Deutschland wurden FFS zuerst sehr zurückhaltend nachgefragt. Ausschlaggebend für das zögernde Kaufverhalten ist das umfangreiche Engineering, d.h. die kundenspezifische Planung und Auslegung solcher Systeme vor Ort beim Kunden, sowie die normalerweise von den Käufern geforderten und sehr aufwändigen Zeit-, Stückkosten- und Investitionsberechnungen. Dies alles führte zu hohen Kosten und Preisen. Erst als die Fantasien von „menschenleeren Fabriken“ mehr zu „personalreduzierten Fertigungen“ auf bezahlbaren Fertigungskonzepten tendierten, zeigten auch deutsche Anwender zunehmendes Interesse an solchen Systemen.

1974 installierte die Fa. Getriebe Bauer,

Esslingen, eines der ersten FFS in Deutschland. Es bestand aus neun identischen Bearbeitungszentren (Fabrikat BURR) mit Bosch/Bendix-Steuerungen, einem Paletten-Umlaufsystem für den automatischen Werkstücktransport und Paletten-Übergabestationen an jeder Maschine. Ausschlaggebend war, dass zu diesem Zeitpunkt die ersten NCs mit Programmspeicher anstelle der Lochstreifenleser verfügbar waren. Fa. Bauer hat diese Anlage in den folgenden Jahren auf 12 Maschinen erweitert und 1988 auf leistungsfähigere CNCs umgerüstet. In mehr als 20 Jahren zwei- und dreischichtigem Betrieb hat es die technischen und wirtschaftlichen Erwartungen des Anwenders mehr als erfüllt! Man konnte endlich auftragsbezogen fertigen, Lager abbauen und trotzdem kurzfristig liefern.

Nach den ersten positiven Meldungen folgten bald weitere FFS in vielen Fertigungsbetrieben.

In **Japan, Amerika und Europa** werden ständig nach dem neuesten Stand der Technik konzipierte FFS installiert. Die positiven Erfahrungen mit diesen Systemen und deren Wirtschaftlichkeit hat zu besseren, FFS-geeigneten Maschinen geführt, die sich problemlos kombinieren und betreiben lassen. Auch die Integration von Robotern zur Werkzeug- und Werkstück-Handhabung hat zu besseren Systemkonzepten geführt. Zur frühzeitigen Erkennung von Planungsfehlern wurden leistungsfähige Simulations- und Produktionsplanungssysteme (PPS) entwickelt.

Anfang der neunziger Jahre machte sich bezüglich des Einsatzes von FFS eine gewisse Ernüchterung breit. Zwar sind die Systeme hochproduktiv, aber eben nur bis zu einem gewissen Grad flexibel und in der Anschaffung teuer. Weiterhin verlangt der

Betrieb eines FFS hochqualifiziertes und damit teures Personal sowohl für den Betrieb, als auch für die Wartung der Anlage. Heute sind preiswerte, meistens in Asien produzierte Standardmaschinen eine Alternative, um flexibel auf die schnell wechselnden Anforderungen der Produktion reagieren zu können.

Auch aufgrund der immer leistungsstärkeren und zuverlässigeren Steuerungs- und Computertechnik werden weiterhin FFS zunehmend dort eingesetzt, wo es aus produktionstechnischer Sicht Sinn macht. In Relation zum schnell wachsenden Markt der Standardmaschinen hat der Einsatz von FFS an Bedeutung verloren.

Auch in der DDR wurde der Einsatz von FFS als Möglichkeit für die Produktivitätssteigerung gesehen. So baute z. B. der Werkzeugmaschinenbauer VEB „Fritz Heckert“ heute Starrag-Heckert, als erster Hersteller im Ostblock ein FFS, für die eigene Produktion von kleinen Konsolfräsmaschinen für den Werkstattbereich, das FMS-System „Prisma“. Insgesamt arbeiteten 9 Zerspansungsmaschinen (Fräsen, Bohren, Schleifen) im Verbund mit diversen Transportsystemen, Spannstationen, Wasch- und Kühlstationen. Die gesamte Anlage wurde über einen Zentralrechner gesteuert und ging 1971 in Betrieb. Monatlich wurden um die 500 Bauteile für die eigenen Konsolfräsmaschinen hergestellt und das System lief etwa achtzehn Jahre. Bis zum Ende der DDR wurden noch weitere FFS im Landmaschinen- und Nutzfahrzeugbau sowie im Maschinenbau des Ostblocks installiert.

## 1.10 Weltwirtschaftskrise 2009

Der Auftragseinbruch im deutschen Werkzeugmaschinenbau begann sich bereits Ende 2008 abzuzeichnen und endete erst Mitte 2010. Die Ursachen dafür begannen