

Hans B. Kief
Helmut A. Roschiwal
Karsten Schwarz

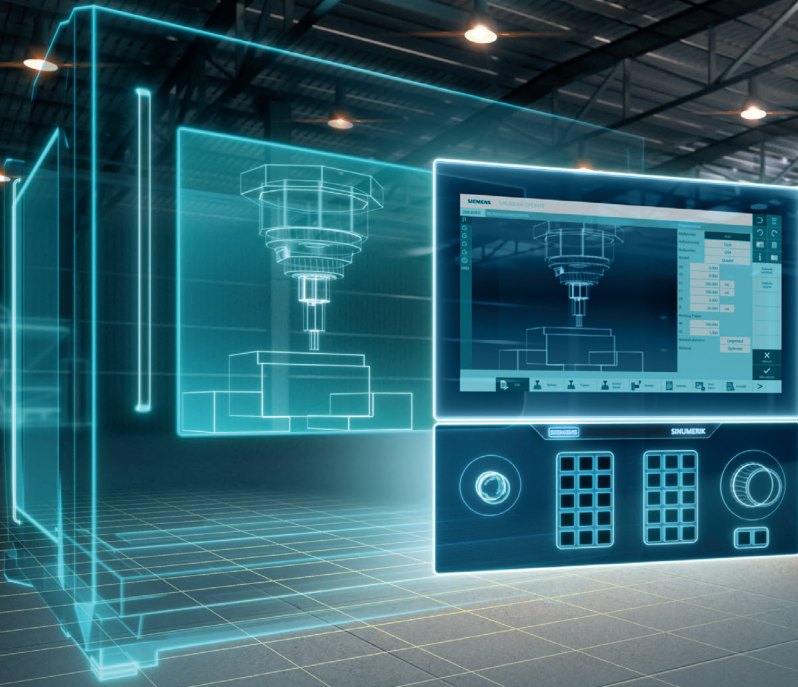


CNC-Handbuch



31., überarbeitete Auflage

HANSER



SINUMERIK ONE

Bring ideas to life

Mit SINUMERIK ONE beginnt eine neue Zeitrechnung. Das CNC-System revolutioniert alles Dagewesene – und entfaltet mit ungeheurer Kraft die digitale Transformation in der Werkzeugmaschinenindustrie. Es schafft ungeahnte neue Möglichkeiten, Ideen und Geschäftsmodelle zu verwirklichen. Das nahtlose Zusammenspiel von virtueller und realer Welt ermöglicht mehr Freiheit und lässt in kürzester Zeit Innovationen entstehen. SINUMERIK ONE – der Funke, der Ideen entfacht und schnell Wirklichkeit werden lässt.

Kief / Roschiwal / Schwarz

CNC-Handbuch



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-p56r6-aq8cy

plus.hanser-fachbuch.de



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Hans B. Kief
Helmut A. Roschiwal
Karsten Schwarz

CNC-Handbuch

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

31., überarbeitete Auflage

HANSER

Die Herausgeber:

Hans B. Kief, Michelstadt

Helmut A. Roschiwal, Augsburg

Karsten Schwarz, Schwabach



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Herausgeber, Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Herausgeber, Autoren und Verlag die Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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 die 31., überarbeitete Auflage des CNC-Handbuchs.

Um die Dateien herunterladen zu können, loggen Sie sich ein oder melden Sie sich an unter:

<https://dozentenportal.hanser.de/>

© 2020 Carl Hanser Verlag München, www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Björn Gallinge

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelillustration: Mit freundlicher Unterstützung der SIEMENS AG

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-45877-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-46524-4

Vorwort zur 31. Auflage

Die CNC-unterstützte Fertigung ist heute das Rückgrat der weltweiten Produktion. Mit Hilfe der internetbasierten Technologien wird die bereits hoch automatisierte Fertigung noch effektiver. Wer heute im Umfeld der zerspanenden oder additiven Fertigungstechnik tätig ist oder sein will, muss deshalb über ein solides technisches Grundwissen der CNC-Technik verfügen. Man muss verstehen, wie die einzelnen Komponenten einer CNC-Maschine funktionieren und wie sich diese auf das Gesamtsystem und die Qualität der gefertigten Werkstücke sowie auf die spätere Rentabilität der Produktion auswirken.

Die Digitalisierung verändert alle Lebensbereiche – auch die Fertigung. Der Begriff Industrie 4.0 steht dabei als Synonym für den Einsatz der Internettechnologien im Umfeld der industriellen Fertigung weltweit. Bereits die Planung CNC-gestützter Fertigungssysteme beginnt mit einer anspruchsvollen Kommunikation zwischen Maschinenhersteller und Anwender. Dabei steht oft nicht die Vollautomatisierung im Vordergrund, sondern die Suche nach der technisch passenden und rentabel produzierenden, wirtschaftlichen Lösung. Dafür sind gute Kenntnisse der Terminologie unverzichtbar. Zudem besteht der Anspruch, die mit dieser Technik gebotenen umfangreichen Möglichkeiten auch tatsächlich nut-

zen zu können. Der Prozess der Planung, Konstruktion und Inbetriebnahme wird durch digitale Tools unterstützt. Als Ergebnis der Projektierung entwickeln Maschinenhersteller digitale Zwillinge ihrer Maschinenreihen und können so flexibler auf Kundenanforderungen reagieren. Mit Hilfe des digitalen Zwillings kann der Anwender seine Fertigung fast vollständig vorbereiten, ohne die reale Maschine dafür mit unproduktiven Aufgaben belegen zu müssen.

Auch wenn durch die zunehmende Digitalisierung und den Einsatz von künstlicher Intelligenz Standardaufgaben in der Herstellung und Nutzung von CNC-Maschinen immer mehr verschwinden, so sind noch immer gut qualifizierte Menschen gefragt, die passende Lösungen entwickeln, planen, perfektionieren und dabei die spätere Rentabilität nicht aus dem Blick verlieren. Auf der Seite des Anwenders zählen dazu sowohl die Bediener und Programmierer als auch die für Betrieb, Wartung und Instandhaltung zuständigen Fachkräfte. Ihr solides Fachwissen und das Verständnis für das Zusammenwirken sind Voraussetzung, um den Betrieb solcher Fertigungssysteme stets funktionsfähig und rentabel zu gestalten.

Diesem anspruchsvollen Personenkreis haben wir unser Buch gewidmet.

Hans B. Kief

Helmut A. Roschiwal

Karsten Schwarz

Die drei Herausgeber sind Ingenieure und Fachautoren mit vielen Jahren bereichsübergreifender Erfahrungen auf den Gebieten Entwicklung von CNC-Maschinen und -Steuerungen, Planung von FMS, dem Einsatz der CNC/CAD/CAM-Technik, Vernetzung und Automatisierung, sowie Schulung und Fortbildung für Manager, Industriepersonal und Studenten.

Inhaltsübersicht

* aktualisiert, ** neuer Beitrag

Teil 1	Einführung in die CNC-Technik	19
	1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung	21
*	2 Meilensteine der NC-Entwicklung	37
	3 Was ist NC und CNC?	41
Teil 2	Funktionen der CNC	65
*	1 Weginformationen, Wegmessung	67
	2 Schaltfunktionen	103
*	3 Betriebsfunktionen	117
	4 SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen	185
**	5 Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine	207
Teil 3	Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	215
	1 Antriebsregelung für CNC-Werkzeugmaschinen	217
	2 Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	235
	3 Hauptspindelantriebe	253
*	4 Dimensionierung von Antrieben für Werkzeugmaschinen	261
*	5 Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter	271
Teil 4	Numerisch gesteuerte Maschinen und Fertigungssysteme	283
*	1 CNC-Werkzeugmaschinen	285
*	2 Additive Fertigungsverfahren	367
	3 Flexible Fertigungssysteme	395
*	4 Industrieroboter und Handhabung	439
	5 Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung	461

Teil 5	Werkzeuge in der CNC-Fertigung	471
	1 Aufbau der Werkzeuge	473
	2 Werkzeugverwaltung (Tool Management)	501
	3 Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung	529
**	4 Maschinenintegrierte Werkstückmessung in der Serienfertigung	545
	5 Lasergestützte Werkzeugüberwachung	553
Teil 6	NC-Programm und Programmierung	559
*	1 NC-Programm	561
**	2 Programmierung von CNC-Maschinen	607
	3 NC-Programmiersysteme	629
	4 Fertigungssimulation	647
Teil 7	Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0	665
	1 DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control	667
	2 LAN – Local Area Networks	683
*	3 Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM	701
*	4 Industrie 4.0	719
**	5 Der Weg zur Digitalisierung in der CNC-Werkzeugmaschinen- Branche	737
	6 Industrie 4.0 im mittelständischen Fertigungsbetrieb	759
Teil 8	Anhang	771
	Richtlinien, Normen, Empfehlungen	773
*	NC-Fachwortverzeichnis	781
	Abkürzungsverzeichnis	827
*	Stichwortverzeichnis	829
*	Empfohlene NC-Literatur	839
	Inserentenverzeichnis	842

Inhaltsverzeichnis

Tabellenübersicht	17
Videoübersicht	18
Teil 1 Einführung in die CNC-Technik	19
1 Historische Entwicklung der NC-Fertigung	21
1.1 Erste Nachkriegsjahre	21
1.2 Wiederaufbau der Werkzeugmaschinenindustrie	22
1.3 Die Werkzeugmaschinenindustrie in Ostdeutschland	22
1.4 Weltweite Veränderungen	24
1.5 Weiterentwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie	24
1.6 Der japanische Einfluss	27
1.7 Die deutsche Krise	27
1.8 Ursachen und Auswirkungen	28
1.9 Flexible Fertigungssysteme	29
1.10 Weltwirtschaftskrise 2009	30
1.11 Situation und Ausblick	33
1.12 Fazit	34
2 Meilensteine der NC-Entwicklung	37
3 Was ist NC und CNC?	41
3.1 Der Weg zu NC	41
3.2 Hardware	42
3.3 Software	43
3.4 Steuerungsarten	44
3.5 NC-Achsen	46
3.6 SPS, PLC	49
3.7 Anpassteil	49
3.8 Computer und NC	50
3.9 NC-Programm und Programmierung	52
3.10 Dateneingabe	55
3.11 Bedienung	55
3.12 Programmierung	57
3.13 Zusammenfassung	59
Teil 2 Funktionen der CNC	65
1 Weginformationen, Wegmessung	67
1.1 Einführung	67
1.2 Achsbezeichnung	67
1.3 Lageregelkreis	70
1.4 Positionsmessung	73

1.5	Einfache Diagnose von Messgeräten	86
1.6	Kompensationen	88
2	Schaltfunktionen	103
2.1	Erläuterungen	103
2.2	Werkzeugwechsel	104
2.3	Werkzeugwechsel bei Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren	104
2.4	Werkzeugwechsel bei Drehmaschinen	108
2.5	Werkzeugplatzcodierung	108
2.6	Werkstückwechsel	109
2.7	Drehzahlwechsel	113
2.8	Vorschubgeschwindigkeit	113
2.9	Zusammenfassung	114
3	Betriebsfunktionen	117
3.1	Definition	117
3.2	CNC-Grundfunktionen	117
3.3	CNC-Sonderfunktionen	123
3.4	Kollisionsvermeidung	127
3.5	Integrierte Sicherheitskonzepte für CNC-Maschinen	136
3.6	Zustandsüberwachung und Maschinendatenerfassung	158
3.7	Anzeigen in CNCs	163
3.8	Touch-Bedienung der CNC	166
3.9	CNC-Bedienoberflächen ergänzen	167
3.10	Elektronische Schüsselsysteme für die sichere Betriebsartenwahl	171
3.11	Offene Steuerungen	173
3.12	Einsatz von OPC UA in der CNC-Werkzeugmaschine	176
3.13	Preisbetrachtung	178
3.14	Vorteile neuester CNC-Entwicklungen	180
3.15	Zusammenfassung	181
4	SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen	185
4.1	Definition	185
4.2	Entstehungsgeschichte der SPS	185
4.3	Aufbau und Wirkungsweise der SPS und SPS-Module	186
4.4	Datenbus und Feldbus	189
4.5	Vorteile von SPS	194
4.6	Programmierung von SPS und Dokumentation	194
4.7	Programm	197
4.8	Programmspeicher	198
4.9	SPS, CNC und PC im integrierten Betrieb	199
4.10	SPS-Auswahlkriterien	200
4.11	Zusammenfassung	202
4.12	Tabellarischer Vergleich CNC/SPS	202
5	Einfluss der CNC auf Baugruppen der Maschine	207
5.1	Maschinenkonfiguration	207
5.2	Maschinengestelle	209
5.3	Führungen	210

5.4	Maschinenverkleidung	212
5.5	Kühlmittelversorgung	213
5.6	Späneabfuhr	213
5.7	Zusammenfassung	213

Teil 3 Elektrische Antriebe für CNC-Werkzeugmaschinen 215

1	Antriebsregelung für CNC-Werkzeugmaschinen	217
1.1	Definition	217
1.2	Achsmechanik	218
1.3	Analoge Regelung	219
1.4	Analoge vs. Digitale Regelung	220
1.5	Digitale intelligente Antriebstechnik	221
1.6	Reglertypen und Regelverhalten	223
1.7	Kreisverstärkung und K_V -Faktor	225
1.8	Vorsteuerung	226
1.9	Frequenzumrichter	226
1.10	Zusammenfassung	231
2	Vorschubantriebe für CNC-Werkzeugmaschinen	235
2.1	Anforderungen an Vorschubantriebe	236
2.2	Arten von Vorschubantrieben	237
2.3	Die Arten von Linearmotoren	243
2.4	Vor-/Nachteile von Linearantrieben	245
2.5	Anbindung der Antriebe an die CNC	246
2.6	Messgeber	248
2.7	Zusammenfassung	249
3	Hauptspindelantriebe	253
3.1	Anforderungen an Hauptspindelantriebe	253
3.2	Arten von Hauptspindelantrieben	254
3.3	Bauformen von Hauptspindelantrieben	255
3.4	Ausführungen von Drehstrom-Synchronmotoren	258
3.5	Vor- und Nachteile von Synchronmotoren	258
4	Dimensionierung von Antrieben für Werkzeugmaschinen	261
4.1	Vorgehensweise	261
4.2	Dimensionierung von Hauptspindelantrieben	266
4.3	Zusammenfassung	268
5	Mechanische Auslegung der Hauptspindel anhand der Prozessparameter	271
5.1	Motorenauswahl	271
5.2	Lagerung	272
5.3	Schmierung	273
5.4	Bearbeitungsprozesse	273
5.5	Anforderungen an die Hauptspindel bezüglich Industrie 4.0	278

Teil 4	Numerisch gesteuerte Maschinen und Fertigungssysteme	283
1	CNC-Werkzeugmaschinen	285
1.1	Bearbeitungszentren, Fräsmaschinen	285
1.2	Drehmaschinen	298
1.3	Schleifmaschinen	305
1.4	Verzahnmaschinen	314
1.5	Bohrmaschinen	322
1.6	Sägemaschinen	324
1.7	Laserbearbeitungsanlagen	326
1.8	Stanz- und Nibbelmaschinen	333
1.9	Rohrbiegemaschinen	338
1.10	Funkenerosions-maschinen	339
1.11	Elektronenstrahl-Maschinen	342
1.12	Wasserstrahlschneidmaschinen	344
1.13	Multitasking-Maschinen	346
1.14	Messen und Prüfen	358
1.15	Zusammenfassung	362
2	Additive Fertigungsverfahren	367
2.1	Einführung	367
2.2	Definition	368
2.3	Verfahrenskette	370
2.4	Einteilung der generativen Fertigungsverfahren	374
2.5	Die wichtigsten Schichtbauverfahren	375
2.6	Vorteile der Additiven Fertigungsverfahren	385
2.7	Anwendungen	388
2.8	Neuere Verfahren	388
2.9	Arbeits-Vorbereitung	391
2.10	Einbindung in die Fertigung	392
2.11	Zusammenfassung	393
3	Flexible Fertigungssysteme	395
3.1	Definition	395
3.2	Flexible Fertigungszellen	398
3.3	Flexible Fertigungssysteme	398
3.4	Technische Kennzeichen von FFS	405
3.5	FFS-Einsatzkriterien	406
3.6	Fertigungsprinzipien	408
3.7	Maschinenauswahl und -anordnung	410
3.8	Werkstücktransportsysteme	411
3.9	FFS-Anforderungen an CNCs	419
3.10	FFS-Leitrechner	420
3.11	Wirtschaftliche Vorteile von FFS	422
3.12	Probleme und Risiken bei der Auslegung von FFS	423
3.13	Flexibilität und Komplexität	425
3.14	Simulation von FFS	428
3.15	Produktionsplanungssysteme (PPS)	432

3.16	Planung flexibler Fertigungssysteme	433
3.17	Zusammenfassung	435
4	Industrieroboter und Handhabung	439
4.1	Einführung	439
4.2	Definition: Was ist ein Industrieroboter?	440
4.3	Aufbau von Industrierobotern	440
4.4	Mechanik/Kinematik	442
4.5	Greifer oder Effektor	442
4.6	Steuerung	444
4.7	Safe Robot Technologie	447
4.8	Programmierung	449
4.9	Sensoren	451
4.10	Anwendungsbeispiele von Industrierobotern	452
4.11	Anbindung von Robotern an Werkzeugmaschinen	454
4.12	Roboter mit CNC-Anforderungen	456
4.13	Einsatzkriterien für Industrieroboter	456
4.14	Zusammenfassung und Ausblick	458
5	Energieeffiziente wirtschaftliche Fertigung	461
5.1	Einführung	461
5.2	Was ist Energieeffizienz?	461
5.3	Werkhallen	461
5.4	Maschinenpark	462
5.5	Sonderfall Bearbeitungszentren	462
5.6	Energieeffiziente NC-Programme	463
5.7	Möglichkeiten der Maschinenhersteller	464
5.8	Möglichkeiten der Anwender	465
5.9	Blindstrom-Kompensation	467
5.10	Zusammenfassung	469
5.11	Ausblick	469
Teil 5	Werkzeuge in der CNC-Fertigung	471
1	Aufbau der Werkzeuge	473
1.1	Einführung	473
1.2	Anforderungen	473
1.3	Gliederung der Werkzeuge	476
1.4	Maschinenseitige Aufnahmen	481
1.5	Modulare Werkzeugsysteme	485
1.6	Einstellbare Werkzeuge	486
1.7	Gewindefräsen	490
1.8	Sonderwerkzeuge	492
1.9	Werkzeugwahl	499
2	Werkzeugverwaltung (Tool Management)	501
2.1	Motive zur Einführung	501
2.2	Evaluation einer Werkzeugverwaltung	502

2.3	Lastenheft	503
2.4	Beurteilung von Lösungen	504
2.5	Einführung einer Werkzeugverwaltung	504
2.6	Gliederung	504
2.7	Integration	505
2.8	Werkzeugidentifikation	505
2.9	Werkzeuge suchen	506
2.10	Werkzeugklassifikation	507
2.11	Werkzeugkomponenten	508
2.12	Komplettwerkzeuge	510
2.13	Werkzeuglisten	511
2.14	Arbeitsgänge	512
2.15	Werkzeu gvoreinstellung	512
2.16	Werkzeuglogistik	514
2.17	Elektronische Werkzeugidentifikation	518
2.18	Zusammenfassung	526
3	Maschinenintegrierte Werkstückmessung und Prozessregelung	529
3.1	Einführung	529
3.2	Ansatzpunkte für die Prozessregelung	529
3.3	Einsatzbereiche von Werkstück- und Werkzeugmesssystemen	530
3.4	Werkstückmesssysteme für Werkzeugmaschinen	536
4	Maschinenintegrierte Werkstückmessung in der Serienfertigung	545
4.1	Einführung	545
4.2	Bohrungsmessköpfe für kürzeste Messzeiten bei der Bohrungsherstellung ..	546
4.3	Rauheitsmessgeräte für die automatisierte Prüfung von Oberflächen	547
4.4	DIGILOG-Messtaster für digitale und analoge Messwerterfassung	548
4.5	Höchste Produktivität durch simultanes Messen	550
4.6	Zusammenfassung	550
5	Lasergestützte Werkzeugüberwachung	553
5.1	Einführung	553
5.2	Bruchüberwachung	554
5.3	Einzelschneidenkontrolle	554
5.4	Werkzeugmessung	555
5.5	Messung von HSC-Werkzeugen	555
5.6	Kombinierte Lasermesssysteme	556
5.7	Zusammenfassung	557
Teil 6	NC-Programm und Programmierung	559
1	NC-Programm	561
1.1	Definitionen	561
1.2	Struktur der NC-Programme	562
1.3	Programmaufbau, Syntax und Semantik	563
1.4	Schaltbefehle (M-Funktionen)	564
1.5	Weginformationen	566

1.6	Wegbedingungen (G-Funktionen)	567
1.7	Zyklen	570
1.8	Nullpunkte und Bezugspunkte	571
1.9	Transformationen	588
1.10	Werkzeugkorrekturen	592
1.11	DXF-Konverter	594
1.12	CNC-Hochsprachenprogrammierung	600
1.13	Zusammenfassung	603
2	Programmierung von CNC-Maschinen	607
2.1	Definition der NC-Programmierung	607
2.2	Programmiermethoden	607
2.3	CAM-basierte CNC-Zerspanungsstrategien	614
2.4	Arbeitserleichternde Grafiken	623
2.5	Auswahl des geeigneten Programmiersystems	625
2.6	Zusammenfassung	626
3	NC-Programmierysteme	629
3.1	Einleitung	629
3.2	Bearbeitungsverfahren im Wandel	630
3.3	Der Einsatzbereich setzt die Prioritäten	631
3.4	Eingabedaten aus unterschiedlichen Quellen	633
3.5	Leistungsumfang eines modernen NC-Programmierystems (CAM)	633
3.6	Datenmodelle auf hohem Niveau	633
3.7	CAM-orientierte Geometrie-Manipulation	634
3.8	Nur leistungsfähige Bearbeitungsstrategien zählen	635
3.9	Adaptives Bearbeiten	636
3.10	3D-Modelle bieten mehr	636
3.11	3D-Schnittstellen	637
3.12	Innovativ mit Feature-Technik	637
3.13	Automatisierung in der NC-Programmierung	638
3.14	Werkzeuge	641
3.15	Aufspannplanung und Definition der Reihenfolge	642
3.16	Die Simulation bringt es auf den Punkt	642
3.17	Postprozessor	643
3.18	Erzeugte Daten und Schnittstellen zu den Werkzeugmaschinen	644
3.19	Zusammenfassung	644
4	Fertigungssimulation	647
4.1	Einleitung	647
4.2	Qualitative Abgrenzung der Systeme	648
4.3	Komponenten eines Simulationsszenarios	651
4.4	Ablauf der NC-Simulation	654
4.5	Integrierte Simulationssysteme	656
4.6	Einsatzfelder	656
4.7	Zusammenfassung	661

Teil 7 Von der betrieblichen Informationsverarbeitung zu Industrie 4.0

1	DNC – Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control	667
1.1	Definition	667
1.2	Aufgaben von DNC	667
1.3	Einsatzkriterien für DNC-Systeme	668
1.4	Datenkommunikation mit CNC-Steuerungen	669
1.5	Technik des Programmanforderns	670
1.6	Heute angebotene DNC-Systeme	671
1.7	Netzwerktechnik für DNC	672
1.8	Vorteile beim Einsatz von Netzwerken	675
1.9	NC-Programmverwaltung	675
1.10	Vorteile des DNC-Betriebes	679
1.11	Kosten und Wirtschaftlichkeit von DNC	679
1.12	Stand und Tendenzen	680
1.13	Zusammenfassung	680
2	LAN – Local Area Networks	683
2.1	Einleitung	683
2.2	Local Area Network (LAN)	683
2.3	Was sind Informationen?	683
2.4	Kennzeichen und Merkmale von LAN	686
2.5	Gateway und Bridge	693
2.6	Auswahlkriterien eines geeigneten LANs	694
2.7	Schnittstellen	694
2.8	Zusammenfassung	697
3	Digitale Produktentwicklung und Fertigung: Von CAD und CAM zu PLM	701
3.1	Einleitung	701
3.2	Begriffe und Geschichte	702
3.3	Digitale Produktentwicklung	707
3.4	Digitale Fertigung	711
3.5	Zusammenfassung	716
4	Industrie 4.0	719
4.1	Grundlagen	719
4.2	Kernelemente der Industrie 4.0	723
4.3	Industrie 4.0 in der Fertigung	730
4.4	Ein MES als Baustein der Industrie 4.0	732
4.5	Herausforderungen und Risiken von Industrie 4.0	734
5	Der Weg zur Digitalisierung in der CNC-Werkzeugmaschinen-Branche	737
5.1	Auswirkungen der gesellschaftlichen Veränderungen	737
5.2	Digitalisierung der Prozesse in der CNC-Fertigung	739
5.3	Der Digitale Zwilling einer Werkzeugmaschine	748
5.4	Sensorik für CNC-Maschinen als Voraussetzung für I4.0	752

6	Industrie 4.0 im mittelständischen Fertigungsbetrieb	759
6.1	Voraussetzung für Industrie 4.0	759
6.2	Nutzen von Industrie 4.0	761
6.3	Cyber-Physical-Systems (CPS), das „Internet der Dinge“	761
6.4	Sechzehn Fallbeispiele zu Industrie 4.0	761
6.5	Ein Arbeitstag mit Industrie 4.0	767
6.6	Zusammenfassung	768
Teil 8	Anhang	771
	Richtlinien, Normen, Empfehlungen	773
1.	VDI-Richtlinien	773
2.	VDI/NCG-Richtlinien	775
3.	DIN – Deutsche Industrie Normen	777
	NC-Fachwortverzeichnis	781
	Abkürzungsverzeichnis	827
	Stichwortverzeichnis	829
	Empfohlene NC-Literatur	839
	Inserentenverzeichnis	842

Tabellenübersicht

Inhalt	Seite
Unterschiedliche Anforderungen verschiedener Werkzeugmaschinen an den Umfang ihrer Automatisierung (m = manuell, a = automatisch)	68
Bezeichnung der Abweichungen im Volumenkompensationsmodell	96
Funktionsumfang	139
Die integrierte Sicherheitstechnik bietet mit ihrer Durchgängigkeit vollkommen neue Möglichkeiten	139
Vergleich CNC und SPS	202
Rechnerische Ermittlung der Drehmomente in den 6 Betriebsarten	265
Jeweilige Dauer der BA siehe Bild 4.3	265
Blechdicke max. bei Nibbeln/Laserschneiden	337
Unterschiede in der Anwendung von additiven Fertigungsverfahren beim Rapid Prototyping und industrieller additiver Fertigung	388
Komponenten eines Robotersystems	441
Grundbestandteile von Handhabungsprogrammen	450
Technische Sensoren	451
Zahlenwerte für $\cos \varphi$ und $\sin \varphi$	468
Schaltfunktionen nach DIN 66 025, Bl. 2	564
Beispiel für Achsadressen mit mehreren Zeichen und zusätzlichen Erläuterungen, die z. T. auch auf dem Bildschirm der CNC erscheinen.	565
Wegmaßtabelle für das in Bild 1.3 dargestellte Bohrbild bei Absolut- und Relativmaß-Programmierung	567
G-Funktionen nach DIN 66 025, Bl. 2	568
Bohrzyklen G80 – G89	571
Vergleich der unterschiedlichen Simulationsansätze	649
Übertragungsgeschwindigkeiten im Vergleich	692

Videoübersicht

Video	Thema	Link
1	Genauigkeit von Werkzeugmaschinen	bit.ly/3c4boVg
2	Direkte Positionserfassung mit Längenmessgeräten	bit.ly/2Ys6nCa
3	Genauigkeit an modernen Werkzeugmaschinen	bit.ly/2Syuknk
4	Längenmessgeräte für Werkzeugmaschinen	bit.ly/2WjYIZm
5	Neuer Signal-Processing-ASIC für offene Längenmessgeräte	bit.ly/2YDtvxL
6	Dynamic Efficiency – Die Heidenhain-Lösung für die effiziente Schwerzerspanung	bit.ly/35sOeW8
7	Dynamic Precision – Dynamisch und mit hoher Genauigkeit bearbeiten	bit.ly/35uWDZe
8	Load Adaptive Control	bit.ly/2KX8ENR
9	SINUMERIK Operate Display Manager	bit.ly/2RgPZzT
10	TNC 620 mit Touchscreen	bit.ly/2W0iPaq
11	Totally Integrated Automation Portal	bit.ly/3bP3sXw
12	Heidenhain-Motoren für Vorschubachsen in Werkzeugmaschinen	bit.ly/2zOMGdl
13	WEISS-Hybridspindel	bit.ly/3bTsFQx
14	Öl-und Luftschmierung an einer GMN-Spindel	bit.ly/2xSal6t
15	WEISS Spindel Sensor Modul	bit.ly/2V8xazU
16	Werkzeugschleifmaschine mit Werkstückwechsler	bit.ly/37WleGP
17	TNC – Fräsen und Drehen in einer Aufspannung	bit.ly/2ygThx1
18	Komplettbearbeitung mit B-Achse und Gegenspindel	bit.ly/3c1GfRX
19	Kundenspezifische Anpassung des B-Achs-Motors	bit.ly/2yyhbDK
20	Maschine für additive Fertigung	bit.ly/3e2OG1w
21	Spielefreies Planetengetriebe	bit.ly/3bYCbSO
22	TRS-Maschine	bit.ly/2UZ9Ape
23	Hocheffiziente GROB-Fertigungslinie zur Bearbeitung von Getriebe- und Kupplungsgehäusen	bit.ly/3e0xTMv
24	Roboter für die Kfz-Entwicklung	bit.ly/3bS3YnN
25	Werkstückautomatisierung mit Roboterlösung	bit.ly/2JHsL1V
26	Mensch-Roboter-Kollaboration	bit.ly/34d9cb0
27	Industrie 4.0-Roboter: Intelligente Automatisierung im KUKA-Werk	bit.ly/3bZDiBD
28	Vorteile der automatischen Werkstückeinrichtung	bit.ly/2RfbwZH
29	Vorteile der automatischen Werkzeugmessung	bit.ly/2UM1MbF
30	Renishaw Koordinatenmessgerät	bit.ly/2RdzowS
31	BLUM Messtaster TC64-DIGILOG und Rauheitsmessgerät TC64-RG_TC63-RG	bit.ly/2JKNbqy
32	BLUM Messung komplexer Werkzeuggeometrien mit LC50-Digilog	bit.ly/2wiWdrV
33	Tastsysteme für Werkzeugmaschinen	bit.ly/2W37hmZ
34	Siemens-Sinumerik live, Mehrseitenbearbeitung-Fräsen	bit.ly/2xXCpKT
35	OCM – Mit optimalen Schnittwerten fräsen	bit.ly/3c1OiyR
36	iMachining 3D Brillen-Form	bit.ly/2wi3Qih
37	Realitätsnahe Vorschau auf Bearbeitungsprozesse mit der 3D-Simulationsgrafik	bit.ly/2YzrthU
38	Connected Machining verbindet: Die Steuerung im Zentrum des digitalen Job-Managements	bit.ly/3fgmgS5
39	Siemens Digitaler Zwilling: Vollständige Simulation der CNC-Bearbeitung	bit.ly/2UMZdGi

Einführung in die CNC-Technik

Kapitel 1	Historische Entwicklung der NC-Fertigung	21
Kapitel 2	Meilensteine der NC-Entwicklung	37
Kapitel 3	Was ist NC und CNC?	41

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 bis 1955: Nach der Währungsreform 1948 konnte der Wiederaufbau der Werkzeugmaschinen- und Fertigungsindustrie beginnen. Dies geschah vorwiegend auf Basis noch vorhandener Konzepte, da während des Krieges und kurz danach die Entwicklung neuer Maschinenkonzepte nicht möglich war.

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, um den Bedarf an den dringend benötigten Massenprodukten zu decken.

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 LKWs.

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 hatte hingegen zu dieser Zeit (ca. 1960 – 75) durchschnittlich ca. 15 bis 17 Jahre alte 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 Gesichtspunkten konstruierte NC-Maschinen. Bald konnte man ab Lager und zu bis dahin unglaublich niedrigen Preisen liefern. Die

Maschinen waren nach anderen Vorgaben konstruiert: Serienmäßige Standardmaschinen ohne größere Modifikationen, zuverlässig, mit Serien-NC ohne Möglichkeit der Steuerungswahl und 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 in Deutschland: Von 1973 bis 81 stieg sie um 11,9% auf 33,3%, und bis 1991 sogar 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. Vor dem 2. Weltkrieg waren noch mehr als 20 000 Menschen in dieser Branche beschäftigt. Nach dem Krieg waren die Industrieanlagen auch hier 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 daher 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 in 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, Konsolfräsmaschinen, Universalmaschinen, Rund- und Flachsleifmaschinen, Bohrwerke, Verzahnmaschinen und diverse Sonderma-

schinen gehörten zum Produktportfolio. Werkzeugmaschinen aus der DDR-Produktion genossen weltweit einen guten Ruf und etwa 70 % der Werkzeugmaschinen wurden exportiert. Allerdings ging mehr als die Hälfte davon in die Länder der ehemaligen Sowjetunion, was sich nach dem 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 Relaisstechnik, 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, de-

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 Einsatz in flexiblen Fertigungssystemen (FMS) genutzt wurde.



ren 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 Eigentümerwechseln 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: Es kam zu einer 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 für die Anwendung von CNC-Maschinen waren alle kleinen und mittleren Zulieferbetriebe.

1.5 Weiterentwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie

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

- Großflächenfräsmaschinen und Bearbeitungszentren mit hohem Automatisierungsgrad,
- Drei- und Fünffachs-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 Werk-

SolidCAM

The Leaders in Integrated CAM

MIT **HIGH SPEED**
ERFOLGREICH IN
DIE **ZUKUNFT**



SolidCAM – die zertifizierte, integrierte
CAM- Komplettlösung für SOLIDWORKS®
und Autodesk Inventor®

Die einzigartige, revolutionäre Frästechnologie
iMachining®
patent by SolidCAM

ZEITERSPARNIS
70%
... UND MEHR!



**ADVANCED
MILLTURN**

Die führende All-in-One-CAM-Software für die
effiziente Programmierung mehrachsiger,
komplexer CNC-Bearbeitungsmaschinen, Dreh-
Fräs-Zentren und Langdrehmaschinen mit der
patentierten, einzigartigen iMachining-Technologie.

Die CAM-Experten in Ihrer Nähe:

Schramberg | Hörstel | Neumarkt | Siegen | Suhl | Sinsheim | Rosenheim | Zimmern

solidcam.de

So haben Sie Stahl noch nie gesehen!



**E-Book
inside**

Bleck, Moeller (Hrsg.)

Handbuch Stahl

Auswahl, Verarbeitung, Anwendung

944 Seiten. E-Book inside. Komplett in Farbe

€ 250,-. ISBN 978-3-446-44961-9

Auch einzeln als E-Book erhältlich

Stahl ist der wichtigste Konstruktionswerkstoff.

Im Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugbau, Schiffbau, Stahlbau und in vielen anderen Industriebereichen ist er durch keinen anderen Werkstoff zu ersetzen. Für jeden Anwendungszweck gibt es passende Stahlsorten am Markt zu kaufen. Die Anzahl der Möglichkeiten ist sehr groß und somit auch die Schwierigkeit, den genau passenden Stahl zu finden bzw. zu erzeugen. Das vorliegende Handbuch hilft Ihnen, dieses Problem zu lösen. Damit stellt dieses Handbuch eine wertvolle Ergänzung zu etablierten Normenverzeichnissen und Herstellerkatalogen dar.

Das Handbuch Stahl zeigt, wie es andere Anwender gemacht haben und bietet eine unvergleichliche Fundgrube von Anregungen für Konstrukteure und Ingenieure, die es in dieser Form sonst nirgends gibt.

stück- 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 mechanische 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 japanische 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 dieselbe 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 mit-

einander 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 Grundausrüstung mit Standardmaschinen fehlte. Zudem verlangten die potenziellen Käufer umfangreiche Detailplanungen von mehreren Herstellern, ohne die dafür entstehenden 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 kürzeren 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 Käufer, die bisher immer auf deutsche Fabrikate vertrauten, 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 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.