

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung zur Computerunterstützten Fertigung..... | 1 |
| 1.1 Aktuelle Herausforderungen | 3 |
| 1.2 Einführung in die Computerunterstützte Fertigung | 5 |
| 1.3 Literatur zu Kapitel 1 | 10 |
| 2 Fertigungstechnik..... | 11 |
| 2.1 Aufgaben der Fertigungstechnik | 11 |
| 2.2 Grundbegriffe der Fertigungstechnik | 12 |
| 2.3 Einteilung der Fertigungsverfahren | 12 |
| 2.4 Kurzbeschreibung der einzelnen Fertigungsverfahren..... | 14 |
| 2.4.1 Urformen | 14 |
| 2.4.2 Umformen | 15 |
| 2.4.3 Trennen..... | 17 |
| 2.4.4 Fügen..... | 18 |
| 2.4.5 Beschichten | 19 |
| 2.4.6 Stoffeigenschaft ändern..... | 21 |
| 2.5 Spanende Fertigungsverfahren..... | 21 |
| 2.5.1 Einteilung der spanenden Fertigungsverfahren | 22 |
| 2.5.2 Drehen..... | 24 |
| 2.5.3 Bohren, Senken, Reiben | 25 |
| 2.5.4 Fräsen | 27 |
| 2.6 Wahl des anzuwendenden Fertigungsverfahrens..... | 29 |
| 2.6.1 Technologische und wirtschaftliche Anforderungen..... | 29 |
| 2.6.2 Beschreibung der Fertigungsaufgabe | 32 |
| 2.6.3 Anwendungsgerechte Konstruktion (DFX)..... | 33 |
| 2.7 Grundlagen der Zerspanungstechnik | 35 |
| 2.8 Modelle für Fertigungsprozesse..... | 37 |
| 2.8.1 Ziele und Anforderungen an Modelle | 38 |
| 2.8.2 Einteilung von Prozessmodellen | 38 |
| 2.8.3 Modelle zur Darstellung der Zerspanungskraft | 39 |
| 2.8.3.1 Prozessmodelle für Drehen | 40 |
| 2.8.3.2 Prozessmodelle für Fräsen | 41 |
| 2.8.4 Modelle für Schnitt- und Zerspanungsgrößen..... | 43 |
| 2.8.4.1 Schnittgeschwindigkeit und Drehzahl..... | 43 |
| 2.8.4.2 Geometrieverhältnisse beim Fräsen | 43 |
| 2.8.4.3 Eingriffsverhältnisse für Schnittkraftberechnung | 43 |
| 2.8.4.4 Ermittlung des Spanungsquerschnittes | 44 |
| 2.8.4.5 Ermittlung der Schnittkraft | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 2.8.4.6 Zeitspannungsvolumen | 45 |
| 2.8.5 Modelle zur Standzeitberechnung und Standzeitoptimierung | 46 |
| 2.8.5.1 Begriffsdefinition Standvermögen, Standzeit | 46 |
| 2.8.5.2 Berechnung der Standzeit | 47 |
| 2.8.6 Modelle für Schwingungen in Werkzeugmaschinen | 48 |
| 2.8.7 Modelle aus der Umformtechnik | 48 |
| 2.8.7.1 Modell für das Walzen | 49 |
| 2.8.7.2 Modellanwendung: Automatisierung in Walzwerken | 52 |
| 2.8.7.3 Modell für das Biegen | 53 |
| 2.9 Literatur zu Kapitel 2 | 54 |
| 3 Werkzeugmaschinen | 56 |
| 3.1 Allgemeines zu Werkzeugmaschinen | 56 |
| 3.1.1 Begriffsdefinition | 56 |
| 3.1.2 Einteilung der Werkzeugmaschinen | 57 |
| 3.1.3 Automatisierung | 57 |
| 3.2 Konstruktive Anforderungen an Werkzeugmaschinen | 59 |
| 3.2.1 Ermittlung der Anforderungen | 59 |
| 3.2.2 Sicherheitstechnische Maßnahmen | 59 |
| 3.3 Struktur von Werkzeugmaschinen | 60 |
| 3.4 Komponenten und deren Realisierung | 62 |
| 3.4.1 Gestell | 62 |
| 3.4.2 Führungen | 63 |
| 3.4.3 Antriebe | 65 |
| 3.4.4 Getriebe | 66 |
| 3.4.5 Wegmesssysteme | 66 |
| 3.4.6 Halter- und Spaneinrichtungen | 69 |
| 3.5 Werkzeugmaschinen zum Umformen | 70 |
| 3.6 Drehmaschinen | 71 |
| 3.7 Bohrmaschinen | 74 |
| 3.8 Fräsmaschinen | 75 |
| 3.9 Literatur zu Kapitel 3 | 77 |
| 4 NC- und CNC-Technik und Programmierung | 79 |
| 4.1 Allgemeines zur Entwicklung von NC- und CNC-Techniken | 79 |
| 4.2 Steuerung und Regelung im Fertigungsprozess | 81 |
| 4.2.1 Gliederung der Steuerungsarten | 82 |
| 4.2.2 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) | 83 |
| 4.3 NC-CNC-Technik | 83 |
| 4.3.1 NC-Programm | 84 |
| 4.3.2 NC-Steuerungen | 85 |
| 4.3.2.1 Anforderung an eine NC-Steuerung | 86 |
| 4.3.2.2 NC-Achsen | 88 |
| 4.3.2.3 Abarbeitung des NC-Programms | 89 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3.3 | Verfahrweg-Steuerungsarten..... | 90 |
| 4.3.3.1 | Punktsteuerung..... | 90 |
| 4.3.3.2 | Streckensteuerung..... | 91 |
| 4.3.3.3 | Bahnsteuerung..... | 92 |
| 4.3.4 | NC-Maschinen..... | 93 |
| 4.3.5 | NC-Erweiterungsfunktionen..... | 94 |
| 4.4 | Die Programmierung..... | 95 |
| 4.4.1 | Gliederung und Begriffsbestimmung der NC-Programmiertechnik..... | 95 |
| 4.4.2 | Einteilung der Programmierverfahren..... | 97 |
| 4.5 | Ablauf bei der Erstellung von NC-Programmen..... | 98 |
| 4.5.1 | Aufbau von NC-Programmen..... | 100 |
| 4.5.2 | Festlegung von Bezugselementen..... | 105 |
| 4.5.2.1 | Koordinatensysteme..... | 105 |
| 4.5.2.2 | Null- und Bezugspunkte..... | 106 |
| 4.6 | Beispiele für NC-Programme..... | 107 |
| 4.6.1 | Beispielprogramm Fräsen..... | 107 |
| 4.6.2 | Kreisinterpolation..... | 108 |
| 4.6.3 | Beispielprogramm Drehen..... | 109 |
| 4.6.4 | Werkzeugkorrektur..... | 110 |
| 4.7 | Aktuelle Trends bei NC-CNC-Steuerungen..... | 112 |
| 4.7.1 | Soft-CNC..... | 112 |
| 4.7.1.1 | Vorteile der Soft-CNC..... | 113 |
| 4.7.1.2 | Typische Struktur von Soft-CNC-Steuerungen..... | 113 |
| 4.7.1.3 | Mögliche Einsatzgebiete..... | 115 |
| 4.7.2 | Open Source Lösungen für CNC..... | 115 |
| 4.8 | Literatur zu Kapitel 4..... | 116 |
| 5 | CAD/CAM-Prozesskette..... | 118 |
| 5.1 | Überblick zum computerunterstützten Konstruieren und Fertigen..... | 118 |
| 5.1.1 | CAX-Systeme..... | 118 |
| 5.1.2 | Computer Aided Design (CAD)..... | 120 |
| 5.1.3 | Computer Aided Engineering (CAE)..... | 120 |
| 5.1.4 | Computer Aided Planning (CAP)..... | 120 |
| 5.1.5 | Computer Aided Manufacturing (CAM)..... | 121 |
| 5.1.6 | Ablauf zur computerunterstützten Produktentwicklung und Fertigung..... | 122 |
| 5.2 | 3D-CAD-Modell..... | 123 |
| 5.2.1 | 3D-Modellierung..... | 123 |
| 5.2.1.1 | Allgemeines zur 3D-Modellierung..... | 123 |
| 5.2.1.2 | 3D-Modellierungsstrategien..... | 124 |
| 5.2.1.3 | Querschnittsflächenorientierter Modellaufbau..... | 125 |
| 5.2.1.4 | Beispiel für einen profilbasierten Modellaufbau..... | 127 |
| 5.2.1.5 | Oberflächenbasierter Modellaufbau..... | 127 |
| 5.2.1.6 | Zeichnungserstellung..... | 128 |
| 5.2.2 | Geometrieprepräsentationsschema..... | 130 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.3 Kantenmodell (Drahtmodell) | 130 |
| 5.2.4 Flächenmodell | 131 |
| 5.2.5 Volumenmodell (Körpermodell) | 132 |
| 5.2.5.1 Gliederung der Volumenmodelle | 132 |
| 5.2.5.2 Constructive Solid Geometry (CSG) | 133 |
| 5.2.5.3 Produktionsmodelle | 135 |
| 5.2.5.4 Elementefamilienmodelle | 136 |
| 5.2.5.5 Randrepräsentationen (Boundary Representation, BRep) | 136 |
| 5.2.5.6 Finite-Elemente-Modelle (FEM) | 137 |
| 5.2.5.7 Zellmodelle | 137 |
| 5.2.5.8 Hybridmodelle (Kombination BRep und CSG) | 139 |
| 5.3 Geometrieschnittstellen | 139 |
| 5.3.1 Arten des Geometriedatenaustausches | 140 |
| 5.3.2 Initial Graphics Exchange Specification (IGES) | 141 |
| 5.3.3 Verband der deutschen Automobilindustrie-Flächenschnittstelle (VDAFS) | 141 |
| 5.3.4 Standard d'Echange et de Transfert (SET) | 142 |
| 5.3.5 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) | 142 |
| 5.3.6 Standard Triangulation Language (STL) | 145 |
| 5.3.7 Andere Schnittstellen | 145 |
| 5.4 CAD/CAM-Kopplung | 146 |
| 5.5 CAD/CAM-Programmierung | 147 |
| 5.5.1 Arbeitsablauf bei der Nutzung von CAD/CAM | 148 |
| 5.5.2 Werkzeugmaschinen-Einstellung | 150 |
| 5.5.3 Werkzeug-Einstellung | 150 |
| 5.5.4 NC-Folgen-Einstellung | 150 |
| 5.6 Objektorientiertes NC-Programm (STEP-NC) | 152 |
| 5.7 Automatisierungstendenzen in der NC-Programmierung | 154 |
| 5.7.1 Feature-Technologie | 155 |
| 5.7.2 Aufbau eines Features | 156 |
| 5.7.3 Featureerkennung | 157 |
| 5.7.4 Arten der Featureerkennung (Feature Recognition) | 157 |
| 5.8 Literatur zu Kapitel 5 | 158 |
| 6 CAD/CAM-Systeme und Simulationstechnik | 159 |
| 6.1 CAD/CAM-Systeme | 159 |
| 6.1.1 Funktionalitäten von CAD/CAM-Systemen | 159 |
| 6.1.1.1 5-Achs-Simultanfräsen | 160 |
| 6.1.1.2 Kollisionsprüfung | 160 |
| 6.1.1.3 Maschinensimulation | 161 |
| 6.1.1.4 Visualisierung und Bearbeitung von Restmaterial | 161 |
| 6.1.1.5 Automatische Bohrererkennung und Maschinenprozesse | 161 |
| 6.1.2 Auflistung einiger CAD/CAM-Systeme | 161 |
| 6.1.3 Einführung von CAD/CAM-Systemen | 162 |

| | |
|---|------------|
| 6.1.3.1 Stufen bei der Einführung von CAD/CAM-Systemen..... | 162 |
| 6.1.3.2 Anforderungen an ein CAD/CAM-System | 165 |
| 6.1.3.3 Implementierung | 166 |
| 6.2 Simulationstechnik bei rechnergestützter Fertigung..... | 166 |
| 6.2.1 Allgemeines zur NC-Simulation | 166 |
| 6.2.1.1 Vorteile durch den Einsatz von Simulationstechnik | 167 |
| 6.2.1.2 Funktionalitäten von NC-Simulationsprogrammen | 168 |
| 6.2.1.3 Einsatzgebiete von NC-Simulationsprogrammen | 168 |
| 6.2.1.4 Softwareüberblick | 169 |
| 6.2.2 NC-Programmprüfung..... | 169 |
| 6.2.3 Ablauf einer Maschinensimulation..... | 170 |
| 6.2.3.1 Aufbau des Maschinenmodells | 172 |
| 6.2.3.2 Aufbau des Steuerungsmodells | 173 |
| 6.2.3.3 Maschinensimulation mit Materialentfernung | 174 |
| 6.2.4 NC-Codeoptimierung | 174 |
| 6.2.4.1 Schruppbearbeitung | 175 |
| 6.2.4.2 Schlichtbearbeitung..... | 175 |
| 6.2.4.3 HSC-Bearbeitung..... | 175 |
| 6.3 Literatur zu Kapitel 6 | 177 |
| 7 Gestaltung und Management von Produktionsprozessen..... | 178 |
| 7.1 Allgemeines und Motivation..... | 178 |
| 7.2 Rechnerunterstützte Planung und Fertigung | 180 |
| 7.2.1 Prozessgestaltung | 180 |
| 7.2.2 Y-CIM-Modell nach Scheer | 181 |
| 7.2.3 Komponenten des Y-Modells..... | 183 |
| 7.2.4 Engineering Data Management Systeme und Product Data Management Systeme (EDM/PDM-Systeme)..... | 184 |
| 7.3 Flexible Fertigungssysteme | 184 |
| 7.4 Fertigungsleitsysteme | 187 |
| 7.4.1 Anforderungen an Fertigungsleitsysteme | 187 |
| 7.4.2 Direct Numerical Control (DNC) | 187 |
| 7.5 Aktuelle Themen, Trends..... | 188 |
| 7.5.1 Digitale Fabrik..... | 188 |
| 7.5.1.1 Ziele und Nutzen einer digitalen Fabrik..... | 189 |
| 7.5.1.2 Aufgaben und Ansatzpunkte einer digitalen Fabrik..... | 190 |
| 7.5.1.3 Anwendungsgebiete und Softwarewerkzeuge | 191 |
| 7.5.2 Lean Production | 192 |
| 7.5.3 Digital Mock Up (DMU)..... | 193 |
| 7.6 Literatur zu Kapitel 7 | 193 |
| 8 Qualitätsmanagement in der Fertigung..... | 195 |
| 8.1 Begriffserläuterungen | 195 |
| 8.1.1 Qualität | 196 |

| | |
|--|------------|
| 8.1.2 Qualitätsmanagement | 196 |
| 8.1.3 Aufgaben der Qualitätssicherung | 197 |
| 8.1.4 Bedeutung der Qualitätssicherung während der Produktentstehung | 198 |
| 8.1.5 Demingkreis | 199 |
| 8.1.6 Total Quality Management (TQM) | 201 |
| 8.2 Qualitätsmanagementmethoden | 202 |
| 8.2.1 Einsatz von Qualitätsmanagementmethoden | 202 |
| 8.2.2 Fehlerbaumanalyse (FTA) | 203 |
| 8.2.3 Fehlhandlungsvermeidung (Poka-Yoke) | 204 |
| 8.3 Qualitätssichernde Maßnahmen in der Fertigung | 204 |
| 8.3.1 Qualitätsprüfung | 205 |
| 8.3.2 Statistische Prozessregelung | 206 |
| 8.3.3 Fähigkeitsuntersuchungen | 206 |
| 8.3.4 Anlagenbetreuung, Instandhaltung | 209 |
| 8.4 Q7-Werkzeuge | 210 |
| 8.4.1 Fehlersammelliste | 211 |
| 8.4.2 Histogramm | 211 |
| 8.4.3 Qualitätsregelkarte | 212 |
| 8.4.4 Pareto-Diagramm | 213 |
| 8.4.5 Korrelationsdiagramm | 214 |
| 8.4.6 Brainstorming | 215 |
| 8.4.7 Ursache-Wirkungsdiagramm (Ishikawa-Diagramm) | 215 |
| 8.5 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) | 217 |
| 8.5.1 Arten der FMEA | 217 |
| 8.5.2 Durchführung der FMEA | 218 |
| 8.6 Quality Function Deployment (QFD) | 220 |
| 8.6.1 Begriffserläuterung Quality Function Deployment | 220 |
| 8.6.2 House of Quality (HoQ) | 220 |
| 8.6.3 Vor- und Nachteile von QFD | 221 |
| 8.7 Six-Sigma | 222 |
| 8.7.1 Allgemeines | 222 |
| 8.7.2 Statistische Interpretation | 223 |
| 8.7.3 Vor- und Nachteile von Six-Sigma | 223 |
| 8.7.4 Arten der Six-Sigma-Methode | 224 |
| 8.7.5 Konzeptioneller Rahmen für die DMAIC-Methode | 224 |
| 8.8 Rechnergestützte Qualitätssicherung (CAQ) | 225 |
| 8.9 Literatur zu Kapitel 8 | 227 |
| 9 Reverse Engineering und Rapid Prototyping | 229 |
| 9.1 Allgemeines zu Reverse Engineering | 229 |
| 9.1.1 Anwendungen von Reverse Engineering | 229 |
| 9.1.2 Historische Entwicklung | 231 |
| 9.2 Grundlegende Einteilung der Digitalisierungssysteme | 231 |
| 9.3 Taktile Messsysteme | 232 |

| | |
|--|------------|
| 9.3.1 Eigenschaften taktiler Verfahren..... | 232 |
| 9.3.2 Schaltende Tastsysteme..... | 233 |
| 9.3.3 Messende Tastsysteme | 234 |
| 9.3.4 Koordinatenmessgerät | 235 |
| 9.4 Optische Messsysteme..... | 235 |
| 9.4.1 Photoelektrische Kantenantastung..... | 235 |
| 9.4.2 Bildanalyse..... | 236 |
| 9.4.3 Lasertriangulation..... | 236 |
| 9.4.4 Lichtschnittverfahren..... | 237 |
| 9.4.5 Streifenprojektion..... | 238 |
| 9.4.6 Theodolite..... | 239 |
| 9.4.7 Photogrammetrie | 240 |
| 9.5 Flächenrückführung | 240 |
| 9.5.1 Triangulation der Punktwolke | 242 |
| 9.5.2 Polygonisierung..... | 243 |
| 9.6 Allgemeines zu Rapid Prototyping | 245 |
| 9.7 Physische Modellarten (Prototypen)..... | 245 |
| 9.8 Einteilung der generativen Verfahren..... | 246 |
| 9.9 Verfahrenskette..... | 247 |
| 9.10 Rapid Prototyping-Verfahren..... | 248 |
| 9.10.1 Stereolithographie (SL) | 248 |
| 9.10.2 Selektives Laser Sintern (SLS)..... | 249 |
| 9.10.3 Laminated Object Manufacturing (LOM, LLM)..... | 250 |
| 9.10.4 Fused Deposition Modelling (FDM) | 251 |
| 9.10.5 Solidier-Verfahren (Solid Ground Curing – SGC)..... | 251 |
| 9.10.6 3D-Drucken (Three Dimensional Printing – 3DP)..... | 252 |
| 9.10.7 Vergleich der Rapid Prototyping-Verfahren | 253 |
| 9.11 Rapid Manufacturing und Tooling..... | 253 |
| 9.12 Literatur Kapitel 9..... | 254 |
| Literatur..... | 255 |
| Sachverzeichnis..... | 260 |