

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>9</b>	2.2.3.1	Ständerbohrmaschinen .....	74
<b>1.1</b>	<b>Branchenportrait</b> .....	<b>9</b>	2.2.3.2	Mehrspindelbohrmaschinen .....	74
<b>1.2</b>	<b>Einteilung</b> .....	<b>10</b>	2.2.3.3	Tiefbohrmaschinen .....	75
<b>1.3</b>	<b>Entwicklungsphasen industrieller Technik</b> .....	<b>11</b>	2.2.4	Sägemaschinen .....	76
<b>1.4</b>	<b>Industrie 4.0</b> .....	<b>13</b>	2.2.4.1	Allgemeines .....	76
<b>1.5</b>	<b>Cyber-Physische Systeme (CPS)</b> .....	<b>14</b>	2.2.4.2	Bügelsägemaschinen .....	77
<b>2</b>	<b>Spanende Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>15</b>	2.2.4.3	Kreissägemaschinen .....	77
<b>2.1</b>	<b>Einteilung und Übersicht</b> .....	<b>15</b>	2.2.4.4	Sägezentren .....	77
2.1.1	Universelle Einzelmaschinen .....	15	2.2.4.5	Bandsägemaschinen .....	78
2.1.2	Mehrmaschinensysteme .....	16	2.2.4.6	Sondermaschinen .....	80
2.1.3	Unterscheidungsmerkmale .....	17	2.2.4.7	Gestelle und Bauformen .....	81
2.1.3.1	Kinematik der Vorschubbewegung ...	17	2.2.5	Verzahnungsmaschinen .....	82
2.1.4	Art und Anzahl der Achsen .....	19	2.2.5.1	Einführung .....	82
2.1.5	Parallele und serielle Kinematik .....	22	2.2.5.2	Weichbearbeitung .....	83
<b>2.2</b>	<b>Maschinenarten</b> .....	<b>23</b>	2.2.5.3	Hart-Feinbearbeitung .....	87
2.2.1	Drehmaschinen .....	23	2.2.6	Schleifmaschinen .....	88
2.2.1.1	Einführung .....	23	2.2.6.1	Übersicht .....	88
2.2.1.2	Einteilung und Benennungen .....	24	2.2.6.2	Schleifbearbeitungszentren .....	90
2.2.1.3	Universaldrehmaschinen (Werkstaddrehmaschine) .....	25	2.2.6.3	Flachschleifmaschinen .....	91
2.2.1.4	Modular konfigurierbare Dreh- Fräszentren .....	28	2.2.6.4	Rundschleifmaschinen .....	92
2.2.1.5	Vertikaldrehmaschine .....	29	2.2.6.5	Unrundschleifmaschinen .....	93
2.2.1.6	Drehautomat .....	30	2.2.6.6	Groß-Schleifmaschinen .....	94
2.2.1.7	Mehrspindeldrehautomat .....	32	2.2.7	Schleif- und Schärfmaschinen für Werkzeuge .....	96
2.2.1.8	Großdrehmaschinen .....	35	<b>2.3</b>	<b>Aggregate, Zubehör und Zusatzfunktionen</b> .....	<b>97</b>
2.2.1.9	Karussell-Drehmaschinen .....	36	2.3.1	Werkstückspannsysteme .....	97
2.2.1.10	Drehräummaschinen .....	37	2.3.1.1	Allgemeines .....	97
2.2.1.11	Ultrapräzisions-Drehmaschinen .....	37	2.3.1.2	Mechanisches Spannen .....	97
2.2.1.12	Werkstückaufnahmen .....	38	2.3.1.3	Mehrpunktspannen .....	98
2.2.2	Fräsmaschinen und Bearbeitungs- zentren .....	43	2.3.1.4	Modulare mechanische Spann- systeme .....	98
2.2.2.1	Einführung .....	43	2.3.1.5	Fluidische Spannsysteme .....	100
2.2.2.2	Serielle Kinematik .....	44	2.3.1.6	Vakuum-Spannsysteme .....	103
2.2.2.3	Parallelkinematik (PKM) .....	52	2.3.1.7	Magnetspanntechnik .....	104
2.2.2.4	Werkzeugmagazine und Werkzeug- wechsler .....	55	2.3.1.8	Gefrierspanntechnik .....	105
2.2.2.5	Werkstückhandhabung .....	60	2.3.1.9	Schwerlastspanntechnik .....	105
2.2.2.6	Mikrofräsmaschinen .....	65	2.3.2	Kühlschmierung .....	106
2.2.2.7	Werkzeugspannsysteme .....	66	2.3.2.1	Nassbearbeitung .....	106
2.2.2.8	Werkzeugaufnahmen .....	69	2.3.2.2	Minimalmengenschmierung Trockenbearbeitung .....	107
2.2.3	Bohrmaschinen .....	74	2.3.3	Späne- und Kühlschmiermittel- entsorgung .....	109
			2.3.3.1	Späneaustrag aus der Maschine .....	110
			2.3.3.2	Zentralanlagen zur Späne- entsorgung .....	111
			2.3.3.3	Kühlschmiermittel-Transport und Filterarten .....	112
			2.3.3.4	Gestaltungshinweise .....	114

2.3.4	Messen in der Maschine.....	115	2.5.5.2	Gesichtspunkte zur Gestaltung .....	199
2.3.4.1	Prüfen und Messen der Werkzeuge .	115	2.5.5.3	Kugelgewindetrieb (KGT) .....	204
2.3.4.2	Prüfen und Messen mit Messtaster.	117	2.5.5.4	Rollengewindetriebe (RGT) .....	212
<b>2.4</b>	<b>Mehrmaschinensysteme .....</b>	<b>120</b>	2.5.5.5	Zahnstange-Ritzel-Antrieb.....	214
2.4.1	Einzweckmehrmaschinensysteme .	121	2.5.5.6	Direktantrieb .....	217
2.4.1.1	Längstaktmaschinen .....	121	2.5.5.7	Kinematik mit Zusatzachsen.....	220
2.4.1.2	Rundtaktmaschinen .....	125	2.5.5.8	Gewichtsausgleich .....	225
2.4.2	Flexible Fertigungssysteme (FFS)...	127	2.5.5.9	Längenmesssysteme und Winkelmeßsysteme .....	226
2.4.2.1	Historische Entwicklungen .....	127	2.5.6	Zentralschmierung .....	230
2.4.2.2	Ersetzende und ergänzende Maschinen.....	128	2.5.7	Fundamentierung.....	231
2.4.2.3	Agile Fertigungssysteme.....	129	<b>2.6</b>	<b>Messungen an Werkzeug-</b> <b>maschinen .....</b>	<b>233</b>
<b>2.5</b>	<b>Konstruktion, Komponenten und Maschinenelemente .....</b>	<b>130</b>	2.6.1	Kraftmessung .....	233
2.5.1	Allgemeines.....	130	2.6.1.1	Messung statischer Kräfte .....	234
2.5.1.1	Maschinenkenngößen.....	130	2.6.1.2	Messung dynamischer Kräfte .....	234
2.5.1.2	Baugruppen .....	133	2.6.2	Verlagerungs- und Verformungs- messung .....	236
2.5.2	Gestelle und allgemeine Eigenschaften .....	134	2.6.3	Steifigkeits- und Nachgiebigkeits- messung .....	237
2.5.2.1	Werkstoffe.....	134	2.6.3.1	Messung statischer Steifigkeit .....	237
2.5.2.2	Maßhaltigkeit .....	139	2.6.3.2	Messung dynamischer Nach- giebigkeit .....	238
2.5.2.3	Statische Maschineneigenschaften..	141	2.6.4	Schwingungsmessung und Schwingungsdiagnose .....	241
2.5.2.4	Dynamische Maschineneigen- schaften.....	144	2.6.4.1	Signalerfassung und Signal- auswertung .....	241
2.5.2.5	Thermische Maschineneigen- schaften.....	148	2.6.4.2	Diagnose von Schwingungs- ursachen .....	242
2.5.3	Führungen .....	153	2.6.4.3	Rattermarkendiagnose .....	243
2.5.3.1	Allgemeine Anforderungen.....	153	2.6.5	Schwingungsformanalyse.....	244
2.5.3.2	Wälzführungen .....	155	2.6.6	Fundament- und Geschossdecken- messung .....	245
2.5.3.3	Hydrodynamische Führungen.....	161	2.6.6.1	Messungen an Fundamenten .....	245
2.5.3.4	Hydrostatische Führungen .....	164	2.6.6.2	Messungen an Geschossdecken.....	246
2.5.3.5	Aerostatische Führungen .....	167	2.6.6.3	Auswirkung von Boden- schwingungen .....	246
2.5.3.6	Magnetische Führungen.....	168	2.6.7	Dynamischer Spindelrundlauf .....	247
2.5.4	Hauptantriebe und Werkzeug- spindeln .....	169	2.6.8	Lang- und Kurzzeitmessung von Temperaturen .....	247
2.5.4.1	Allgemeines.....	169	2.6.9	Geräuschmessung und Geräusch- beurteilung .....	249
2.5.4.2	Der traditionelle Hauptantrieb .....	170	<b>2.7</b>	<b>Qualifizierung spanender Werkzeugmaschinen .....</b>	<b>251</b>
2.5.3.3	Getriebe .....	172	2.7.1	Einleitung und Übersicht.....	251
2.5.4.4	Einbaumotoren für Spindeln.....	176	2.7.2	Direkte Messungen der Maschineneigenschaften .....	252
2.5.4.5	Wälzlagerung.....	179	2.7.3	Abnahme- und Prüfwerkstücke.....	258
2.5.4.6	Hydrostatische Spindellagerung.....	186	2.7.4	Fähigkeitsuntersuchungen .....	262
2.5.4.7	Aerostatische Spindellagerung.....	187			
2.5.4.8	Magnetlager .....	188			
2.5.4.9	Motorspindeln.....	189			
2.5.4.10	Fremdgetriebene Spindeln und modulare Getriebespindeln .....	192			
2.5.5	Vorschubsysteme .....	193			
2.5.5.1	Überblick und allgemeine Anforderungen .....	193			

<b>3</b>	<b>Abtragende Werkzeugmaschinen ...</b>	<b>265</b>	<b>4.6</b>	<b>CNC-Stanzmaschinen .....</b>	<b>322</b>
<b>3.1</b>	<b>Funkenerosionsmaschinen (EDM) ..</b>	<b>265</b>	<b>4.7</b>	<b>CNC-Biegemaschinen .....</b>	<b>323</b>
3.1.1	Maschinen zum funkenerosiven Senken .....	265	4.7.1	CNC-Rohr- und Stangenbiege- maschine.....	323
3.1.2	Maschinen zum funkenerosiven Bohren.....	269	4.7.2	CNC-Gesenkbiegemaschinen.....	324
3.1.3	Maschinen zum funkenerosiven Schneiden .....	270	<b>4.8</b>	<b>Flexible Blechbearbeitungs- systeme.....</b>	<b>325</b>
<b>3.2</b>	<b>Elektrochemische Abtrag- maschinen (ECM) .....</b>	<b>271</b>	<b>5</b>	<b>Werkzeugmaschinen der Urformtechnik .....</b>	<b>326</b>
3.2.1	Maschinen zum elektrochemischen Senken .....	271	<b>5.1</b>	<b>Vorbemerkung.....</b>	<b>326</b>
3.2.2	Maschinen zum elektrochemischen Entgraten und/oder Polieren .....	272	<b>5.2</b>	<b>Druckgießmaschinen .....</b>	<b>327</b>
<b>3.3</b>	<b>Laserabtragmaschinen .....</b>	<b>273</b>	5.2.1	Warmkammer-Maschinen und Kaltkammer-Maschinen .....	327
<b>3.4</b>	<b>Wasserstrahlschneidanlagen .....</b>	<b>275</b>	5.2.2	Aufbau.....	329
<b>3.5</b>	<b>Ultraschallerosionsmaschinen.....</b>	<b>277</b>	5.2.3	Funktionsablauf.....	330
<b>4</b>	<b>Werkzeugmaschinen der Umformtechnik und Zerteiltechnik .....</b>	<b>278</b>	5.2.4	Vacural-Druckgießmaschine.....	331
<b>4.1</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>278</b>	5.2.5	Prozessparameter.....	331
4.1.1	Definition .....	278	5.2.6	Flexible Druckgießzelle .....	332
4.1.2	Geschichtliche Entwicklung und Bedeutung .....	279	<b>5.3</b>	<b>Werkzeugmaschinen für Kunststoffe.....</b>	<b>333</b>
<b>4.2</b>	<b>Einteilung .....</b>	<b>282</b>	5.3.1	Spritzgießmaschinen .....	333
<b>4.3</b>	<b>Baugruppen der Pressen .....</b>	<b>283</b>	5.3.1.1	Wirtschaftliche Bedeutung.....	333
4.3.1	Gliederung .....	283	5.3.1.2	Historische Entwicklung.....	333
4.3.2	Maschinengestelle .....	283	5.3.1.3	Wirkprinzip.....	334
4.3.3	Stößel und Pressentisch .....	286	5.3.1.4	Der Standard-Zyklusablauf .....	335
4.3.4	Führungen .....	286	5.3.1.5	Wichtige Maschinenelemente.....	336
4.3.5	Antriebe .....	289	5.3.1.6	Funktionseinheiten.....	339
<b>4.4</b>	<b>Kenngößen.....</b>	<b>292</b>	5.3.1.7	Prozessparameter.....	344
<b>4.5</b>	<b>Pressen.....</b>	<b>295</b>	5.3.1.8	Weitere Spritzgießverfahren .....	347
4.5.1	Weggebundene Pressen.....	295	5.3.2	Schaumgießmaschinen .....	350
4.5.1.1	Aufbau .....	295	5.3.2.1	Partikel-Schäumen .....	350
4.5.1.2	Getriebebauarten .....	297	5.3.2.2	Reaktions-Gießen.....	350
4.5.1.3	Verstelleinrichtungen .....	303	5.3.2.3	Harz-Injektions-Maschinen .....	351
4.5.2	Kraftgebundene Pressen .....	305	5.3.3	Blasform-Maschinen.....	352
4.5.3	Energiegebundene Umform- maschinen.....	308	5.3.4	Thermoform-Maschinen.....	353
4.5.3.1	Hämmer .....	308	<b>6</b>	<b>Industrieroboter .....</b>	<b>354</b>
4.5.3.2	Spindelpressen.....	311	<b>6.1</b>	<b>Roboter für Bearbeitungs- aufgaben .....</b>	<b>354</b>
4.5.3.3	Servopressen.....	313	<b>6.2</b>	<b>Der kinematische Aufbau .....</b>	<b>356</b>
4.5.5.4	Pressenperipherie .....	318	<b>6.3</b>	<b>Aufbau und Komponenten .....</b>	<b>359</b>
			6.3.1	Handachsen .....	359
			6.3.2	Reduziergetriebe .....	361
			6.3.3	Gewichtsausgleich .....	363

<b>6.4</b>	<b>Messungen und Qualifizierung</b> .....	<b>365</b>	7.5.2	Pulverzuführung .....	392
6.4.1	Übersicht und Allgemeines .....	365	7.5.3	Materialbevorratung .....	393
6.4.2	Pose-Genauigkeit und Pose-Wiederholgenauigkeit .....	366	7.5.4	Formbehälter .....	393
6.4.3	Lineargenauigkeit/Bahngenauigkeit .....	369	<b>7.6</b>	<b>Aufbau flüssigkeitsverarbeitender Systeme</b> .....	<b>394</b>
6.4.4	Formgenauigkeit/Ebenen-genauigkeit .....	370	<b>7.7</b>	<b>Aufbau laminierender Systeme</b> .....	<b>396</b>
6.4.5	Dynamisches Bewegungsverhalten .....	371	7.7.1	Materialversorgung .....	396
6.4.6	Positions-Stabilisierungszeit .....	372	7.7.2	Konturschneiden .....	396
6.4.7	Statische Nachgiebigkeit .....	373	7.7.3	Schichtverbinden .....	397
6.4.8	Weitere Merkmale .....	373	<b>7.8</b>	<b>Drucksysteme</b> .....	<b>398</b>
<b>6.5</b>	<b>Frequenzkenngrößen der Achsantriebe</b> .....	<b>374</b>	7.8.1	Allgemeines .....	398
<b>7</b>	<b>3D-Drucker/AM-Maschinen</b> .....	<b>375</b>	7.8.2	Druckverfahren .....	399
<b>7.1</b>	<b>Additive Manufacturing (AM), Übersicht</b> .....	<b>375</b>	7.8.3	Auflösung, Genauigkeit, Frequenz ..	402
7.1.1	Funktion additiver Fertigungsverfahren .....	375	7.8.4	Aufbau der Drucksysteme .....	403
7.1.2	Die Prozesskette .....	375	<b>7.9</b>	<b>Lasersysteme</b> .....	<b>404</b>
7.1.3	Auflösung und Genauigkeiten .....	376	<b>7.10</b>	<b>Maskensysteme</b> .....	<b>406</b>
<b>7.2</b>	<b>Einteilung der Schichtbauverfahren</b> .....	<b>377</b>	<b>7.11</b>	<b>Thermische Düsensysteme</b> .....	<b>407</b>
<b>7.3</b>	<b>Prozesse und Verfahren</b> .....	<b>379</b>	7.11.1	Extrusionsköpfe für drahtförmige Werkstoffe .....	407
7.3.1	Strahlschmelzen .....	379	7.11.2	Extrusionsköpfe für thermisch plastifizierte Werkstoffe .....	408
7.3.2	3D-Druckverfahren .....	380	7.11.3	Extrusionsköpfe für thermisch geschmolzen Metalle .....	408
7.3.3	Stereolithografie – SL .....	381	<b>7.12</b>	<b>Hybridsysteme</b> .....	<b>409</b>
7.3.4	Fused Layer Modeling – FLM .....	381	<b>8</b>	<b>Koordinatenmessmaschinen</b> .....	<b>410</b>
7.3.5	Layer Laminated Manufacturing – LLM .....	381	<b>8.1</b>	<b>Vergleich Koordinatenmessmaschine und Werkzeugmaschine</b> ..	<b>410</b>
<b>7.4</b>	<b>Aufbau additiver Produktionsanlagen</b> .....	<b>382</b>	<b>8.2</b>	<b>Übersicht zu Koordinatenmesssystemen</b> .....	<b>412</b>
7.4.1	X-Y-Bauebene .....	382	<b>8.3</b>	<b>Bauformen von Koordinatenmessmaschinen, Morphologie</b> .....	<b>413</b>
7.4.2	Z-Achse .....	384	8.3.1	Portalbauart .....	413
7.4.2.1	Z-Achse in konventionellen Systemen .....	384	8.3.2	Brückenbauart .....	415
7.4.2.2	Kastenloses Bauen .....	386	8.3.3	Ständerbauart oder Horizontalarmbauart .....	416
7.4.2.3	Continuous 3D-Printing .....	387	8.3.4	Auslegerbauart .....	417
7.4.2.4	Parallelkinematik .....	388	8.3.5	Weitere Bauarten .....	418
7.4.2.5	Portalanlagen – „Contour Crafting“ ..	389	<b>8.4</b>	<b>Werkstoffauswahl</b> .....	<b>419</b>
7.4.2.6	5-Achssysteme .....	389	<b>8.5</b>	<b>Technologie der Lagerungen</b> .....	<b>421</b>
7.4.3	Prozesskammer .....	390	<b>8.6</b>	<b>Antriebe</b> .....	<b>423</b>
7.4.4	Maschinengestell .....	390	<b>8.7</b>	<b>Messsysteme</b> .....	<b>425</b>
<b>7.5</b>	<b>Aufbau pulververarbeitender Systeme</b> .....	<b>391</b>	<b>8.8</b>	<b>Fehlerkorrekturen und Korrekturverfahren</b> .....	<b>426</b>
7.5.1	Beschichtungssysteme .....	391	<b>8.9</b>	<b>Fundamentierung, Messplatte und Werkstücklagerung</b> .....	<b>429</b>

<b>9</b>	<b>Hydraulik und Pneumatik .....</b>	<b>431</b>	10.2.2.4	Feininterpolation .....	465
<b>9.1</b>	<b>Hydraulik .....</b>	<b>431</b>	10.2.2.5	Achsregelung .....	465
9.1.1	Hydrostatik .....	431	10.2.3	Anwenderkoordinatensysteme .....	466
9.1.2	Hydrauliköl .....	432	10.2.4	Technologiesteuerung .....	467
9.1.3	Hydraulikstation .....	433	10.2.5	Roboterprogrammierung .....	469
9.1.4	Bauformen für Zylinder .....	434	10.2.6	Sicherheitssysteme .....	470
9.1.5	Ventile .....	434	10.2.7	Inbetriebnahme/Service .....	471
9.1.6	Speicher .....	435	<b>10.3</b>	<b>Antriebstechnik .....</b>	<b>472</b>
9.1.7	Schaltungen .....	436	10.3.1	Grundprinzip eines Umrichters .....	473
9.1.7.1	Elastizität der Komponenten .....	436	10.3.2	Vorschubmotoren .....	475
9.1.7.2	Primärsteuerung .....	436	10.3.2.1	Rotatorische Vorschubmotoren .....	475
9.1.7.3	Sekundärsteuerung .....	436	10.3.2.2	Direktantriebe .....	476
<b>9.2</b>	<b>Pneumatik .....</b>	<b>438</b>	10.3.3	Hauptantriebe .....	477
9.2.1	Drucklufterzeugung .....	438	10.3.4	Hilfsantriebe .....	479
9.2.2	Druckluftnetz .....	439	10.3.5	Energieeffizienz .....	479
9.2.3	Ventile .....	439	10.3.6	Antriebsauslegung .....	480
9.2.4	Aktoren .....	440	<b>11</b>	<b>Querschnittsaufgaben .....</b>	<b>482</b>
<b>10</b>	<b>Elektrische Steuerungen und Antriebe .....</b>	<b>442</b>	<b>11.1</b>	<b>Funktionale Sicherheitstechniken ..</b>	<b>482</b>
<b>10.1</b>	<b>CNC-Steuerungen .....</b>	<b>442</b>	11.1.1	Einführung .....	482
10.1.1	Grundprinzip und Schnittstellen .....	443	11.1.2	Risikoeinschätzung .....	483
10.1.2	NC-Kanäle, Betriebsartengruppen ..	445	11.1.3	Prinzip integrierter Sicherheitssysteme .....	484
10.1.3	Messsysteme .....	447	11.1.4	Ausführungsbeispiel „Safety Integrated“ .....	485
10.1.4	NC-Programmierung .....	449	<b>11.2</b>	<b>Europäische Sicherheitsnormen .....</b>	<b>486</b>
10.1.5	Funktionserweiterungen .....	450	<b>11.3</b>	<b>Dokumentation .....</b>	<b>487</b>
10.1.5.1	Werkzeugkorrektur .....	450	11.3.1	Allgemeines zur Dokumentation .....	487
10.1.5.2	Kompensationen .....	451	11.3.2	Anforderungen an die Dokumentation .....	487
10.1.5.3	Transformationen .....	452	11.3.3	Begleitende Dokumente einer .....	487
10.1.5.4	Elektronische Getriebe .....	453	11.3.4	Vielfältige Formen der Dokumentation .....	488
10.1.5.5	Werkzeugüberwachung .....	453	11.3.5	Applikationsunterstützung .....	489
10.1.5.6	Kollisionsüberwachung .....	454	11.3.5.3	Video-Tutorials .....	490
10.1.5.7	Virtuelle Maschine .....	454	11.3.6	Dokumentationserstellung .....	490
10.1.5.8	Offenheit im NC-Kern .....	454	<b>11.4</b>	<b>Diagnose, Teleservice .....</b>	<b>491</b>
10.1.6	Anpasssteuerung .....	455	11.4.1	Wartung .....	491
10.1.7	Kommunikationsschnittstellen .....	456	11.4.2	Diagnose .....	491
10.1.8	Hardwareausprägung .....	457	<b>11.5</b>	<b>Retrofit von Werkzeugmaschinen ...</b>	<b>494</b>
10.1.9	Softwarearchitektur .....	457	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>495</b>	
<b>10.2</b>	<b>Robotersteuerungen .....</b>	<b>458</b>	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>500</b>	
10.2.1	Historie .....	458	<b>Bildquellenverzeichnis .....</b>	<b>507</b>	
10.2.2	Grundlagen der Bewegungssteuerung .....	459			
10.2.2.1	Koordinatentransformationen und Berechnungen zur Kinetik .....	460			
10.2.2.2	Interpolation .....	462			
10.2.2.3	Achsverkopplung und Achsentkopplung .....	464			