

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b> . . . . .	1
Christian Brecher und Gritt Ott	
1 Problemstellung . . . . .	1
2 Ganzheitliche Problemlösestrategie . . . . .	4
2.1 Weiterentwicklung von Modellgrundlagen . . . . .	6
2.2 Gestaltungsintegrierte Kompensation . . . . .	9
2.3 Steuerungsintegrierte Korrektur . . . . .	9
2.4 Messtechnisch basierte Korrektur . . . . .	10
2.5 Bewertung . . . . .	11
3 Charakteristik der Versuchsanlagen . . . . .	11
Literatur . . . . .	16
 <b>Strukturmodelle von Werkzeugmaschinen</b> . . . . .	19
Holger Rudolph, Stefan Sauerzapf, Xaver Thiem, Andreas Naumann und Michael Beitelschmidt	
1 Einleitung . . . . .	19
2 Anwendungsszenarien und Anforderungen . . . . .	20
3 Theoretische Grundlagen . . . . .	21
3.1 Kontinuierliche Modelle in Raum und Zeit . . . . .	22
3.2 Konkretisierung zur Anwendung an Werkzeugmaschinen . . . . .	25
3.3 Gekoppeltes Zustandsraummodell . . . . .	25
4 Systemmodellierung . . . . .	28
4.1 Schnittstellenbasierte Modellierung . . . . .	28
4.2 Problemspezifische Modellimplementierung . . . . .	31
4.3 Vergleich der Modellierungsansätze . . . . .	34
5 Anwendungsbeispiel vereinfachte WZM . . . . .	37
6 Anwendungsbeispiel MAX . . . . .	39
7 Zusammenfassung . . . . .	43
Literatur . . . . .	44

<b>Effiziente Verhaltensanalyse von Strukturauteilen</b> . . . . .	47
Lars Penter und Steffen Schroeder	
1 Einführung. . . . .	47
2 Analysen des thermo-elastischen Verhaltens. . . . .	48
3 Modelle für die thermische Analyse . . . . .	49
3.1 FE-basiertes Modell für Strukturauteile. . . . .	50
3.2 Teilschritte zur FE-basierten Modellerstellung . . . . .	51
3.2.1 Vereinfachung der Geometrie. . . . .	52
3.2.2 Erstellung der Gleichungssysteme . . . . .	53
3.3 Automatisierung der Modellerstellung mit robustem Vernetzungswerkzeug. . . . .	55
3.4 Modularisierung durch offene Schnittstellen . . . . .	56
3.5 Verifikation der MOR-FEM Simulation. . . . .	58
4 Zusammenfassung . . . . .	59
Literatur. . . . .	59
<b>Untersuchung von Maschinenkomponenten</b> . . . . .	61
Stephan Neus, Alexander Steinert, Florian Kneer und Christian Brecher	
1 Maschinenkomponenten im Kontext der thermo-energetischen Wirkungskette . . . . .	61
1.1 Ausgangssituation. . . . .	61
1.2 Zielsetzung . . . . .	62
1.3 Methodischer Ansatz . . . . .	62
2 Modellierung des Komponentenverhaltens . . . . .	63
3 Untersuchung von Profilschienenführungen . . . . .	64
4 Untersuchung von Kugelgewindetrieben . . . . .	66
5 Anwendungsmöglichkeiten der Untersuchungsergebnisse . . . . .	69
Literatur. . . . .	70
<b>Fluidische Kühlung</b> . . . . .	71
Christoph Steiert, Juliane Weber und Jürgen Weber	
1 Einleitung . . . . .	71
2 Prozessaktuelles Simulationsmodell . . . . .	72
2.1 Modellierungskonzept . . . . .	72
2.2 Modell der Werkzeugmaschinenkühlung . . . . .	77
2.3 Modellvalidierung . . . . .	81
2.4 Integration in das Gesamtmaschinenmodell. . . . .	83
3 Einsatzmöglichkeiten des Kühlungssystemmodells . . . . .	85
4 Zusammenfassung . . . . .	85
Literatur. . . . .	86
<b>Prozessmodellierung des Frä- und Schleifprozesses</b> . . . . .	87
Marc Bredthauer, Hui Liu, Patrick Mattfeld, Thomas Bergs, Sebastian Barth, Markus Meurer, Christian Wrobel und Thorsten Augspurger	
1 Einleitung . . . . .	87
2 Prozessmodellierung von Temperaturen und Wärmeströmen im Fräspannprozess . . . . .	88

2.1	Empirische Untersuchungen zur Bestimmung von Temperaturen und Wärmeströmen im Fräsvorgang . . . . .	89
2.2	Modellierung von Wärmeströmen und Temperaturfeldern . . . . .	90
3	Prozessmodellierung des Schleifprozesses . . . . .	94
3.1	Modellierung der Wärmequelle . . . . .	94
3.1.1	Empirische Untersuchungen zur Bestimmung der Wärmequelle im Schleifprozess . . . . .	94
3.1.2	Modellierung der Wärmequelle im Schleifprozess . . . . .	96
3.2	Modellierung der Wärmestromaufteilung . . . . .	97
3.2.1	Konzept zur empirischen Untersuchung der Wärmestromaufteilung . . . . .	97
3.2.2	Empirisch-analytische Modellierung der Wärmestromaufteilung . . . . .	98
3.2.3	Ausblick auf die Modellierung der verschleißbedingten Schleifscheibentopographieänderung . . . . .	100
4	Zusammenfassung . . . . .	102
	Literatur . . . . .	103
	<b>Der Elektroantrieb als thermo-energetische Blackbox . . . . .</b>	105
	Stefan Winkler und Ralf Werner	
1	Einführung . . . . .	105
2	Grundlagen des Motormodells . . . . .	106
3	Parametrierung des Motormodells . . . . .	107
3.1	Motorabmessungen . . . . .	107
3.2	Materialkennwerte . . . . .	110
3.3	Verlustverteilung . . . . .	111
3.4	Vergleich von Simulation und Messung . . . . .	112
4	Zusammenfassung . . . . .	114
	Literatur . . . . .	115
	<b>Modellierung von Kühlschmierstoffwirkung im Zerspanprozess . . . . .</b>	117
	Marc Bredthauer, Hui Liu, Thorsten Helmig, Lukas Topinka, Steffen Brier, Joachim Regel, Patrick Mattfeld, Thomas Bergs, Sebastian Barth, Markus Meurer und Reinhold Kneer	
1	Einleitung . . . . .	118
2	Prozessmodellierung unter Berücksichtigung des Kühlschmierstoffeffekts . . . . .	119
2.1	Versuchsanordnung . . . . .	119
2.2	Spanbildungssimulation unter Berücksichtigung der Kühlschmierstoffwirkung . . . . .	121
3	Thermische Modellierung der Kühlschmierstoffströmung in der Zerpanzone . . . . .	123
3.1	Generierung des Rechengitters und Modellannahmen . . . . .	124
3.2	Exemplarische Ergebnisse der Strömungssimulation . . . . .	125
4	Modellierung des Wärmeflusses in den Werkzeughalter . . . . .	126

4.1	Simulationsmodellbeschreibung . . . . .	127
4.2	Kühlmittelströmung um das Werkzeug . . . . .	128
5	Zusammenfassung . . . . .	129
	Literatur . . . . .	129
	<b>Thermische Modellierung von Verbindungsstellen . . . . .</b>	<b>131</b>
	Thorsten Helmig, Faruk Al-Sibai und Reinhold Kneer	
1	Einleitung . . . . .	131
2	Grundlagenphänomene . . . . .	132
3	Analytisch-theoretische Beschreibung der Kontaktwärmeübergänge . . . . .	132
4	Experimentelle Bestimmung von Kontaktwärmeübergangskoeffizienten . . . . .	134
5	Numerische Bestimmung von Kontaktwärmeübergangskoeffizienten . . . . .	136
6	Vorstellung exemplarischer Ergebnisse und Diskussion . . . . .	138
6.1	Einfluss von Rauheit und Oberflächenausrichtung . . . . .	138
6.2	Einfluss von Zwischenmedien . . . . .	140
6.3	Einfluss von makroskopischer Krümmung . . . . .	141
7	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	142
	Literatur . . . . .	143
	<b>Modellierung von Umgebungseinflüssen . . . . .</b>	<b>145</b>
	Tharun Suresh Kumar, Christian Naumann, Alexander Geist und Janine Gläzel	
1	Einleitung . . . . .	145
2	Parametrierung von Umwelteinflüssen . . . . .	146
2.1	Problembeschreibung . . . . .	146
2.2	Entkopplungsansatz bei der Parametrierung . . . . .	146
2.2.1	Vorgehensweise bei der Entkopplung . . . . .	147
2.2.2	Optimale Clusterung mit genetischem Algorithmus . . . . .	148
2.3	Validierung des Entkopplungsansatzes anhand gekoppelter Simulationen . . . . .	150
2.4	Parallelisierung bei der Automatisierung der Entkopplung . . . . .	151
2.5	Experimentelle Validierung des Entkopplungsansatzes . . . . .	153
3	Lastfallunabhängige Clusterung der Wärmeübergangskoeffizienten . . . . .	156
4	Modifizierter Entkopplungsansatz für interne und externe Umgebungseinflüssen . . . . .	158
4.1	Abbildung von internen und externen Umwelteinflüssen mithilfe künstlicher neuronaler Netze . . . . .	160
4.2	Trainingsdatenmodell . . . . .	161
4.3	Validierung des CFD-Simulationsmodells (interne Umgebung) . . . . .	162
4.3.1	Validierung mit Thermografiekamera . . . . .	164
4.3.2	Validierung mit berührenden Temperatursensoren . . . . .	166
4.3.3	Validierung der KNN-basierten Entkopplung mit experimentellen Messwerten . . . . .	167
5	Zusammenfassung . . . . .	169
	Literatur . . . . .	171

<b>Aufwandsarmer Abgleich parametrischer Maschinenmodelle:</b>	
<b>Parameterabgleich im Betrieb</b> . . . . .	173
Hajo Wiemer, Manfred Benesch und Jens Müller	
1 Einführung . . . . .	173
2 Abstrakte Maschinenmodellbeschreibung . . . . .	174
3 Strukturiertes Vorgehensmodell . . . . .	176
4 Parameterabgleich während der Inbetriebnahme und im Betrieb von WZM . . . . .	185
5 Zusammenfassung . . . . .	187
Literatur . . . . .	187
<b>Datenassimilation und optimale Sensorplatzierung</b> . . . . .	189
Andreas Naumann, Ilka Riedel und Roland Herzog	
1 Einleitung . . . . .	189
2 Datenassimilation . . . . .	190
3 Optimale Sensorplatzierung . . . . .	193
4 Zusammenfassung . . . . .	196
Literatur . . . . .	197
<b>Rechenzeitsparende Modellierung</b> . . . . .	199
Julia Vettermann, Quirin Aumann, Jens Saak und Peter Benner	
1 Einleitung . . . . .	199
2 Grundlagen . . . . .	200
3 MOR für Netzwerkmodelle . . . . .	203
3.1 Behandlung gekoppelter thermo-elastischer Modelle . . . . .	206
3.2 Berücksichtigung inhomogener Anfangsbedingungen . . . . .	207
3.3 Strategien der MOR für relativ bewegte Baugruppen . . . . .	207
4 Praktische Hinweise zur Auswahl geeigneter MOR-Strategien . . . . .	208
5 Zusammenfassung . . . . .	210
Literatur . . . . .	210
<b>Sicherheitsmechanismen des Cloud-Computings zur Verwendung in Korrekturverfahren</b> . . . . .	213
Robert Krahn und Christof Fetzer	
1 Einleitung . . . . .	213
2 Grundlegende Begriffe . . . . .	214
2.1 Verteiltes Rechnen . . . . .	214
2.2 Virtualisierung mittels Container . . . . .	214
2.3 On-Premise/Off-Premise . . . . .	215
2.4 Verschlüsselung . . . . .	216
3 Confidential Computing . . . . .	216
3.1 Schutz von Software . . . . .	217
3.2 Trusted Execution Environment (TEE) . . . . .	218
3.2.1 TEE von Intel . . . . .	219
3.3 Attestierung von Software . . . . .	220
3.4 Gesichertes Ausführen von Software mit SCONE . . . . .	221

3.5	Verwaltung vertraulicher Daten mit Palaemon.....	223
3.5.1	Verwaltung von Geheimnissen .....	224
3.5.2	Geheimhaltung, Datenintegrität und Datenfrische .....	224
3.6	Leistungsanalyse in verschiedenen Umgebungen .....	225
4	Sicheres und Automatisiertes Starten von Verteilten Anwendungen.....	227
4.1	Deployment mit Kubernetes und SCONE .....	228
4.2	Verwendung existierender Helm-Charts zum Deployment sicherer Anwendungen .....	229
5	Anwendungsbeispiel .....	230
6	Zusammenfassung .....	231
	Literatur.....	232

## **Effiziente transiente thermo-elastische Simulation von Werkzeugmaschinen .....**

Andreas Naumann	235	
1	Einleitung .....	235
2	Thermo-mechanisches Modell einer WZM.....	237
3	Effiziente Zeitintegration.....	239
3.1	Defect corrected averaging (DCA).....	240
3.2	Parallele Zeitintegrationsverfahren (PARAeXP) .....	241
3.3	Laufzeitvergleiche .....	242
4	Zusammenfassung.....	243
	Literatur.....	244

## **Energieeffiziente Systeme zur aktiven Steuerung von Wärmeffüssen ..**

Immanuel Voigt und Welf-Guntram Drossel	245	
1	Einleitung .....	245
2	Zeitliche Beeinflussung von Wärmeströmen.....	246
2.1	Latentwärmespeicherung .....	246
2.2	Anwendung in Vorschubachsen .....	248
2.2.1	Szenario Lineardirektantrieb .....	248
2.2.2	Szenario Kugelgewindetrieb.....	249
2.3	Thermische Schalter .....	249
3	Örtliche Beeinflussung von Wärmeströmen .....	251
3.1	Funktionsweise von Heatpipes .....	251
3.2	Charakterisierung von Heatpipes .....	252
3.3	Einsatz von Kühlkörpern .....	253
4	Kombination der Einzelkomponenten zu Kompensationsnetzwerken ..	254
4.1	Auslegung mittels gemischt-dimensionaler FE-Modellierung.....	255
4.2	Exemplarisches Kompensationsszenario .....	257
4.3	Richtlinien für die Integration von Kompensationskomponenten in Werkzeugmaschinen .....	258
5	Zusammenfassung.....	259
	Literatur.....	260

<b>Kompensationslösung fluidische Kühlung .....</b>	263
Juliane Weber, Christoph Steiert und Jürgen Weber	
1 Einleitung .....	263
2 Kühlssysteme in Werkzeugmaschinen .....	265
2.1 Stand der Technik .....	265
2.2 Kühlssystemstrukturen.....	265
2.2.1 Ableitung regelbarer Kühlssystemstrukturen.....	266
2.2.2 Regelungskonzepte für die vorgeschlagenen Kühlssystemstrukturen.....	267
2.2.3 Volumenstromregelung.....	268
2.2.4 Temperaturregelung .....	269
2.3 Bewertung der Kühlstrukturen .....	270
3 Komponentenoptimierung am Beispiel der Kühlhülse einer Motorspindel .....	271
3.1 Konstruktionstechnische Details .....	271
3.1.1 Konstruktiver Aufbau von Motorspindeln .....	271
3.1.2 Experimenteller Versuchsaufbau zur Untersuchung von Statorkühlhülsen .....	272
3.2 Modellbildung und Simulation.....	273
3.2.1 Grundlegende Betrachtungen .....	273
3.2.2 Berücksichtigung temperaturabhängiger Werkstoffeigenschaften.....	275
3.2.3 Hochauflösende Simulation mithilfe numerischer Strömungsmechanik .....	276
3.2.4 Schnelle Berechnung mithilfe abstrahierter Netzwerkmodelle .....	279
3.3 Optimierung des thermo-energetischen Verhaltens .....	281
4 Zusammenfassung.....	285
Literatur.....	286
<b>Optimierte Temperierung von Maschinengestellen für unsymmetrische Lasteinträge .....</b>	289
Christoph Steiert, Juliane Weber, Arvid Hellmich, Alexander Geist, Sarah Mater, Janine Glänsel, Jürgen Weber und Steffen Ihlenfeldt	
1 Einführung.....	289
2 Methodik zur thermischen und energetischen Optimierung von Maschinengestellen.....	290
2.1 Parametrisches Simulationsmodell.....	290
2.2 Anwendung der Methodik zur Optimierung eines Maschinengestells aus Mineralbeton .....	295
3 Umsetzung der Temperaturregelung .....	301
3.1 Entwicklung von geeigneten Regelungsstrategien .....	301
3.2 Vergleichsmessung und Ergebnisbeurteilung.....	301
4 Zusammenfassung.....	302
Literatur.....	302

<b>Eigenschaftsmodellbasierte Korrektur . . . . .</b>	305
Robert Spierling, Mathias Dehn, Franziska Plum und Christian Brecher	
1 Einleitung . . . . .	305
2 Grundlagen der eigenschaftsmodellbasierten Korrektur . . . . .	307
3 Anwendung der Korrektur . . . . .	309
3.1 Korrektur einer Drehachse . . . . .	310
3.2 Korrektur einer 3-Achs Kinematik . . . . .	312
4 Zusammenfassung . . . . .	313
Literatur . . . . .	314
<b>Strukturmodellbasierte Korrektur . . . . .</b>	315
Jens Müller, Xaver Thiem und Steffen Ihlenfeldt	
1 Einleitung . . . . .	315
2 Grundlagen . . . . .	316
2.1 Strukturmodell als Abbildung der Wirkungskette . . . . .	316
2.2 Anforderungen an die Umsetzung . . . . .	317
3 Lösung . . . . .	318
3.1 Echtzeitbereiche und modularisierter Korrekturansatz . . . . .	318
3.2 Eingangsdatenverarbeitung . . . . .	319
3.3 Strukturmodelle für die Korrektur . . . . .	321
3.4 Volumetrische Korrektur . . . . .	323
4 Untersuchung der Varianten für volumetrische Korrektur am Beispiel . . . . .	328
4.1 Kinematisches Modell . . . . .	329
4.2 Abschätzung der Korrekturgenauigkeit . . . . .	329
5 Umsetzung der Korrektur für Hexapoden . . . . .	332
5.1 Steuerungsanbindung . . . . .	332
5.2 Strukturmodell . . . . .	333
5.3 Validierung . . . . .	335
5.3.1 Versuchsaufbau . . . . .	335
5.3.2 Versuchsdurchführung . . . . .	335
5.3.3 Ergebnisse . . . . .	337
6 Zusammenfassung . . . . .	338
Literatur . . . . .	338
<b>Kennfeldbasierte Korrektur . . . . .</b>	341
Christian Naumann, Martin Naumann, Alexander Geist, Tharun Suresh Kumar und Janine Gläzel	
1 Einleitung . . . . .	341
2 Erstellung der KennfeldKorrektur . . . . .	342
2.1 Kennfelder und Korrekturprinzip . . . . .	342
2.2 Wahl der Eingangsvariablen . . . . .	343
2.3 Kennfeldberechnung . . . . .	344
2.4 Kennfeld-Validierung und -Optimierung . . . . .	348
3 Steuerungsintegration . . . . .	349
4 Praxisbeispiel DMU 80 eVo . . . . .	351
5 Korrektur von Umgebungsschwankungen . . . . .	357

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>6 Lastfallspezifische Kennfeld-Updates . . . . .</b>	<b>357</b>
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>358</b>
<b>Thermische Vorsteuerung . . . . .</b>	<b>361</b>
Eric Wenkler und Steffen Ihlenfeldt	
1 Einleitung . . . . .	361
2 Bearbeitungsspezifische Verlustprognose . . . . .	362
2.1 Interpretation der Bearbeitungsaufgabe mittels einer virtuellen Steuerung . . . . .	362
2.2 Applikation von Verlustmodellen . . . . .	363
2.2.1 Lagerverluste . . . . .	364
2.2.2 Kugelgewindetriebverlust . . . . .	365
2.2.3 Motorverlust . . . . .	365
2.3 Prototypische Implementierung der bearbeitungsspezifischen Verlustprognose . . . . .	366
2.4 Exemplarische Anwendung: Applikation und Analyse prognostizierter Verluste für eine realistische Bearbeitung . . . . .	367
2.4.1 Exemplarische Anwendung: Applikation der Verlustprognose in der Planungsphase zur Reduktion thermischer Änderungen . . . . .	369
3 Aufgabenspezifische Prognose des thermischen Maschinenverhaltens . . . . .	371
3.1 FE-Modellerstellung . . . . .	372
3.2 Parameterabgleich . . . . .	373
3.3 Bearbeitungsspezifische thermische Prognose . . . . .	377
3.3.1 Verlusttransformation . . . . .	380
3.3.2 Exemplarische Applikation und Vergleich von Messung und Simulation . . . . .	381
4 Bedarfsgerechte Temperierung am Beispiel des Maschinenbettes . . . . .	383
4.1 Bestimmung der Zieltemperaturen . . . . .	385
4.2 Applikation: Dauerkühlung und bedarfsgerechte Kühlung . . . . .	386
4.3 Vergleich: Dauerkühlung und bedarfsgerechte Kühlung . . . . .	387
5 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	391
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>392</b>
<b>Effiziente Parametrierung von Korrekturmodellen . . . . .</b>	<b>395</b>
Stephan Neus, Alexander Steinert, Robert Spierling und Christian Brecher	
1 Einleitung . . . . .	395
1.1 Ausgangslage . . . . .	395
1.2 Lösungsansatz . . . . .	396
2 Aufbau eines Korrekturmodells . . . . .	397
2.1 Modellierung von Spindelsystemen . . . . .	397
2.2 Modellbasierte Parametrierung von Spindelkorrekturmodellen . . . . .	399
2.3 Empirische Parametrierung von Korrekturmodellen für Linearachsen . . . . .	402
2.4 Synthese der Korrekturmodelle . . . . .	404

3 Bewertung .....	405
Literatur.....	407
<b>Online-Korrektur thermisch bedingter Verformungen mithilfe von integralen Verformungssensoren .....</b>	<b>409</b>
Nico Bertaggia, Filippos Tzanatos, Daniel Zontar und Christian Brecher	
1 Einleitung .....	409
2 Lösungsansatz .....	412
2.1 Konstruktion der IDS .....	412
2.2 Messprinzip der IDS.....	415
2.3 Datenvorverarbeitung zur Trennung mechanisch bedingter von thermischen Verformungen .....	417
2.4 Mechanisches Übertragungsmodell .....	418
2.5 Anwendung für eine ONLINE-Korrekturwert-Aufschaltung .....	423
2.6 Optimale IDS-Platzierung .....	425
3 Vorstellung exemplarischer Ergebnisse und Diskussion.....	426
4 Zusammenfassung.....	426
Literatur.....	427
<b>Photogrammetrisches Messmodell zur Erfassung thermisch bedingter Fehler an WZM .....</b>	<b>429</b>
Jens Müller, Jessica Deutsch und Siddharth Murali	
1 Kontext .....	429
2 Konzept Photogrammetrie.....	430
2.1 Klassische Photogrammetrie .....	430
2.2 Erweitertes Photogrammetrisches Messmodell .....	431
2.2.1 Parametrierbare Objekte .....	432
2.2.2 Abbildung der Kinematischen Kette.....	433
3 Versuchsaufbau und Durchführung am Demonstrator MAX .....	433
3.1 Versuchsaufbau.....	433
3.2 Versuchsplanung.....	434
4 Ergebnisse – Geometrisch-kinematische Fehler .....	434
5 Ergebnisse – Thermischer Fehler am Demonstrator MAX.....	436
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	437
Literatur.....	437
<b>Korrektur der thermischen Verlagerung rotierender Werkzeuge unter dem Einfluss verschiedener Kühlstrategien.....</b>	<b>439</b>
Steffen Brier, Lukas Topinka und Joachim Regel	
1 Einleitung .....	439
2 Kühlungsprinzipien .....	440
2.1 Aufbau des experimentellen Versuchsstandes für die Werkzeugerwärmung .....	440
2.2 Luftkühlung .....	441
2.2.1 Numerische Simulation der Luftkühlung .....	442
2.2.2 Kühlwirkung der Luftkühlung .....	442

2.3	Vollstrahlkühlung .....	444
2.3.1	Numerische Simulation der Vollstrahlkühlung .....	444
2.3.2	Kühlwirkung der Vollstrahlkühlung .....	445
3	Kennfelderstellung .....	446
4	Zusammenfassung und Ausblick .....	448
	Literatur .....	449
	<b>Demonstrator Motorspindel .....</b>	<b>451</b>
	Stephan Neus, Alexander Steinert und Christian Brecher	
1	Problemstellung .....	451
2	Einleitung .....	451
2.1	Ausgangslage .....	451
2.2	Lösungsansatz .....	452
3	Aufbau des thermischen Solvers .....	452
4	Modellierung thermischer Randbedingungen .....	454
4.1	Hintergrund .....	454
4.2	Reibverluste in Spindellagern .....	455
4.3	Motorverluste .....	458
4.4	Aktive Kühlsysteme .....	460
4.5	Festkörperkontakte .....	462
4.6	Konvektion und Strahlung .....	463
4.7	Zusammenfassung .....	463
5	White-Box-Modelle im prozessparallelen Einsatz .....	464
5.1	Berechnungsablauf .....	464
5.2	Prüfstand .....	465
5.3	Validierung .....	466
5.4	Zusammenfassung .....	468
	Literatur .....	468
	<b>Bewertungsmethodik .....</b>	<b>471</b>
	Hajo Wiemer, Axel Fickert und Carola Gißke	
1	Einführung/Motivation .....	471
2	Bewertungsmetrik .....	472
2.1	Analyse der Lösungsverfahren .....	473
3	Kriterium Lösungsumsetzungsgrad .....	474
3.1	Ermittlung des Nutzens der Lösungen .....	475
3.1.1	Messung der Effektivität der Lösungsverfahren .....	475
3.1.2	Untersuchungsszenarien .....	477
3.2	Auswertung .....	478
4	Vergleichende Bewertung .....	481
4.1	Kriterienausprägung .....	481
4.2	Festlegung der Kriteriengewichte .....	481
4.3	Aggregation der ermittelten Werte .....	482
5	Zusammenfassung .....	485
	Literatur .....	486

<b>Anwendungsbeispiel DMU 80 eVo.....</b>	<b>489</b>
Christian Naumann, Alexander Geist, Tharun Suresh Kumar, Juliane Weber, Christoph Steiert, Immanuel Voigt, Franziska Plum, Xaver Thiem, Nico Bertaggia, Janine Glänsel, Jürgen Weber, Daniel Zontar, Christian Brecher und Steffen Ihlenfeldt	
1 Einleitung .....	489
2 Iststand-Analyse des thermischen Verhaltes .....	493
2.1 Messtechnische Analyse.....	493
2.2 Simulative Analyse.....	500
2.3 Optimierungsziele der Korrektur/Kompensation .....	502
3 Methodenauswahl für die Optimierung.....	504
3.1 Kompensationsmethoden .....	505
3.1.1 Optimierung der Kühlsysteme am Beispiel der DMU 80 eVo.....	505
3.1.2 Einsatz thermischer Tilger und Heatpipes an der DMU 80 eVo .....	506
3.2 Korrekturverfahren .....	508
3.2.1 Kennfeldbasierte Korrektur .....	508
3.2.2 Eigenschaftsmodellbasierte Korrektur .....	509
3.2.3 Strukturmodellbasierte Korrektur.....	510
3.2.4 Messtechnikbasierte Korrektur.....	512
3.3 Bewertungsmatrix und finale Methodenauswahl .....	513
4 Beispielhafte Implementierung von Maßnahmen .....	515
5 Bewertung der Optimierung .....	517
6 Zusammenfassung.....	518
Literatur.....	519
<b>SFB/TR 96 Thermo-energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen – Eine systemische Lösung des Zielkonflikts von Energieeinsatz, Genauigkeit und Produktivität am Beispiel der spanenden Fertigung .....</b>	<b>519</b>