

**Entwicklung eines lernfähigen Systems zur Beobachtung
des Werkzeugverschleißes beim Drehen**

Von der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Heiko Behrend

aus Hamburg

Eingereicht am:	24. März 1995
Mündliche Prüfung am:	4. August 1995
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. E. Westkämper
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. R. Kruse

1996

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
1.1. Begriffsbestimmung	4
1.2. Stand der Entwicklung beim Drehen	6
1.3. Wirtschaftliche Perspektiven der automatischen Zerspanprozeßführung	9
2. Verfahren zur Prozeßbeobachtung für die optimierte Prozeßführung	11
2.1. Signalgestützte Verfahren zur Prozeßbeobachtung	11
2.2. Modellgestützte Verfahren zur Prozeßbeobachtung	14
2.3. Weiterverarbeitung und Bewertung signal- oder modellgestützt ermittelter Parameter	18
3. Konzeption eines lernfähigen Systems zur Beobachtung des Werkzeugverschleißes beim Drehen	19
3.1. Der Drehprozeß und seine Kenngrößen	20
3.1.1. Fertigungsverfahren Drehen	20
3.1.2. Größen des Drehprozesses	21
3.1.3. Werkzeugverschleiß beim Drehen	23
3.1.4. Weitere Störgrößen beim Drehen	26
3.1.5. Qualitätsmerkmale des Drehprozesses	28
3.2. Zielgrößen der Drehprozeßbeobachtung	29
3.3. Verfügbare Sensoren zur Verschleißbeobachtung beim Drehen	30
3.3.1. Kraft	32
3.3.2. Motorstrom	33
3.3.3. Schwingungen	33
3.3.4. Körperschall	34
3.4. Bekannte Wirkzusammenhänge zwischen Werkzeugverschleiß und Meßgrößen	35
3.4.1. Einfluß des Werkzeugverschleißes auf Kraft- und Körperschallsignale	36
3.4.2. Betrachtung weiterer Prozeßgrößen	39

3.4.3. Einflußgrößen auf die Signalinterpretation	41
3.4.4. Modelle zur sensorgestützten Verschleißbeobachtung beim Drehen	41
3.5. Konzeption der lernenden Modellierung	43
3.6. Funktions- und Systemkonzept der lernfähigen Prozeßbeobachtung	45
4. Entwicklung einer Methodik zur lernenden Modellierung auf der Basis von künstlichen neuronalen Netzen	49
4.1. Künstliche neuronale Netze	51
4.1.1. Das natürliche Vorbild	51
4.1.2. Aufbau und Eigenschaften künstlicher neuronaler Netze	52
4.2. Lösungskonzept der lernenden Modellierung	56
4.2.1. Signalverarbeitung und Identifikation	56
4.2.2. Multi-Sensor-Multi-Modell-Systeme	57
4.2.3. Auswahl des geeigneten Lernverfahrens	58
4.2.4. Ablauf der lernenden Modellierung	61
4.3. Lernende Modellierung mit Backpropagation-Netzwerken	62
4.3.1. Aufbau von Backpropagation-Netzen	63
4.3.2. Backpropagation-Lernverfahren	67
4.3.3. Funktionsmodellierung mit Backpropagation-Netzen	68
4.4. Einsatz verbesserter Lernverfahren zur Optimierung der lernenden Modellierung	69
4.4.1. Probleme des Backpropagation-Algorithmus	70
4.4.2. Modifikation des Backpropagation-Algorithmus	72
4.4.2.1. Der Quickprop Algorithmus	72
4.4.2.2. Individuelle Adaption der Lernrate	73
4.4.3. Vergleich der vorgestellten Verfahren	74
5. Systemtechnische Realisierung eines lernenden Prozeßbeobachters	76
5.1. Hardwarekonzept	78
5.1.1. Prozeßnaher Einsatz eines Parallelrechners auf Transputerbasis	78
5.1.2. Hardware des Entwicklungssystems	80
5.2. Softwarekonzept	82

5.3. Implementierung	85
5.3.1. Signalvorverarbeitung und Merkmalsextraktion	85
5.3.2. Implementation des künstlichen neuronalen Netzes	86
5.3.3. Handhabung der Verarbeitungsmodule	88
5.3.4. Realisierung des inkrementellen Lernens mit Hilfe eines Prozeßdatenspeichers	90
5.4. Wirkung und Nutzen der Parallelisierung	92
5.5. Applikation des Beobachters an die Drehmaschine	100
6. Beispiel für den Einsatz des lernenden Prozeßbeobachters beim Drehen.....	103
6.1. Aufbau an der Drehmaschine	103
6.1.1. Sensorik und Sensorapplikation	104
6.2. Analyse und Konfiguration der Signalvorverarbeitung und Merkmalsextraktion	106
6.3. Beobachtung eines Drehprozesses.....	116
6.4. Einfluß und Kompensation von Streuungen.....	121
6.5. Möglichkeiten der Weiterverarbeitung des beobachteten Werkzeugverschleißes.....	123
6.6. Anwendung der lernenden Modellierung zur Reststandzeitprognose	124
6.7. Fazit der Untersuchung	127
7. Zusammenfassung und Ausblick	129
8. Literatur.....	131
9. Anhang.....	145
9.1. Methoden zur Signalanalyse.....	145
9.2. Gliederung Modelle	150