

Dipl.-Ing. Birgit Köppen-Seliger, M.S.E.E.,  
Duisburg

# **Fehlerdiagnose mit künstlichen neuronalen Netzen**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Nr. **632**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>III</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation der Arbeit . . . . .	1
1.2 Stand der Forschung . . . . .	3
1.3 Ziel der Arbeit . . . . .	5
1.4 Gliederung der Arbeit . . . . .	5
<b>2 Problemformulierung und Definitionen</b>	<b>7</b>
2.1 Systembeschreibung . . . . .	7
2.2 Fehlerdetektion und -isolierung . . . . .	8
2.3 Überblick über gängige Methoden der Residuengenerierung . . . . .	9
2.4 Residuengeneratorschemen . . . . .	14
2.5 Überblick über gängige Methoden der Residuenauswertung . . . . .	15
2.6 Problematik der Residuenauswertung . . . . .	17
2.7 Definitionen für die Fehlerdetektion und -isolierung . . . . .	20
<b>3 Grundlagen der künstlichen neuronalen Netze</b>	<b>25</b>
3.1 Einführung und historische Entwicklung . . . . .	25
3.2 Biologische Motivation künstlicher neuronaler Netze . . . . .	26
3.3 Grundkonzept künstlicher neuronaler Netze . . . . .	28
3.3.1 Aktivierungsfunktionen . . . . .	30
3.3.2 Netztopologien . . . . .	31
3.3.3 Lernen in künstlichen neuronalen Netzen . . . . .	32
3.3.4 Lernregel . . . . .	33
3.3.5 Trainingsphasen und benötigte Datensätze . . . . .	34
3.4 Statische und dynamische neuronale Netze . . . . .	35
3.5 Künstliche neuronale Netze in der Fehlerdiagnose . . . . .	37

<b>4</b>	<b>Residuengenerierung mit künstlichen neuronalen Netzen</b>	<b>39</b>
4.1	Motivation . . . . .	39
4.2	Strukturen zur Prozeßmodellierung . . . . .	40
4.3	Generierung von Trainingsdaten . . . . .	44
4.4	Radiale-Basisfunktionen (RBF) - Netze . . . . .	45
4.4.1	Training von RBF-Netzen . . . . .	47
4.4.2	Multistep Localized Adaptive Learning (MLAL) . . . . .	47
4.4.3	Erweiterungen des RBF-Netzes und Verbesserungen des Trainings .	49
4.5	Vollständig rückgekoppelte neuronale Netze . . . . .	53
4.5.1	Training des vollständig rückgekoppelten neuronalen Netzes . . . .	54
4.5.2	Verbesserungen des Trainingsverfahrens . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Residuenauswertung mit künstlichen neuronalen Netzen</b>	<b>60</b>
5.1	Motivation . . . . .	60
5.2	Restricted-Coulomb-Energy (RCE) - Netze . . . . .	62
5.2.1	Training von RCE-Netzen . . . . .	65
5.2.2	RCE-Netz-Systeme . . . . .	66
5.3	Signalverarbeitung . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Klassifizierung von Meßgrößen mit künstlichen neuronalen Netzen</b>	<b>71</b>
6.1	Motivation . . . . .	71
6.2	Kohonen-Karten . . . . .	73
6.2.1	Training von Kohonen-Karten . . . . .	74
6.2.2	Kohonen-Karten zur Fehlererkennung . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Anwendungsergebnisse</b>	<b>79</b>
7.1	Benchmark: Industrieller Antrieb . . . . .	79
7.1.1	Residuengenerierung mit RBF-Netzen . . . . .	82
7.1.2	Residuengenerierung mit vollständig rückgekoppelten Netzen . . . .	86
7.1.3	Residuenauswertung mit RCE-Netzen . . . . .	89
7.1.4	Meßwertklassifizierung mit RCE-Netzen . . . . .	91
7.1.5	Meßwertklassifizierung mit Kohonen-Karten . . . . .	93
7.2	Drei-Tank-System . . . . .	95
7.2.1	Residuengenerierung mit RBF-Netzen . . . . .	96
7.2.2	Residuenauswertung mit RBF-Netzen . . . . .	99
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>102</b>
<b>A</b>	<b>Herleitungen</b>	<b>105</b>
A.1	Herleitung zur Gewichtslernrate in Kapitel 4.4.3 . . . . .	105

A.2 Kombination von Real Time Recurrent Learning und Backpropagation through Time zur Berechnung der Fehlergradienten bezüglich der Gewichts- matrix in Kapitel 4.5.1 . . . . .	106
<b>B Parameter der Anwendungsbeispiele</b>	<b>108</b>
B.1 Benchmark: Industrieller Antrieb . . . . .	108
B.2 Drei-Tank-System . . . . .	109
 <b>Literaturverzeichnis</b>	 <b>110</b>