

Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte
Produktionsautomatisierung

Band 5

Berthold Bitzer (Hrsg.)

**Intelligente Prognosesysteme
für den industriellen Einsatz**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Bitzer, Berthold (Hrsg.):

Intelligente Prognosesysteme für den industriellen Einsatz/

Berthold Bitzer (Hrsg.).

Aachen : Shaker, 2001

(Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktions
automatisierung ; Bd. 5)

ISBN 3-8265-9638-2

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9638-2

ISSN 1615-2557

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
-----------------------------------	------------

Tabellenverzeichnis.....	XI
---------------------------------	-----------

1 Einführung in intelligente Prognosesysteme.....	1
--	----------

1.1 Intention des Projekts.....	2
---------------------------------	---

2 Prognosemethoden.....	4
--------------------------------	----------

2.1 Stand der Technik.....	4
----------------------------	---

2.2 Prognosemethoden.....	8
---------------------------	---

2.2.1 Univariate Verfahren.....	12
---------------------------------	----

2.2.1.1 Glättungsverfahren.....	12
---------------------------------	----

2.2.1.2 Exponentielle Glättung.....	13
-------------------------------------	----

2.2.1.3 Dekompositionsmethode.....	14
------------------------------------	----

2.2.1.4 Autoregressive Verfahren inkl. ARIMA-Verfahren.....	15
---	----

2.2.1.5 Spektrale Dekomposition.....	17
--------------------------------------	----

2.2.1.6 Kalman-Filter.....	18
----------------------------	----

2.2.2 Multivariate Verfahren.....	18
-----------------------------------	----

2.2.2.1 Multiple Regressionsverfahren.....	18
--	----

2.2.2.2 Neuronale Netze.....	20
------------------------------	----

2.2.2.3 Clusterverfahren.....	21
-------------------------------	----

2.3 Bewertungskriterien.....	23
------------------------------	----

2.3.1 Fehlermaße zur Bewertung.....	23
-------------------------------------	----

2.3.2 Fehleranalyse.....	25
--------------------------	----

2.3.3 Weitere Fehlerbetrachtungen.....	27
--	----

2.4 Kommerzielle Softwarepakete.....	29
--------------------------------------	----

2.5 Forschungsprojekte mit Schwerpunkt Prognosesysteme.....	30
---	----

3 Intelligente Datenanalyse zur Erstellung von Prognosen.....	31
--	-----------

3.1 Vorgehensweise bei der Erstellung von Prognosemodellen.....	31
---	----

3.2 Datenaufbereitung.....	34
----------------------------	----

3.2.1 Datenvorverarbeitung.....	34
---------------------------------	----

3.2.1.1 Detektion und Interpolation von Lücken/Fehlstellen.....	36
---	----

3.2.1.2 Detektion und Interpolation von fehlerhaften Werten.....	38
--	----

3.2.2 Merkmalsgenerierung.....	38
--------------------------------	----

3.2.2.1 Stationarität und gleichbleibende Varianz.....	39
3.2.2.2 Autokorrelationsfunktion und partielle Autokorrelation.....	40
3.2.2.3 Spektralanalysen.....	40
3.2.2.4 Wavelet-Transformationen.....	41
3.2.2.5 Normierungen und Standardisierungen.....	42
3.3 Datenreduktion und Merkmalsselektion.....	45
3.3.1 Datenreduktionstechniken.....	45
3.3.1.1 Datenglättung.....	46
3.3.1.2 Runden.....	46
3.3.1.3 Novelty-Filter.....	47
3.3.1.4 Clustern von Daten.....	50
3.3.2 Merkmalsextraktion.....	51
3.3.2.1 Korrelationsanalysen der Eingänge.....	51
3.3.2.2 Partialkorrelationen bzw. Hauptkomponentenanalyse.....	53
3.3.2.3 Hauptkomponentenanalyse.....	54
3.3.2.4 Vektoranalyse.....	56
3.3.2.5 Klassifizierungsbäume.....	57
3.3.2.6 Trendanalyse.....	58
3.4 Fazit.....	61
4 Exemplarische Realisierungen.....	62
4.1 Drehmomentprognose einer Zementmühle.....	64
4.1.1 Zielsetzung.....	66
4.1.2 Datenmaterial und Datenvorverarbeitung.....	66
4.1.3 Modellierung.....	68
4.1.4 Validierung der Ergebnisse.....	70
4.1.5 Nachbetrachtung.....	75
4.2 Lastprognose Dortmunder Stadtwerke.....	76
4.2.1 Zielsetzung.....	77
4.2.2 Datenmaterial.....	78
4.2.3 Datenvorverarbeitung.....	78
4.2.4 Modellierung.....	82
4.2.5 Validierung der Ergebnisse.....	83
4.2.5.1 Stunden-Lastprognose mit Lastdaten des kompletten Vortages und Temperaturwerten.....	86
4.2.5.2 Lastvorhersage mit eigenen Temperaturen für jedes Ausgabe- netz.....	88

4.2.5.3 Lastvorhersage mit Temperaturwerten und Lichtintensität	91
4.2.6 Nachbetrachtung.....	95
4.3 Lastprognosedemonstrator.....	96
4.3.1 Startfenster.....	98
4.3.2 Konfiguration.....	99
4.3.3 Konfiguration der Prognose.....	100
4.3.4 Konfiguration der Pfadeinstellungen.....	102
4.3.5 HKW-FW-Eintrag.....	103
4.3.6 HKW-FW-Einträge der Ist-Werte.....	103
4.3.7 HKW-FW-Einträge der Prognosewerte.....	104
4.3.8 Prognose.....	105
4.3.9 Auswahl des Prognosetages.....	106
4.3.10 Direktexport.....	107
4.3.11 Export.....	109
4.3.12 Einzelwerte.....	109
4.3.13 Zusatztage.....	110
4.3.14 Tagesverlauf.....	110
4.3.15 Statistik.....	112
4.4 Tageslastprognose für Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH (MVV).....	113
4.4.1 Datenmaterial.....	113
4.4.2 Datenvorverarbeitung.....	114
4.4.3 Schätzung des Prognosepotentials.....	115
4.4.4 Festlegung des zu prognostizierenden Datenzeitraums und der zu ver- wendenden Prognosetools.....	116
4.4.5 Vergleich der kommerziellen Tools.....	117
4.4.6 Modellierung der Lastprognosefälle.....	119
4.4.6.1 Lastprognose der normalen Wochen 49/97 und 50/97.....	119
4.4.6.2 Lastprognosen von Wochen mit Sondertagen.....	121
4.4.6.3 Woche 51/97 Weihnachtsvorwoche.....	121
4.4.6.4 Woche 52/97 Weihnachtswoche.....	122
4.4.6.5 Woche 1/98 Neujahrswche.....	123
4.4.6.6 Woche 2/98 Heilige drei Könige.....	124
4.4.6.7 Woche 9/98 Karneval.....	125
4.4.7 Ergebnisauswertung des zu prognostizierenden Datenzeitraums.....	125
4.4.8 Fazit.....	127
4.5 Energiebedarfsprognose einer Rohöldestillationsanlage.....	128

4.5.1 Zur Verfügung stehendes Datenmaterial.....	130
4.5.2 Datenfilterung.....	132
4.5.3 Merkmalsextraktion.....	133
4.5.4 Modellierung.....	134
4.5.5 Meßgenauigkeiten im Anlagenverbund.....	135
4.5.6 Resultate.....	136
4.5.6.1 Test- und Trainingsergebnisse für den Verbrauch an elektrischer Leistung.....	137
4.5.6.2 Test- und Trainingsergebnisse der Heizungsverbrauchsdaten.....	140
4.5.7 Fazit.....	141
4.6 Prognose von Produktparametern in Olefinanlagen.....	143
4.6.1 Zusammensetzung der Datensätze.....	144
4.6.2 Untersuchung der Eingangsdatensätze.....	144
4.6.2.1 Eingang Temperatur.....	146
4.6.2.2 Eingang Feed.....	147
4.6.2.3 Eingang Severity.....	147
4.6.2.4 Eingang ST/KW.....	148
4.6.2.5 Untersuchung der Ausgänge.....	148
4.6.2.6 Ausgänge RGL, RGS, C3 Prod., PYRBI.....	149
4.6.2.7 Ausgänge Dichte/HVGO-Dens.....	150
4.6.2.8 Korrelationsuntersuchungen.....	151
4.6.3 Untersuchungen.....	151
4.6.4 Multilayer-Feedforward-Netze.....	152
4.6.4.1 Schichtstruktur.....	152
4.6.4.2 Validierung.....	155
4.6.5 Untersuchungen mit NeuroModel (Fa. AtlanTec).....	158
4.6.6 Untersuchungen mit einem „Adaptive-Logic-Network“ (Fa.Dendronic).....	159
4.6.7 Zusammenfassung.....	164
5 Online-Konzepte.....	165
5.1 Technische Voraussetzungen.....	165
5.2 Datenbankschnittstellen und Zugriffszeiten.....	166
5.2.1 Trennung Prognosemodellierung/-erstellung.....	166
5.3 Funktionelle Voraussetzungen eines Prognosesystems.....	167
5.3.1 Plausibilitätsprüfung von Meßwerten/Eliminierung von Fehlwerten.....	167
5.3.2 Manuelle Datenpflege.....	167
5.3.3 Verwaltung von Prognosemodellen.....	168

5.3.4 Zusatzinformationen einer Prognose.....	168
5.3.4.1 Prognoseintervalle.....	168
5.3.4.2 „What-if“-Analysen.....	168
5.3.4.3 Zusammensetzung einer Prognose.....	169
5.3.4.4 Datenbasis einer Prognose.....	169
5.3.4.5 Extrapolationsindex.....	169
5.3.5 Überwachung der Prognosegüte und Verifizierung der Prognose- verfahren.....	170
5.3.6 Adaptivitätskomponente.....	170
5.3.7 Einbindung unterschiedlicher Prognosefehlerkriterien.....	170
5.3.8 Wissensakquisitionskomponente.....	171
5.3.9 Hybride Prognosemethoden.....	171
5.4 Pflichtenheft für Prognosesysteme.....	172
5.5 Demonstrator.....	173
 6 Projektergebnisse.....	174
6.1 Diplomarbeiten.....	174
6.2 Industriekontakte.....	176
6.3 Veröffentlichungen.....	177
6.4 Industrievergütungen.....	178
6.5 Eingeworbene Projekte.....	178
6.5.1 Thematisches Netz IFS „Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems“.....	178
6.5.1.1 Ziele des thematischen Netzes IFS.....	179
6.5.1.2 Netzwerk-Struktur.....	180
6.5.1.3 Teilnehmer.....	182
6.5.2 EU Projektantrag im 5. Rahmenprogramm, Juni 1999.....	183
 7 Schlußbetrachtung.....	185
 8 Schrifttum.....	186
 Anhang.....	191
A1: Informationen über die Margarethe von Wrangell-Stiftung e.V. und das WIUP-Wrangell Institut für Umweltgerechte Produktionsautomati- sierung GbR m.b.H.....	192

A2: Die Namensgeberin Margarethe von Wrangell (25.12.1876-31.03.1932).....	195
A3: Dissertationen über Prognoseapplikationen.....	197
A4: Deutsche Anbieter von Lastprognosesystemen.....	199
A5: Internationale Anbieter von Lastprognosesystemen.....	200
A6: Anbieter von Prognosetools.....	202
A7: Prognoseprojekte in Deutschland.....	203
A8: Europäische Prognoseprojekte.....	204
A9: Data Mining: Kommerzielle Softwareanbieter.....	206
A10: Checkliste zur Datenanalyse.....	212