

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>  | <b>v</b>   |
| <b>Symbolverzeichnis</b>  | <b>ix</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>  | <b>xv</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>  | <b>xix</b> |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2 Stand der Technik und Literaturübersicht</b>                               | <b>7</b>   |
| 2.1 Bedeutung der Energiekosten im produktionswirtschaftlichen Umfeld . . . . . | 7          |
| 2.1.1 Energieintensive Branchen und zugehörige Produktionsprozesse . . . . .    | 12         |
| 2.1.2 Energiekosten in Kostenrechnungssystemen . . . . .                        | 16         |
| 2.1.3 Demand Side Management . . . . .  | 21         |
| 2.1.4 Großhandelsmarkt für Strom . . . . .                                      | 31         |
| 2.2 Produktionsplanung im betriebswirtschaftlichen Umfeld . . . . .             | 37         |
| 2.2.1 Produktionsplanung und -steuerung . . . . .                               | 38         |
| 2.2.2 Berücksichtigung der Strompreisprognose in der Produktionsplanung         | 43         |
| 2.2.3 Theorie der Ablaufplanung . . . . .                                       | 47         |
| 2.3 Literaturübersicht . . . . .  | 51         |
| 2.3.1 Quantitative Ansätze zur energiekostenorientierten Produktion . . . . .   | 51         |
| 2.3.2 Bewertung bestehender Ansätze . . . . .                                   | 62         |
| 2.3.3 Zwischenfazit . . . . .   | 67         |
| <b>3 Mittelfristige Strompreisprognose für den Day-Ahead-Markt</b>              | <b>69</b>  |
| 3.1 Literaturüberblick zu Strompreisprognosen . . . . .                         | 69         |
| 3.1.1 Statistische Methoden . . . . .   | 72         |
| 3.1.2 Methoden der künstlichen Intelligenz . . . . .                            | 75         |
| 3.1.3 Zusammenfassung und Ableitung geeigneter Prognoseverfahren . . . . .      | 78         |
| 3.2 Fehlermaße . . . . .  | 79         |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3      | Strompreisprognose für den EPEX SPOT Germany/Austria . . . . .                     | 82         |
| 3.3.1    | Anforderungen und Datenbeschaffung . . . . .                                       | 83         |
| 3.3.2    | Datensatzbeschreibung . . . . .  | 84         |
| 3.3.3    | Identifikation und Anwendung geeigneter Verfahren . . . . .                        | 89         |
| 3.3.4    | Ergebnisse und Identifikation des Nutzenpotentials . . . . .                       | 104        |
| <b>4</b> | <b>Modellierung einer energiekostenorientierten Ablaufplanung</b>                  | <b>113</b> |
| 4.1      | Formulierung der Modellannahmen und Rahmenbedingungen . . . . .                    | 114        |
| 4.1.1    | Modellannahmen . . . . .   | 114        |
| 4.1.2    | Modellierung von Lastprofilen . . . . .  | 119        |
| 4.1.3    | Energiekostenminimierung und Implikationen für weitere Optimierungsziele . . . . . | 120        |
| 4.2      | Modellierung eines energiekostenorientierten Flow Shop-Modells . . . . .           | 123        |
| 4.2.1    | Modell zur Energiekostenminimierung . . . . .                                      | 123        |
| 4.2.2    | Modell zur priorisierten Deckungsbeitragsmaximierung . . . . .                     | 126        |
| 4.2.3    | Eignung der Modelle für mittelfristige Planungszeiträume . . . . .                 | 130        |
| 4.3      | Komplexitätsbetrachtungen . . . . .  | 131        |
| <b>5</b> | <b>Lösungsverfahren und Performance-Analyse</b>                                    | <b>133</b> |
| 5.1      | Generierung und Synthese von Ablaufplanungsszenarien . . . . .                     | 134        |
| 5.2      | Exakte Lösungsverfahren . . . . .  | 139        |
| 5.2.1    | Ergebnisanalyse der Strompreisprognose . . . . .                                   | 141        |
| 5.2.2    | Ergebnisanalyse der Energiekosten . . . . .  | 146        |
| 5.2.3    | Ergebnisanalyse der Lösungszeiten . . . . .  | 152        |
| 5.3      | Iterative Relax-and-Fix- und Fix-and-Optimize-Ansätze . . . . .                    | 156        |
| 5.3.1    | Relax-and-Fix-Ansatz . . . . .   | 159        |
| 5.3.2    | Fix-and-Optimize-Ansatz mit optimierter Startlösung . . . . .                      | 162        |
| 5.3.3    | Fix-and-Optimize-Ansatz mit randomisierter Startlösung . . . . .                   | 165        |
| 5.3.4    | Evaluation und Ergebnisanalyse . . . . .   | 166        |
| 5.4      | Weitere heuristische Lösungsverfahren . . . . .                                    | 174        |
| 5.4.1    | Prioritätsregelbasiertes Konstruktionsverfahren . . . . .                          | 175        |
| 5.4.2    | Vergleichende Ergebnisanalyse . . . . .  | 178        |
| 5.5      | Modellvariationen . . . . .  | 184        |
| 5.5.1    | Mehrzieloptimierung . . . . .  | 184        |
| 5.5.2    | Energiekostenorientierte Ablaufplanung bei Zweischichtbetrieb . . . . .            | 191        |
| 5.5.3    | Ergebnisdiskussion . . . . .   | 195        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>197</b> |

**Anhang****227**

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| A.1 | Ergebnisse des Prioritätsregelverfahrens für $ \mathcal{T}  = 7$ Tage . . . . .  | 227 |
| A.2 | Ergebnisse des Prioritätsregelverfahrens für $ \mathcal{T}  = 14$ Tage . . . . . | 228 |
| A.3 | Integration von Schichtsystemen in den Planungszeitraum . . . . .                | 231 |