

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                         |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                                            | <b>v</b>    |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                                              | <b>vii</b>  |
| <b>Symbolverzeichnis</b>                                                                                | <b>ix</b>   |
| <b>Algorithmenverzeichnis</b>                                                                           | <b>xiii</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                                                                     | <b>1</b>    |
| <b>2 Problemstellung</b>                                                                                | <b>3</b>    |
| 2.1 Aufbau und Charakteristiken einer getakteten Variantenfließlinie . . . . .                          | 3           |
| 2.2 Reihenfolgeplanung durch Variantenvielfalt . . . . .                                                | 5           |
| 2.2.1 Belastungsschwankungen durch Variantenvielfalt . . . . .                                          | 5           |
| 2.2.2 Reihenfolgeplanung durch Belastungsschwankungen . . . . .                                         | 7           |
| 2.2.3 Kosten durch sequenzabhängige Überlastungssituationen . . . . .                                   | 9           |
| 2.3 Ansätze zur belastungsminimierenden Reihenfolgeplanung . . . . .                                    | 12          |
| 2.3.1 Car-Sequencing . . . . .                                                                          | 12          |
| 2.3.2 Model-Mix-Sequencing . . . . .                                                                    | 15          |
| 2.3.3 Fazit . . . . .                                                                                   | 15          |
| 2.4 Herleitung belastungsminimierender Reihenfolgeregeln . . . . .                                      | 16          |
| 2.4.1 Ziele der Reihenfolgeregeln . . . . .                                                             | 16          |
| 2.4.2 Teilprobleme zur Herleitung der Reihenfolgeregeln . . . . .                                       | 18          |
| 2.4.2.1 Berechnung der durchschnittlich und maximal zu erwartenden Driftgrenzüberschreitungen . . . . . | 18          |
| 2.4.2.2 Identifikation der zu entzerrenden Bearbeitungszeiten . . . . .                                 | 19          |
| 2.4.2.3 Herleitung charakteristischer Auftragsmerkmale . . . . .                                        | 22          |
| 2.4.2.4 Berechnung der Abstandskriterien . . . . .                                                      | 23          |
| 2.4.2.5 Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .                                 | 24          |
| 2.4.3 Planungsprozess bei zeitlich schwankenden Auftragsprogrammen . . . . .                            | 25          |
| 2.5 Anforderungen an die Problemlösung . . . . .                                                        | 26          |
| 2.5.1 Allgemeine Anforderungen . . . . .                                                                | 26          |
| 2.5.2 Anforderungen an die Lösungen der Teilprobleme . . . . .                                          | 27          |

|          |                                                                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>Stand der Forschung</b>                                                                                              | <b>29</b> |
| 3.1      | Stand der Forschung zur Berechnung der durchschnittlich und maximal zu erwartenden Driftgrenzüberschreitungen . . . . . | 29        |
| 3.1.1    | Drift-Evaluierung . . . . .                                                                                             | 30        |
| 3.1.2    | Car-Sequencing . . . . .                                                                                                | 32        |
| 3.1.3    | Average- und Worst-Case-Analysen . . . . .                                                                              | 35        |
| 3.2      | Stand der Forschung zur Identifikation der zu entzerrenden Bearbeitungszeiten . . . . .                                 | 36        |
| 3.2.1    | Berechnung einer geeigneten Aufteilung der Bearbeitungszeiten . . . . .                                                 | 36        |
| 3.2.2    | Identifikation kritischer Teilmengen . . . . .                                                                          | 39        |
| 3.2.2.1  | Clustering-Algorithmen . . . . .                                                                                        | 39        |
| 3.2.2.2  | Berechnung der Clusteranzahl . . . . .                                                                                  | 41        |
| 3.3      | Stand der Forschung zur Herleitung charakteristischer Auftragsmerkmale . . . . .                                        | 43        |
| 3.4      | Stand der Forschung zur Berechnung der Abstandskriterien . . . . .                                                      | 44        |
| 3.4.1    | Binäre Bearbeitungszeiten . . . . .                                                                                     | 45        |
| 3.4.2    | Multiple Bearbeitungszeiten . . . . .                                                                                   | 47        |
| 3.5      | Stand der Forschung zur Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .                                 | 49        |
| <b>4</b> | <b>Zu leistende Arbeit</b>                                                                                              | <b>55</b> |
| <b>5</b> | <b>Konzeption</b>                                                                                                       | <b>57</b> |
| 5.1      | Berechnung der durchschnittlich und maximal zu erwartenden Driftgrenzüberschreitungen . . . . .                         | 57        |
| 5.1.1    | Drift-Evaluierung . . . . .                                                                                             | 58        |
| 5.1.2    | Car-Sequencing . . . . .                                                                                                | 62        |
| 5.1.2.1  | Kennzahl zur Messung der Sequenzierbarkeit . . . . .                                                                    | 62        |
| 5.1.2.2  | Lösungsverfahren . . . . .                                                                                              | 63        |
| 5.1.2.3  | Konstruktionsheuristik . . . . .                                                                                        | 63        |
| 5.1.2.4  | Verbesserungsheuristik . . . . .                                                                                        | 68        |
| 5.1.3    | Average-Case-Analyse . . . . .                                                                                          | 72        |
| 5.1.4    | Worst-Case-Analyse . . . . .                                                                                            | 74        |
| 5.1.4.1  | Formalisierung . . . . .                                                                                                | 74        |
| 5.1.4.2  | Konstruktionsheuristik . . . . .                                                                                        | 75        |
| 5.1.4.3  | Verbesserungsheuristik . . . . .                                                                                        | 76        |
| 5.2      | Identifikation der zu entzerrenden Bearbeitungszeiten . . . . .                                                         | 79        |
| 5.2.1    | Berechnung einer geeigneten Aufteilung der Bearbeitungszeiten . . . . .                                                 | 79        |
| 5.2.2    | Identifikation kritischer Teilmengen . . . . .                                                                          | 81        |
| 5.2.2.1  | Preprocessing . . . . .                                                                                                 | 81        |
| 5.2.2.2  | Lösungsverfahren . . . . .                                                                                              | 83        |
| 5.3      | Herleitung charakteristischer Auftragsmerkmale . . . . .                                                                | 86        |
| 5.3.1    | Preprocessing . . . . .                                                                                                 | 87        |
| 5.3.1.1  | Logische Negation . . . . .                                                                                             | 87        |
| 5.3.1.2  | Reduktion der Merkmalsmenge . . . . .                                                                                   | 89        |
| 5.3.1.3  | Reduktion der Auftragsmenge . . . . .                                                                                   | 90        |

|          |                                                                                                 |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3.2    | Logische Disjunktionen: Exaktes Modell . . . . .                                                | 90         |
| 5.3.3    | Logische Disjunktionen: Approximatives Modell . . . . .                                         | 92         |
| 5.3.4    | Logische Disjunktionen: Heuristisches Verfahren . . . . .                                       | 93         |
| 5.3.5    | Logische Konjunktionen und Disjunktionen . . . . .                                              | 95         |
| 5.4      | Berechnung der Abstandskriterien . . . . .                                                      | 96         |
| 5.4.1    | Strategien zur Berechnung der Abstandskriterien . . . . .                                       | 96         |
| 5.4.2    | Postprocessing . . . . .                                                                        | 98         |
| 5.5      | Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .                                 | 99         |
| 5.5.1    | Herleitung der Reihenfolgeregeln im Kontext einzelner Arbeitsplätze . . . . .                   | 99         |
| 5.5.2    | Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .                                 | 104        |
| 5.5.2.1  | Erstellung einer Regel-Basis . . . . .                                                          | 104        |
| 5.5.2.2  | Verfahren zur iterativen Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .        | 109        |
| <b>6</b> | <b>Validierung und Ergebnisse</b>                                                               | <b>115</b> |
| 6.1      | Berechnung der durchschnittlich und maximal zu erwartenden Driftgrenzüberschreitungen . . . . . | 115        |
| 6.1.1    | Average-Case-Analyse . . . . .                                                                  | 115        |
| 6.1.2    | Worst-Case-Analyse . . . . .                                                                    | 118        |
| 6.2      | Identifikation der zu entzerrenden Bearbeitungszeiten . . . . .                                 | 120        |
| 6.3      | Herleitung charakteristischer Auftragsmerkmale . . . . .                                        | 122        |
| 6.3.1    | Preprocessing . . . . .                                                                         | 122        |
| 6.3.2    | Logische Disjunktionen . . . . .                                                                | 123        |
| 6.3.2.1  | Lösungsqualität . . . . .                                                                       | 123        |
| 6.3.2.2  | Lösungszeit . . . . .                                                                           | 124        |
| 6.3.3    | Logische Disjunktionen und Konjunktionen . . . . .                                              | 125        |
| 6.4      | Berechnung der Abstandskriterien . . . . .                                                      | 127        |
| 6.5      | Konstruktion einer belastungsminimierenden Regelmenge . . . . .                                 | 127        |
| 6.6      | Ergebnisse im Praxiseinsatz . . . . .                                                           | 130        |
| 6.6.1    | Minimierte Driftgrenzüberschreitungen durch analytisch hergeleitete Reihenfolgeregeln . . . . . | 130        |
| 6.6.2    | Beispiel einer analytisch hergeleiteten Regelmenge . . . . .                                    | 131        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                             | <b>133</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                                     | <b>137</b> |