

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Formelverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Verfügbarkeits- und Produktivitätsermittlung in der getakteten Fertigung</b>	<b>5</b>
2.1 Produktionstechnischer Betrachtungsbereich . . . . .	6
2.1.1 Begriffsklärungen – Produktion, Produktionssystem, Produktivität	6
2.1.2 Darstellung des produktionstechnischen Betrachtungsbereiches	9
2.1.3 Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit verketteter Produktionssysteme . . . . .	10
2.1.4 Montageanlagen als Repräsentant verketteter Produktionssysteme . . . . .	12
2.1.5 Verkettungsprinzipien von Bearbeitungsstationen . . . . .	13
2.2 IT-Infrastrukturen und Daten in der Produktion . . . . .	17
2.3 Erfolgskontrolle in der Produktion mittels Kennzahlen . . . . .	20
2.3.1 Verfügbarkeitsermittlung . . . . .	23
2.3.2 Produktivitätsermittlung . . . . .	25
2.3.2.1 Kennzahl Overall Equipment Effectiveness OEE . . . . .	28
2.3.2.2 OEE-angelegte Kennzahlen auf Maschinenebene . . . . .	30
2.3.2.3 OEE-angelegte Kennzahlen auf Fabrikebene . . . . .	33
2.4 Datenbasis zur OEE-Bestimmung . . . . .	35
2.5 Kurzzusammenfassung . . . . .	37
<b>3 Zielstellung der Arbeit und Vorgehensweise</b>	<b>39</b>
<b>4 Lösungsansatz zur Produktivitätsermittlung mittels erweiterter Produkt Daten</b>	<b>43</b>
4.1 Grobkonzept der produktdatenbasierten Produktivitätsermittlung . . . . .	43
4.2 Eingangsdaten zur produktdatenbasierten Produktivitätsermittlung . . . . .	45
4.2.1 Anlagenmodell zur Abbildung von Anlagenstrukturen . . . . .	45
4.2.2 Definition der erweiterten Produktdaten . . . . .	46
4.3 Feinkonzept zur produktdatenbasierten Produktivitätsermittlung . . . . .	48
4.4 Vorgehen bei der Methodenentwicklung . . . . .	51
4.5 Modellkomponenten eines Anlagenmodells . . . . .	56

4.5.1	Fördereinrichtung bzw. Förderstrecke . . . . .	56
4.5.2	Bearbeitungsstation . . . . .	57
4.5.2.1	Produkttypunabhängige Merkmale . . . . .	58
4.5.2.2	Produkttypabhängige Merkmale . . . . .	60
4.5.3	Puffer . . . . .	63
4.5.4	Modul . . . . .	65
4.6	Graphbasierte Abbildung von Anlagenstrukturen . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Methode zur produktdatenbasierten Produktivitätsermittlung für verkettete Produktionssysteme</b>	<b>68</b>
5.1	Einleitung und Vorgehensbeschreibung . . . . .	68
5.2	Taktzeitmodell für Produktionssysteme zur getakteten Fertigung . . . . .	70
5.2.1	Taktzeitmodell für eine Bearbeitungsstation . . . . .	70
5.2.2	Datenextraktion zur Initialisierung von Taktzeitmodellen . . . . .	74
5.2.3	Taktzeitmodell für ein Gesamtsystem verketteter Stationen . . . . .	78
5.3	Vorgehensweise bei der Taktzeitanalyse . . . . .	79
5.4	Anwendung der Taktzeitanalyse zur Rekonstruktion der Betriebszustände für eine ideale Einzelstation . . . . .	84
5.4.1	Modelleigenschaften der idealen Einzelstation . . . . .	85
5.4.2	Feinkonzept der Taktzeitanalyse für eine ideale Einzelstation . . . . .	85
5.4.3	Anwendbarkeit der Taktzeitanalyse für eine ideale Einzelstation . . . . .	90
5.5	Basiskonzepte zur Rekonstruktion der Betriebszustände für Bearbeitungsstationen verketteter Produktionssysteme . . . . .	91
5.5.1	Konzept der paarweisen Betrachtung von Stationen . . . . .	92
5.5.2	Konzept des korrespondierenden und des beeinflussenden Produktes . . . . .	95
5.5.2.1	Korrespondierendes Produkt $P_k(P_j^{(BS^{(i)})})$ . . . . .	96
5.5.2.2	Beeinflussendes Produkt $P_b(P_j^{(BS^{(i)})})$ . . . . .	97
5.5.3	Konzept der selbst- oder fremdverschuldeten Taktzeitüberschreitung . . . . .	99
5.5.4	Konzept des frühest möglichen Einfahrtszeitpunktes . . . . .	100
5.5.5	Erweiterte Taktzeitanalyse für Bearbeitungsstationen eines verketteten Produktionssystems . . . . .	103
5.5.5.1	Konzept der statischen Taktzeitanalyse . . . . .	105
5.5.5.2	Konzept der paarweisen Stationsanalyse . . . . .	107
5.5.6	Konstellationen nicht erkennbarer Stationsbetriebszustände . . . . .	108

5.6	Feinkonzept der erweiterten Taktzeitanalyse für sequentiell angeordnete Bearbeitungsstationen . . . . .	112
5.6.1	Modelleigenschaften von verketteten Systemen mit sequentiell angeordneten Bearbeitungsstationen . . . . .	112
5.6.1.1	Elastisch verkettete Bearbeitungsstationen, ungepuffert	113
5.6.1.2	Elastisch verkettete Bearbeitungsstationen, gepuffert .	114
5.6.2	Feinkonzept zur Ermittlung des korrespondierenden und des beeinflussenden Produktes für sequentiell angeordnete Stationen	115
5.6.3	Feinkonzept der statischen Taktzeitanalyse für verkettete Systeme mit sequentiell angeordneten Bearbeitungsstationen .	117
5.6.3.1	Zustandsrekonstruktion unter Nutzung organisatorischer Zusatzinformationen . . . . .	118
5.6.3.2	Zustandsrekonstruktion für den Stationsbetriebszustand wartend . . . . .	120
5.6.3.3	Zustandsrekonstruktion für den Stationsbetriebszustand blockiert . . . . .	126
5.6.4	Feinkonzepte der Stationsanalysen für verkettete Systeme mit sequentiell angeordneten Bearbeitungsstationen . . . . .	130
5.6.4.1	Stationsanalyse für eine Bearbeitungsstation $BS^{(i)}$ ohne nachgelagerten Puffer . . . . .	131
5.6.4.2	Stationsanalyse für eine Bearbeitungsstation $BS^{(i)}$ mit nachgelagertem Puffer . . . . .	135
5.7	Feinkonzept der erweiterten Taktzeitanalyse für verkettete Systeme mit konvergierendem bzw. divergierendem Produktfluss . . . . .	144
5.7.1	Modelleigenschaften von verketteten Systemen mit konvergierendem bzw. divergierendem Produktfluss . . . . .	145
5.7.1.1	Stationsanordnungen für konvergierende Produktflüsse	147
5.7.1.2	Stationsanordnungen für divergierende Produktflüsse .	147
5.7.1.3	Analyseverfahren für verkettete Systeme mit divergierendem bzw. konvergierendem Produktfluss . .	148
5.7.2	Feinkonzept zur Ermittlung des korrespondierenden und des beeinflussenden Produktes für verkettete Systeme mit divergierendem und konvergierendem Produktfluss . . . . .	150
5.7.3	Feinkonzept der statischen Taktzeitanalyse für verkettete Systeme mit konvergierendem bzw. divergierendem Produktfluss	152
5.7.3.1	Angepasste Zustandsrekonstruktion für den Stationsbetriebszustand wartend . . . . .	153

5.7.3.2	Berücksichtigung der Ausfahrtsdauer aus dem Puffer . . . . .	155
5.7.4	Feinkonzepte der Stationsanalysen für verkettete Systeme mit konvergierendem bzw. divergierendem Produktfluss . . . . .	155
5.7.4.1	Stationsanalyse für eine Station $BS^{(i)}$ ohne nachgelagerten Puffer . . . . .	156
5.7.4.2	Stationsanalyse für eine Station $BS^{(i)}$ mit nachgelagertem Puffer . . . . .	156
5.8	Berücksichtigung von Produktrückschleusungen zur Nacharbeit . . . . .	162
5.8.1	Nacharbeitungsspezifikation als Bestandteil des Anlagenmodells . . . . .	166
5.8.2	Konzept des Nacharbeitszyklus zur Abbildung mehrfacher Produktdurchläufe . . . . .	167
5.8.3	Erweiterte Taktzeitanalyse zur Berücksichtigung von Rückschleusungen . . . . .	170
5.8.3.1	Erweiterte Initialisierung . . . . .	170
5.8.3.2	Erweiterte Analyse . . . . .	171
5.9	Klassifikation nicht vollständig korrekt rekonstruierbarer Zustandskonstellationen . . . . .	174
5.10	Produktivitätsbestimmung mittels rekonstruierter Stationsbetriebszustände . . . . .	179
5.10.1	Bestimmung der OEE-Einzelfaktoren . . . . .	180
5.10.1.1	Verfügbarkeitsgrad einer Bearbeitungsstation . . . . .	181
5.10.1.2	Leistungsgrad einer Bearbeitungsstation . . . . .	182
5.10.1.3	Qualitätsgrad einer Bearbeitungsstation . . . . .	183
5.10.2	Bestimmung der Gesamtanlageneffektivität einer Bearbeitungsstation . . . . .	184
<b>6</b>	<b>Anwendung der entwickelten Methode auf ein Produktionssystem</b>	<b>185</b>
6.1	Vorgehensweise . . . . .	185
6.2	Möglichkeiten zur Schaffung einer realistischen Datenbasis . . . . .	187
6.3	Schaffung einer realistischen Datenbasis durch Simulation . . . . .	189
6.3.1	Modellbeeinflussende Einstellparameter . . . . .	190
6.3.2	Simulationsmodellbasiert generierte Daten . . . . .	191
6.4	Anwendung des Ansatzes auf ein realitätsnahes Produktionssystem . . . . .	192
6.4.1	Komplexes Anlagenmodell als Basis zur Anwendung . . . . .	192
6.4.2	Basissimulationen zum grundsätzlichen Nachweis der Anwendbarkeit . . . . .	195
6.4.2.1	Basissimulation 1 - Ideale Gesamtanlage . . . . .	196

6.4.2.2	Basissimulation 2 - Berücksichtigung Schichtplan . . .	198
6.4.2.3	Basissimulation 3.1 - Berücksichtigung NIO-Produkte .	198
6.4.2.4	Basissimulation 3.2 - Berücksichtigung von Rückschleusungen . . . . .	200
6.4.2.5	Basissimulation 4 - Berücksichtigung schwankender Taktzeiten . . . . .	201
6.4.2.6	Basissimulation 5 - Berücksichtigung technischer Störungen . . . . .	203
6.4.2.7	Basissimulation 6 - Berücksichtigung mehrerer Produkttypen . . . . .	204
6.4.2.8	Zusammenfassung der Ergebnisse der Basissimulationen . . . . .	207
6.4.3	Komplexe Simulation . . . . .	208
6.4.3.1	Stationsanordnung sequentiell, ungepuffert . . . . .	211
6.4.3.2	Stationsanordnung sequentiell, gepuffert . . . . .	212
6.4.3.3	Stationsanordnung divergierend, ungepuffert . . . . .	214
6.4.3.4	Stationsanordnung divergierend, gepuffert . . . . .	215
6.4.3.5	Stationsanordnung konvergierend, ungepuffert . . . . .	217
6.4.3.6	Stationsanordnung konvergierend, gepuffert . . . . .	218
6.4.3.7	Kurzzusammenfassung . . . . .	220
6.5	Webbasiertes Softwaretool zur Umsetzung der entwickelten Methode .	221
6.5.1	Datenbank zur Verwaltung erforderlicher Daten . . . . .	221
6.5.2	Konfigurationsoberfläche zur Anlagenmodellerstellung . . . . .	222
6.5.3	Nutzerinterface zur Anzeige von Stationsbetriebszuständen . . .	223
6.5.4	Darstellung produktdatenbasiert bestimmter OEE-Einzelfaktoren und OEE-Gesamtwerte . . . . .	223
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>226</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>A-1</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>A-6</b>
	<b>Definitionsverzeichnis</b>	<b>A-11</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>A-13</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>A-35</b>

<b>Anhang</b>	<b>B-1</b>
B.1 Zeitmodell für Produktionseinheiten . . . . .	B-1
B.2 Berechnungsmodell zur Overall Equipment Effectiveness . . . . .	B-3
B.3 Betriebszustände von Bearbeitungsstationen . . . . .	B-5
B.3.1 Berücksichtigte Stationsbetriebszustände . . . . .	B-5
B.3.2 Verteilung berücksichtigter Stationsbetriebszustände . . . . .	B-7
B.3.3 Erkennbare Stationsbetriebszustände in Abhängigkeit der Anlagenstruktur und vorhandener Eingangsinformationen . . . . .	B-7
B.3.4 Betriebszustandshistorie . . . . .	B-8
B.4 Beispielhafte Betriebszustandsfolge als Basis eines Taktzeitmodells . .	B-9
B.5 Zustandsanteile für eine ideale Einzelstation unter gleichzeitiger Berücksichtigung eines Schicht- und Stationsbelegungsplanes . . . . .	B-9
B.6 Konzept korrespondierendes und beeinflussendes Produkt . . . . .	B-10
B.7 Berücksichtigte Schichtpläne . . . . .	B-11
B.8 Beispiel zur Anwendung der Stationsanalyse . . . . .	B-11
B.9 Detaillierte Beschreibung des Analysevorgehens für verkettete Systeme mit divergierendem und konvergierendem Produktfluss . . . . .	B-14
B.10 Produktstatistik . . . . .	B-17
B.11 Simulationsansatz zur Generierung einer geeigneten Datenbasis . . . .	B-17
B.11.1 Definitionen . . . . .	B-17
B.11.2 Detaillierte Beschreibung modellbeeinflussender Parameter . . .	B-18
B.11.2.1 Gesamtmodellbeeinflussende Modellparameter . . . . .	B-18
B.11.2.2 Bearbeitungsstationslokal wirkende Modellparameter . .	B-19
B.11.2.3 Beschreibung simulationsbasiert generierter Daten . .	B-21
B.11.3 Modell zur Anwendung der neuen Methode . . . . .	B-23
B.11.3.1 Nacharbeitsfähigkeit und Rückschleusezeitdauern . . .	B-23
B.11.3.2 Simulationsmodell . . . . .	B-25
B.12 Ermittlung des korrespondierenden/beeinflussenden Produktes für Systeme mit divergierendem/konvergierendem Produktfluss . . . . .	B-26
B.13 Modellanpassung für Aus- und Wiedereinschleusestationen . . . . .	B-28
B.14 Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit von Montagesystemen . . . . .	B-29
B.15 Detaillierte Beschreibung nicht erkennbarer Zustandskonstellationen . .	B-31
B.16 Basissimulationen – Komplette Übersicht der Analyseergebnisse . . . .	B-37
B.17 Komplexsimulationen – Detaillierte Analyseergebnisse . . . . .	B-66
<b>Lebenslauf</b>	<b>D-1</b>