

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Spezifizierung des Betrachtungsbereichs	4
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	7
<b>2 Grundlagen</b>	<b>9</b>
2.1 Energieverschwendung in der Fertigung	9
2.1.1 Allgemeines	9
2.1.2 Der Energiebegriff im betrieblichen Umfeld	9
2.1.3 Energie als Kostenfaktor in der produzierenden Industrie	12
2.1.4 Energieeffizienz, -intensität und -verschwendung	13
2.1.5 Maßnahmen zur Reduzierung von Energieverschwendung	15
2.2 Ganzheitliche Produktionssysteme	17
2.2.1 Allgemeines	17
2.2.2 Ursprung und Entwicklung der GPS	17
2.2.3 Fertigungsprozessketten in GPS	19
2.2.4 Zieldimensionen und -größen in GPS	20
2.2.5 Wertstromdesign	28
2.2.6 Erweiterung des GPS-Gedankens um den Aspekt Energie	31
2.3 Systemtheorie und System Dynamics	33
2.3.1 Allgemeines	33
2.3.2 Grundsätze der Systemtheorie	33
2.3.3 Systemstruktur eines GPS	34
2.3.4 Modellierung von GPS mit Hilfe von System Dynamics	35

2.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen	41
2.4.1	Allgemeines	41
2.4.2	Eindimensionale Investitionsrechnung	41
2.4.3	Multikriterielle Entscheidungsfindung	43
2.5	Fazit	46
<b>3</b>	<b>Stand der Erkenntnisse und Handlungsbedarf</b>	<b>47</b>
3.1	Anforderungen an eine methodische Vorgehensweise zur Reduzierung von Energieverschwendung in GPS	47
3.2	Vorstellung und Einordnung betrachteter Ansätze	49
3.2.1	Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz auf Basis des Wertstromdesigns	49
3.2.2	Allgemeine Ansätze zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Fertigung	53
3.2.3	Ansätze zur Identifizierung und Bewertung von Wirkbeziehungen in GPS	56
3.3	Ermittlung des Handlungsbedarfs und Zielspezifikation	58
<b>4</b>	<b>Entwicklung der Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung in GPS</b>	<b>61</b>
4.1	Allgemeines	61
4.2	Untersuchung von Wirkbeziehungen in GPS	62
4.2.1	Generischer Aufbau des Wirkgefüges eines Prozessschrittes	62
4.2.2	Wirkbeziehungen zwischen Prozessschritt und Prozesskette	67
4.3	Energieorientierte Wertstromanalyse	71
4.3.1	Erläuterung der Vorgehensweise	71
4.3.2	Auswahl der Prozesskette	71
4.3.3	Aufnahme der Produktionsdaten	73
4.3.4	Aufnahme der Energiedaten	76
4.3.5	Datenauswertung	82
4.4	Generierung von Energieeffizienz-Maßnahmen	85
4.4.1	Ableitung von Energieeffizienz-Handlungsansätzen	85

---

4.4.2	Erläuterung der Energieeffizienz-Handlungsansätze	87
4.4.3	Positionierung im Energieeffizienz-Maßnahmenportfolio	91
4.4.4	Quantifizierung der Auswirkungen von Energieeffizienz-Maßnahmen auf Stellgrößen und endogene Größen	94
4.5	Generisches System-Dynamics-Modell	96
4.5.1	Erläuterung der Vorgehensweise	96
4.5.2	Phase 1: Problemartikulation	97
4.5.3	Phase 2: Qualitative Analyse des Systems	97
4.5.4	Phase 3: Erstellung des System-Dynamics-Modells	100
4.5.5	Phase 4: Verifikation und Validierung	112
4.5.6	Phase 5: Simulationsdurchführung und Auswertung	115
4.6	Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	122
4.6.1	Genereller Aufbau des erweiterten Bewertungsverfahrens	122
4.6.2	Bewertung der GPS-Zielgrößenveränderungen	123
4.6.3	Ableitung von Umsetzungsempfehlungen	130
4.7	Fazit	134
<b>5</b>	<b>Exemplarische Anwendung in der Praxis</b>	<b>135</b>
5.1	Erläuterung der Vorgehensweise	135
5.2	Fallstudie 1: Lernfabrik für Energieproduktivität (LEP)	136
5.2.1	Schritt 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	136
5.2.2	Schritt 2: Energieeffizienz-Maßnahmengenerierung	140
5.2.3	Schritt 3: Prognose der GPS-Zielgrößenwerte	143
5.2.4	Schritt 4: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	147
5.3	Fallstudie 2: Stirnwandfertigung im Karosseriebau	151
5.3.1	Schritt 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	151
5.3.2	Schritt 2: Energieeffizienz-Maßnahmengenerierung	153
5.3.3	Schritt 3: Prognose der GPS-Zielgrößenwerte	155
5.3.4	Schritt 4: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung	158

5.4	Bewertung der Methodik	161
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>167</b>
6.1	Zusammenfassung	167
6.2	Ausblick	169
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>171</b>
<b>8</b>	<b>Übersicht betreuter Studienarbeiten</b>	<b>189</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>191</b>
A1	Kenngrößen des GPS-Wirkgefüges	191
A2	Aufbau des System-Dynamics-Modells in <i>Vensim® PLE Plus</i>	193
A3	Fallstudie 1: Energieorientierte Wertstromanalyse	194
A4	Fallstudie 1: Energieeffizienz-Maßnahmensteckbriefe	196
A5	Fallstudie 2: Energieorientierte Wertstromanalyse	197
A6	Fallstudie 2: Energieeffizienz-Maßnahmensteckbriefe	200