

# Inhaltsverzeichnis

<b>Nomenklatur</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Forschung und Technik - Maschinelles Lernen in der Produktion	4
1.2 Motivation und Zielsetzung . . . . .	8
1.3 Strukturierung der Arbeit . . . . .	10
<b>2 Problemformulierung</b>	<b>11</b>
2.1 Systembeschreibung . . . . .	11
2.1.1 Anforderungen an die industrielle Produktion . . . . .	13
2.1.2 Das Optimierungsproblem . . . . .	14
<b>3 Verteiltes Maschinelles Lernen</b>	<b>15</b>
3.1 Reinforcement Learning . . . . .	15
3.1.1 Q-Learning . . . . .	17
3.1.2 Actor-Critic Reinforcement Learning . . . . .	18
3.1.3 Künstliche Neuronale Netze als Funktionsapproximatoren . . . . .	21
3.2 Die Spieltheorie als rationales Werkzeug der Künstlichen Intelligenz . . . . .	23
3.2.1 Übersicht der wichtigsten Spielformen . . . . .	25
3.2.2 Optimale Lösungsstrategien . . . . .	26
3.2.3 Potentialspiele . . . . .	28
3.2.4 Zustandsbasierte Potentialspiele . . . . .	29
3.3 Relation zwischen Spieltheorie und Reinforcement Learning . . . . .	31
3.4 Zusammenfassung . . . . .	31
<b>4 Verteilte Produktionssysteme als Potentialspiele</b>	<b>33</b>
4.1 Modellierung von modularen Produktionssystemen . . . . .	33
4.2 Definition der globalen und lokalen Nutzenfunktionen . . . . .	34
4.3 Lernszenarien . . . . .	35
4.3.1 Lernen mit zufälliger Initialisierung . . . . .	36
4.3.2 SPS-informiertes Lernen . . . . .	38
4.3.3 Meta-Lernen . . . . .	43
4.4 Zusammenfassung . . . . .	45
<b>5 Lernverfahren für Potentialspiele</b>	<b>47</b>
5.1 Verteiltes Reinforcement Learning . . . . .	47
5.2 Spieltheoretische Lernalgorithmen . . . . .	49
5.2.1 Synchrone und asynchrone Lernen . . . . .	49
5.2.2 1-Recall Reinforcement Learning . . . . .	51
5.2.3 Log-Lineares Lernen . . . . .	52

5.2.4	Interpolierende zustandsbasierte Potentialspiele . . . . .	53
5.2.5	Kommunikationsbasiertes Lernen . . . . .	57
5.2.6	Lernen mit Gedächtnis . . . . .	58
5.3	Zusammenfassung . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Applikationen und Ergebnisse</b>	<b>61</b>
6.1	Modulare Prozess- und Produktionsanlagen: Beispiel Schüttgutanlage . . . . .	61
6.1.1	Modellierung des Systems . . . . .	62
6.1.2	Produktionsszenarien . . . . .	63
6.1.3	Grundsätzlicher Spielraum für die Lernszenarien . . . . .	64
6.2	Lernen mit zufälliger Initialisierung . . . . .	68
6.2.1	Ergebnisse für die globale Interpolation . . . . .	68
6.2.2	Vergleich der Algorithmen . . . . .	75
6.2.3	Vergleich von globaler mit lokaler Interpolation . . . . .	78
6.2.4	Vergleich von synchronem mit asynchronem Lernen . . . . .	80
6.2.5	Vergleich der Kommunikationsformen . . . . .	80
6.2.6	Lernen mit Gedächtnis . . . . .	85
6.2.7	Generalisierung . . . . .	86
6.2.8	Diskussion . . . . .	88
6.3	SPS-informiertes Lernen . . . . .	89
6.3.1	Umsetzung . . . . .	89
6.3.2	Ergebnisse . . . . .	89
6.4	Meta-Lernen . . . . .	92
6.4.1	Umsetzung . . . . .	92
6.4.2	Ergebnisse . . . . .	94
6.5	Zusammenfassung . . . . .	97
<b>7</b>	<b>SPS-Implementierung maschineller Lernalgorithmen</b>	<b>99</b>
7.1	Hardware . . . . .	99
7.2	Software . . . . .	100
7.3	Implementierung . . . . .	101
7.4	Ergebnisse . . . . .	103
7.5	Zusammenfassung . . . . .	105
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>109</b>
A.1	SPS-Programm . . . . .	109
A.2	Daten zur Schüttgutanlage . . . . .	111
A.3	Hyperparameterwerte der Lernalgorithmen . . . . .	114
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>117</b>