

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1	Der Einsatz von IoT-Basistechnologien verspricht zahlreiche Nutzenpotenziale für Produktion, Logistik und Supply Chain Management	1
1.2	Die erfolgreiche Integration von IoT-Basistechnologien in die existierende IT-Landschaft der Unternehmen ist eine notwendige Bedingung für die Realisierung zugehöriger Nutzenpotenziale und kann mit hohen Kosten einhergehen	2
1.3	IoT-Software-Plattformen können eine effiziente und kostengünstige Integration von IoT-Basistechnologien in existierende IT-Landschaften ermöglichen	3
1.4	Hohe Produktvielfalt, uneinheitliche Produktbeschreibungen sowie fehlende Kriterien und Verfahren zur Bewertung und Auswahl der am besten geeigneten IoT-Software-Plattform als Motivation der Forschungsarbeit	4
1.5	Forschungsfragen, Adressatenkreis und Gang der Forschungsarbeit	5
<b>2</b>	<b>Untersuchungsprozess und wissenschaftliche Vorgehensweise</b>	<b>11</b>
2.1	Design Science Research als die gesamte Forschungsarbeit überspannendes, gestaltungsorientiertes Forschungsvorgehen	13
2.1.1	Artefakte als zentraler Erkenntnisgegenstand der gestaltungsorientierten Forschung	14

2.1.2	Praktische Relevanz und wissenschaftliche Rigorosität bei der Konstruktion von Artefakten als verpflichtender Bestandteil gestaltungsorientierter Forschung .....	18
2.1.3	Sicherstellung der Forderung nach praktischer Relevanz und wissenschaftlicher Rigorosität durch den strukturierten Gestaltungsprozess von Peffers et al. (2008) .....	20
2.1.4	Einordnung der vorliegenden Arbeit in die gestaltungsorientierte Forschung .....	23
2.2	Entscheidungstheorie als theoretisches Fundament .....	29
2.2.1	Präskriptive Entscheidungstheorie .....	29
2.2.2	Multikriterielle Entscheidungsunterstützung .....	35
2.2.3	Einordnung der vorliegenden Arbeit in die Entscheidungstheorie .....	40
2.3	Der Analytic Hierarchy Process (AHP) als Verfahren der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung .....	42
2.3.1	Grundlegender Ablauf des AHP .....	43
2.3.2	Abbildung des Entscheidungsproblems in einer Entscheidungshierarchie .....	45
2.3.3	Relative Präferenzmessung zur Bestimmung der relativen Wichtigkeit von Kriterien und Alternativen .....	48
2.3.4	Berechnung von Gewichtungsvektoren .....	55
2.3.5	Überprüfung der Konsistenz der Paarvergleichsurteile .....	60
2.3.6	Absolute Präferenzmessung als Variante zur Beurteilung der Alternativen .....	64
2.3.7	Synthese der Kriterien- und Alternativengewichte und Berechnung der Gesamtprioritäten der Alternativen in Bezug auf das übergeordnete Ziel .....	72
2.3.8	Überprüfung der Gesamtkonsistenz und Sensitivitätsanalyse als optionale Zusatzanalysen ....	76
2.3.9	Aggregation der Einzelbewertungen zu einer Gruppenentscheidung .....	81
2.3.10	Interpretation der Ergebnisse .....	83
2.3.11	Kritische Würdigung des AHP .....	83

---

2.3.12	Einordnung der vorliegenden Arbeit im Hinblick auf die unterschiedlichen Varianten und Weiterentwicklungen des AHP .....	86
<b>3</b>	<b>Leitende Begrifflichkeiten der vorliegenden Forschungsarbeit</b> ....	89
3.1	Internet der Dinge und Industrie 4.0 .....	90
3.1.1	Intelligente Objekte und Smart Object Technologien als Basis für das Internet der Dinge ...	90
3.1.2	Cyber-Physical Systems als Basis für die Industrie 4.0 .....	93
3.2	IoT-Software-Plattformen .....	95
3.2.1	Systemintegration als Voraussetzung für unternehmensweite und unternehmensübergreifende Anwendungssysteme .....	95
3.2.2	Middleware bzw. Integrationsplattformen als spezielle Software-Schicht zur Umsetzung der Systemintegration .....	101
3.2.3	IoT-Software-Plattformen als zentraler Bestandteil eines IoT-Gesamtsystems im Rahmen der IoT-Systemintegration .....	104
3.3	Komplementäre Technologien für das Internet der Dinge und die Industrie 4.0 .....	109
3.3.1	Big Data .....	110
3.3.2	Cloud Computing .....	114
3.3.3	Supply Chain Event Management .....	118
3.4	Software als Bewertungsgegenstand .....	119
3.4.1	Software .....	119
3.4.2	Software-Lizenzen .....	121
3.4.3	Software-Kategorien .....	122
3.4.4	Funktionale und nicht-funktionale Eigenschaften von Software .....	123
3.5	Taxonomien und Referenzarchitekturen .....	130
3.5.1	Taxonomien .....	130
3.5.2	Modelle .....	131
3.5.3	Architekturen .....	134
3.5.4	Referenzmodelle .....	137
3.5.5	Referenzarchitekturen .....	142

<b>4</b>	<b>Systematische Literaturanalysen zur Erhebung des Stands der Technik</b>	<b>151</b>
4.1	Aufgaben und Phasen einer systematischen Literaturanalyse	151
4.2	Literatursuche und Literaturauswahl	157
4.2.1	Umgang mit der Literaturflut und Vollständigkeit der Literatursuche	157
4.2.2	Prozess der Literatursuche und Literaturauswahl	158
4.2.3	Art der berücksichtigten Literatur	164
4.2.4	Auswahl der durchsuchten Literaturdatenbanken auf Basis von Journal- und Konferenz-Rankings	165
4.2.5	Sonstige berücksichtigte Literaturquellen	178
4.2.6	Ausschluss von Artikeln, die in Raubzeitschriften oder Raubkonferenzen veröffentlicht wurden	180
4.3	Ergebnispräsentation	184
4.3.1	Umfassende Dokumentation als Grundlage für die Beurteilung der Reliabilität und der Validität der durchgeführten Literaturanalysen	184
4.3.2	Taxonomie zur Klassifizierung von Literaturanalysen nach ihren wichtigsten Merkmalen	185
4.3.3	Verwendung von Konzeptmatrizen	190
4.3.4	Analyse und Visualisierung bibliometrischer Netzwerke	191
4.4	Zusammenfassung	196
<b>5</b>	<b>Stand der Technik bei der Bewertung und Auswahl von Software allgemein</b>	<b>199</b>
5.1	Problemformulierung	202
5.2	Literatursuche und Literaturauswahl	202
5.3	Analyse und Interpretation der relevanten Literatur	214
5.3.1	Literaturübersicht	214
5.3.2	Prozesse, Kriterien, Methoden und Software-Werkzeuge zur Bewertung und Auswahl von Software (RQ 5.1)	227
5.3.3	Bei der Bewertung und Auswahl von Software untersuchte Software-Kategorien (RQ 5.2)	251
5.4	Bibliometrische Analyse der relevanten Literatur	254
5.5	Zusammenfassung	263

---

5.5.1	Trends und Herausforderungen .....	263
5.5.2	Forschungslücken und offene Forschungsfragen .....	264
<b>6</b>	<b>Stand der Technik bei der Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen .....</b>	<b>265</b>
6.1	Problemformulierung .....	268
6.2	Literatursuche und Literaturauswahl .....	269
6.3	Analyse und Interpretation der relevanten Literatur .....	278
6.3.1	Literaturübersicht .....	278
6.3.2	Prozesse, Kriterien, Methoden und Software-Werkzeuge zur Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen (RQ 6.1) ....	279
6.3.3	Gegenüberstellung von IoT-Software-Plattformen (RQ 6.1) .....	316
6.3.4	IoT-Software-Plattformen in Wissenschaft und Praxis (RQ 6.2) .....	335
6.4	Bibliometrische Analyse der relevanten Literatur .....	342
6.5	Zusammenfassung .....	354
6.5.1	Trends und Herausforderungen .....	354
6.5.2	Forschungslücken und offene Forschungsfragen .....	356
<b>7</b>	<b>Taxonomie und Referenzarchitektur zur einheitlichen Beschreibung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen .....</b>	<b>359</b>
7.1	Verwandte Arbeiten .....	361
7.1.1	Taxonomien und Referenzarchitekturen allgemein .....	361
7.1.2	Taxonomien und Referenzarchitekturen für IoT-Software-Plattformen .....	362
7.2	Wissenschaftliche Vorgehensweise .....	364
7.2.1	Ermittlung der sieben wichtigsten IoT-Software-Plattformen .....	364
7.2.2	Durchführung einer qualitativen Inhaltsanalyse zur Ableitung einer Taxonomie auf Basis der Unterlagen der sieben wichtigsten IoT-Software-Plattformen .....	367
7.3	Taxonomie und Referenzarchitektur zur einheitlichen Beschreibung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen .....	369
7.3.1	Taxonomie für IoT-Software-Plattformen .....	369

7.3.2	Referenzarchitektur für IoT-Software-Plattformen .....	370
7.3.3	Kernfunktionen von IoT-Software-Plattformen .....	370
7.3.4	Querschnittsfunktionen von IoT-Software-Plattformen .....	379
7.4	Verwendung der Referenzarchitektur im Rahmen von Projekten zur Bewertung und Auswahl der am besten geeigneten IoT-Software-Plattform aus einer Menge von Kandidaten .....	380
7.4.1	Einsatz der Referenzarchitektur innerhalb der Screening Phase eines Bewertungs- und Auswahlprojektes .....	380
7.4.2	Vergleich der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen .....	382
7.4.3	Bewertung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen .....	384
7.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	385
7.5.1	Implikationen für Wissenschaft und Praxis .....	385
7.5.2	Einschränkungen und zukünftige Forschung .....	386
<b>8</b>	<b>Methode zur Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen .....</b>	<b>387</b>
8.1	Method Engineering als grundlegende Vorgehensweise für die Entwicklung der Methode .....	388
8.1.1	Methode vs. Methodik vs. Methodologie .....	388
8.1.2	Method Engineering .....	390
8.2	Beschreibung der entwickelten Methode .....	393
8.2.1	Kombination des Analytic Hierarchy Process mit der entwickelten Referenzarchitektur .....	393
8.2.2	Abbildung des Entscheidungsproblems in einer Entscheidungshierarchie .....	396
8.2.3	Absolute Bewertung zur Beurteilung der Alternativen .....	403
8.2.4	Prozessschritte der entwickelten Methode .....	408
8.3	IoT PRISM – Prototypische Implementierung eines Software-basierten Auswahlwerkzeuges zur Unterstützung der entwickelten Methode .....	429
8.3.1	Software-Architektur .....	429
8.3.2	Entwicklungs- und Testsystem .....	431

---

8.3.3	Kosten- und Aufwandsschätzung gemäß COCOMO .....	431
8.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	435
8.4.1	Implikationen für Wissenschaft und Praxis .....	435
8.4.2	Einschränkungen und zukünftige Forschung .....	437
<b>9</b>	<b>Demonstration und Evaluation der entwickelten Artefakte .....</b>	<b>441</b>
9.1	Evaluationsmethoden der gestaltungsorientierten Forschung .....	442
9.1.1	Übersicht über Evaluationsmethoden .....	442
9.1.2	Verwendete Evaluationsmethoden .....	446
9.1.3	Grundlagen zu Fallstudien .....	448
9.2	Fallstudie: Anwendungsabhängig Bewertung und Auswahl der am besten geeigneten IoT-Software-Plattform für eine anwendungsorientierte Forschungseinrichtung .....	451
9.2.1	Einleitung .....	451
9.2.2	Unternehmens- und Fallbeschreibung .....	454
9.2.3	Aufbau und Durchführung der Fallstudie .....	455
9.2.4	Im Rahmen der Fallstudie mit Hilfe von IoT PRISM getroffene Auswahlentscheidung .....	461
9.2.5	Umsetzung eines IoT-Anwendungsfalls auf Basis der ausgewählten IoT-Software-Plattform ThingsBoard Community Edition .....	463
9.2.6	Analyse und Bewertung der Ergebnisse .....	467
9.3	Zusammenfassung .....	480
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick .....</b>	<b>481</b>
10.1	Zentrale Forschungsergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen .....	481
10.1.1	Stand der Technik im Bereich der Bewertung und Auswahl von Software-Lösungen allgemein sowie von IoT-Software-Plattformen im Besonderen .....	482
10.1.2	Einheitliche Beschreibung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen auf Basis einer Taxonomie und Referenzarchitektur .....	485
10.1.3	Methode zum Vergleich und zur Bewertung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen auf Basis einer Taxonomie und Referenzarchitektur .....	486

10.1.4	Methode zur Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen .....	487
10.2	Implikationen für Wissenschaft und Praxis .....	488
10.3	Kritische Würdigung und weiterer Forschungsbedarf .....	489
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>495</b>