

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
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
2	Untersuchungsprozess und wissenschaftliche Vorgehensweise	11
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
3	Leitende Begrifflichkeiten der vorliegenden Forschungsarbeit	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

4 Systematische Literaturanalysen zur Erhebung des Stands der Technik	151
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 durchgeföhrten 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
5 Stand der Technik bei der Bewertung und Auswahl von Software allgemein	199
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
6	Stand der Technik bei der Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen	265
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
7	Taxonomie und Referenzarchitektur zur einheitlichen Beschreibung der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen	359
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
8	Methode zur Bewertung und Auswahl von IoT-Software-Plattformen	387
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
9	Demonstration und Evaluation der entwickelten Artefakte	441
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
10	Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick	481
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
Literaturverzeichnis	495