

Universität Stuttgart

Green Business Process Management: Methode und Realisierung

Von der Fakultät für Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Alexander Nowak

aus Schwäbisch Hall (Baden-Württemberg)

Hauptberichter: Prof. Dr. Frank Leymann

Mitberichter: Prof. Dr. Schahram Dustdar

Tag der mündlichen Prüfung: 08.10.2014

Institut für Architektur von Anwendungssystemen
der Universität Stuttgart

2014

ZUSAMMENFASSUNG

Die Veränderung des weltweiten Klimas macht deutlich, dass die Entwicklungen der globalen Märkte neben ökonomischen Aspekten zunehmend auch die Erhaltung und Verbesserung der Umweltzustände anstreben müssen. Für die Definition von Umweltzielen und -regularien wurden durch verschiedene nationale und internationale Gremien Kriterien und Ansätze beschrieben, welche häufig als Vorgaben an Unternehmen auf nationaler Ebene weitergegeben werden. Ein Beispiel hierfür ist der Handel mit CO₂-Zertifikaten, bei dem Unternehmen den von ihnen ausgestoßenen Anteil von CO₂ durch Zertifikate abdecken müssen. Damit Unternehmen diese gesetzlichen Auflagen einhalten und die damit verbundenen monetären Belastungen reduzieren können, müssen geeignete Maßnahmen zur Reduktion des negativen Umwelteinflusses aller unternehmerischen Aktivitäten entwickelt werden. Für die Ermittlung des Umwelteinflusses eines Unternehmens wurden bereits verschiedene Methoden entwickelt, wie beispielsweise der ISO Standard 14000 und das Life Cycle Assessment. Diese Methoden zielen jedoch häufig nur auf die Erfassung des Umwelteinflusses von Produkten ab und reichen nicht aus, eine ganzheitliche Optimierung des Umwelteinflusses eines Unternehmens und seiner Abläufe zu erreichen. Umweltaspekte müssen direkt in das Management und die strategische Entwicklung von Unternehmen integriert werden. Sie müssen in der Lage sein, den Umwelteinfluss des unternehmerischen Handelns abzubilden, zu analysieren und hinsichtlich der konventionellen Optimierungskriterien Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität abzuwägen, ohne dabei auf eine schnelle und flexible Anpassung an sich verändernde Marktsituationen zu verzichten.

In dieser Dissertation wird eine Erweiterung des existierenden Geschäftsprozessmanagements unter Einbeziehung zugehöriger Methoden und Werkzeuge eingeführt, welche es Entscheidungsträgern ermöglicht, die strategische Entwicklung eines Unternehmens durch ökologische Aspekte zu ergänzen. Die entwickelten Konzepte zeigen, wie Key

Zusammenfassung

Performance Indicators, unterstützende IT-Infrastrukturen und die strategische Unternehmensgestaltung für die Integration dieser Aspekte erweitert werden müssen.

Zur Unterstützung der vorgestellten Erweiterungen des Geschäftsprozessmanagements wurde ein allgemeines Vorgehensmodell definiert, welches aus ökologischer Sicht die Definition von Key Ecological Indicators, die Abbildung von Ressourcen auf Prozessmodelle und -aktivitäten, die Definition spezifischer Monitoringmodelle und die ökologische Analyse von Geschäftsprozessen abdeckt. Die Umsetzung dieser Aspekte wird jeweils exemplarisch durch spezifisch entwickelte Methoden aufgezeigt. Für das Management von Geschäftsprozessen auf Basis der analysierten Informationen definiert die vorliegende Arbeit einen auf Patterns basierenden Ansatz. Hierzu wurde eine Menge von Green Business Process Patterns identifiziert und dokumentiert. Die Entwicklung eines Pattern Support Frameworks hilft Entscheidungsträgern anschließend, diese Patterns für eine zielorientierte Optimierung von Geschäftsprozessen einzusetzen. Ausgehend von konkreten Problemstellungen begleitet das Pattern Support Framework damit die Identifikation geeigneter Patterns, welche im Anschluss auf konkrete Lösungsimplementierungen übertragen werden können.

Die in der vorliegenden Arbeit eingeführten Konzepte erlauben es Entscheidungsträgern, neben ökonomischen auch ökologische Entscheidungsaspekte in der Entwicklung von Geschäftsprozessen zu berücksichtigen. Die Verbesserung des Umwelteinflusses zielt damit nicht nur direkt auf den ökologischen Fußabdruck eines Produktes oder Services ab, sondern ermöglicht eine durchgängige Restrukturierung aller an der Erzeugung oder Bereitstellung beteiligten Abläufe. Die entwickelten Prototypen zeigen exemplarisch die Implementierung der verschiedenen Konzepte und unterstützen sowohl Entscheidungsträger als auch Optimierungsteams bei der Verbesserung des Umwelteinflusses. Die Anwendbarkeit der Konzepte und Werkzeuge wird zudem in einer Fallstudie validiert.

ABSTRACT

Changes in the worldwide climate more and more reveal that the development of global markets and the associated enterprises not only have to consider economic objectives but also to an increasing degree the environmental influence of organizational acting. Definitions for environmental targets, prescriptive limits, and legislative regulations have been discussed and elaborated by various national and international committees. Most of these definitions are resulting in statutory requirements for enterprises, like the trade of CO₂-certificates, for example. In order to be compliant with those legislative regulations as well as to improve public perception and to adapt changing customer requirements, organizations need suitable methods to capture and reduce their environmental impact. To determine the environmental influence of an organization different standards and frameworks have been developed, like the ISO Standard 14000 and the Life Cycle Assessment. These methods widely aim at improving the environmental impact of products yet are not very comprehensive with respect to improving an organization and its business processes. Environmental aspects have to be integrated in the management and strategic development of organizations. They need to be able to indicate the environmental influence of an organization's activities, to analyze them and integrate and balance them with respect to existing optimization criteria. Nevertheless, environmental aspects must not hinder the quick and flexible adaption of businesses to changing market demands.

In this dissertation an extension of common Business Process Management is introduced. Furthermore, associated methods and tools are provided to support stakeholders with an ecologically driven strategic development of businesses. Particularly, the developed concepts describe how Key Performance Indicators, supporting IT-Infrastructures and the strategic business development must be extended in order to integrate

Abstract

heterogeneous environmental aspects into existing business process management approaches.

To support the use of the introduced concepts and methods a generic procedure model is introduced. This model mainly focuses on how Key Ecological Indicators are defined, how resources are mapped to processes and their activities, how monitoring models are defined, and how an environmental-based analysis is performed. Each of these aspects is exemplarily addressed by a suitable method. Moreover, to allow stakeholders a subsequent restructuring of business processes, a pattern-based optimization approach is introduced as well as a set of Green Business Process Patterns. To ease the identification of suitable Patterns for restructuring a business process a Pattern Support Framework is provided. Based on the earlier analysis of the Key Environmental Indicators the Pattern Support Framework supports the identification of individual patterns that subsequently can be mapped to concrete solution implementations.

The introduced concepts of this dissertation allow stakeholders to consider both economic and ecological aspects for the development of business processes. Therefore, the optimization of the environmental footprint does not only focus on products and services but also allows restructuring business processes in a holistic way. The feasibility of the introduced concepts is evaluated by a prototypical implementation. Moreover, the applicability of the concepts and tools is validated in a case study.

DANKSAGUNGEN

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen. Mein besonderer Dank gilt an erster Stelle Prof. Dr. Frank Leymann für die Unterstützung und Betreuung dieser Dissertation. Vielen Dank für die zahlreichen Diskussionen, wertvollen Anmerkungen und motivierenden Worte. Darüber hinaus möchte ich mich auch bei Univ.-Prof. Schahram Dustdar für die Bereitschaft der Übernahme des Mitberichts bedanken.

Bei allen Mitarbeitern des Instituts für Architektur von Anwendungssystemen (IAAS) der Universität Stuttgart möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit, die zahlreichen Diskussionen und die unvergessliche Zeit bedanken. Besonderen Dank möchte ich den Kollegen aussprechen, die mich im Rahmen meiner wissenschaftlichen Publikationen tatkräftig unterstützt haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich noch bei den Menschen bedanken, die dies alles überhaupt möglich gemacht haben: meine Eltern Claudia und Rolf. Sie haben mich während meiner Schul- und Universitätszeit immer unterstützt und mir damit den Weg zur Promotion erst möglich gemacht. Vielen Dank!

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	III
Abstract.....	V
Danksagungen.....	VII
Inhaltsverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	XV
Listing-verzeichnis.....	XIX
Tabellenverzeichnis.....	XXI
Abkürzungsverzeichnis.....	XXIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Kontext, Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Forschungsfragen und -beiträge.....	10
1.2.1 Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen.....	10
1.2.2 Analyse von Geschäftsprozessen.....	11
1.2.3 Optimierung von Geschäftsprozessen.....	13
1.2.4 Implementierung der Konzepte.....	14
1.3 Aufbau der Arbeit.....	15
1.4 Publikationen.....	17
2 Grundlagen und verwandte Arbeiten.....	21
2.1 Business Process Management.....	22
2.2 Umweltindikatoren und -standards.....	29
2.3 Green Computing.....	31
2.4 Green Business Process Management.....	34

Inhaltsverzeichnis

2.5 Flexible Prozessvisualisierung	36
3 Green Business Process Management	39
3.1 Definition von Green Business Process Management.....	41
3.1.1 Einordnung von Ökologie und Nachhaltigkeit	44
3.1.2 Ökologie, Nachhaltigkeit und Geschäftsprozessmanagement	47
3.2 Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements	51
3.2.1 Green Business Process Management Lebenszyklus	52
3.2.2 Key Ecological Indicators	66
3.2.3 IT-Architektur des Green BPMs	74
3.2.4 Strategischen Aspekte des Green BPMs	81
3.3 Zusammenfassung Kapitel 3	95
4 Green Business Process Management - Methoden.....	97
4.1 Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM	98
4.2 Identifikation und Definition von Key Ecological Indicators	101
4.3 Mapping von Ressourcen und Geschäftsprozessen.....	104
4.3.1 Allgemeine Vorgehensweise	104
4.3.2 Beispielumsetzung: Enterprise Topology Graphs	106
4.4 Definition eines Monitoringmodells.....	108
4.4.1 Allgemeine Vorgehensweise	108
4.4.2 Beispielumsetzung: Energieverbrauch eines Geschäftsprozesses	111
4.4.3 Persistierung der Umweltinformationen.....	120

4.5	Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen	121
4.5.1	Flexible visuelle Repräsentation von Geschäftsprozessen ...	122
4.5.2	Identifikation geeigneter Visualisierungen für Prozessaktivitäten	135
4.5.3	Weiterführende Arbeiten zur visuellen Analyse von Geschäftsprozessen	141
4.6	Identifikation und Auswahl von Optimierungsalternativen.....	142
4.7	Zusammenfassung Kapitel 4	143
5	Pattern-basierte Optimierung von Geschäftsprozessen	145
5.1	Patterns und Geschäftsprozesse.....	147
5.2	Identifikation von Green Business Process Patterns	150
5.2.1	Übersicht des Vorgehensmodells	151
5.2.2	Charakteristika aus der Domäne ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse	154
5.3	Ein Beschreibungsformat für Green Business Process Patterns....	158
5.4	Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns.....	161
5.4.1	Übersicht und Kategorisierung.....	163
5.4.2	Explizite Green Business Process Patterns.....	168
5.4.3	Implizite Green Business Process Patterns: Workflows.....	190
5.4.4	Implizite Green Business Process Patterns: Enterprise Application Architectures.....	200
5.4.5	Implizite Green Business Process Patterns: Cloud Computing.....	213
5.4.6	Diskussion der Green Business Process Patterns	228

5.5 Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns.....	231
5.5.1 Analyse ökologischer Problembereiche	234
5.5.2 Auswahl geeigneter Green Business Process Patterns	235
5.5.3 Definition von Adaptionentscheidungen	244
5.5.4 Umsetzung von Adaptionentscheidungen.....	246
5.5.5 Monitoring und Analyse des optimierten Prozessmodells ...	251
5.6 Zusammenfassung Kapitel 5	252
6 Prototypische Implementierung.....	255
6.1 KEI Monitoring- und Analysesystem.....	256
6.1.1 KEI Monitor	257
6.1.2 KEI Web Services	263
6.1.3 DBMS	267
6.2 Pattern Support System	269
7 Fallstudie	273
7.1 Ausgangslage: Data Consolidation Process	273
7.2 Definition eines Ressourcenmodells	274
7.3 Definition eines Monitoringmodells.....	276
7.4 Monitoring und Prozessanalyse.....	278
7.5 Identifikation von Optimierungsalternativen.....	280
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	289
8.1 Zusammenfassung.....	289
8.2 Ausblick	293

Literaturverzeichnis.....	296
Liste der mathematischen Formeln & Symbole	323
Ehrenwörtliche Erklärung	327

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lange Wellen der Weltkonjunktur nach Kondratieff (in Anlehnung an [Coe13])	2
Abbildung 2: Treiber, Einflussfaktoren und Risiken der ökologischen Optimierung von Unternehmen (in Anlehnung an [Ols09])	6
Abbildung 3: Übersicht des Lösungsansatzes der vorliegenden Arbeit	8
Abbildung 4: Abgrenzung der verschiedenen Forschungsansätze	9
Abbildung 5: Übersicht eines integrierten Geschäftsprozessmanagements (in Anlehnung an [Gad09])	25
Abbildung 6: „Devil’s Quadrangle“ - Optimierungskriterien des Geschäftsprozessmanagements (in Anlehnung an [MR05])	26
Abbildung 7: Optimierungsperspektiven BPM (links) und Green BPM (rechts)	41
Abbildung 8: Umweltrelevante Einflussfaktoren von Geschäftsprozessen auf Basis der Stoff-und Energieflussanalyse [Bau01]	42
Abbildung 9: Dimensionen der ökologisch nachhaltigen Optimierung unternehmerischen Handels	44
Abbildung 10: Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung eines Unternehmens (in Anlehnung an [Sch02a])	46
Abbildung 11: Business Process Change Model (in Anlehnung an [KTG97])	47
Abbildung 12: Um ökologische Aspekte erweiterter Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 13: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren und KPIs	68
Abbildung 14: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren, KPIs und Umweltindikatoren	72
Abbildung 15: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren, KPIs, Umweltindikatoren und KEIs	73
Abbildung 16: Erweiterte Geschäftsprozessmanagement Architektur (in Anlehnung an [BCC+06]	75
Abbildung 17: Wertschöpfungskette nach M. Porter [Por85]	81
Abbildung 18: Auswirkungen des Zielkonflikts auf das Design von Prozessen und Ressourcen	83
Abbildung 19: Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM	99
Abbildung 20: Schritte zur Definition eines Ressourcenmodells	105
Abbildung 21: Beispiel eines ETG-Segments für einen Workflow	107
Abbildung 22: Allgemeines Vorgehen zur Definition von Monitoringmodellen	109
Abbildung 23: Einordnung der Visualisierungskomponenten in den erweiterten Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus	123
Abbildung 24: Übersicht der Aufgaben und Rollen zur Erstellung einer Prozessvisualisierung	124
Abbildung 25: Begriffsmodell der Elemente einer lose gekoppelten Prozessvisualisierung	126
Abbildung 26: Struktur eines Variabilitätspunktes in einer SVG-Datei..	128
Abbildung 27: Visualisierungstemplate mit Variabilitätspunkten (links) und konkreten Analysedaten (rechts)	130

Abbildung 28: Innere Zusammenhänge einer Visualisierungskonfiguration.....	131
Abbildung 29: Prozessvisualisierung eines Beispielprozesses.....	133
Abbildung 30: Vorgehensmodell zur Identifikation von Patterns.....	152
Abbildung 31: Graphische Symbole der Lösungsskizzen.....	160
Abbildung 32: Vorgehensmodell zur Pattern-basierten Optimierung von Geschäftsprozessen.....	232
Abbildung 33: Übersicht des Pattern Support Frameworks	236
Abbildung 34: Übersicht der Zuordnung von Optimierungsanforderungen und Patterns	240
Abbildung 35: Grundmodell der präskriptiven Entscheidungstheorie (in Anlehnung an [Hab06]).....	245
Abbildung 36: Beispielumsetzung des Patterns: Resource Change	249
Abbildung 37: Beispielumsetzung des Green Compensation Patterns....	251
Abbildung 38: Hauptkomponenten des KEI Monitoring und Analyse Systems.....	256
Abbildung 39: Sequenzdiagramm des Event Handlers	257
Abbildung 40: KEI Konfigurationswizard	261
Abbildung 41: Sequenzdiagramm des Post-Processing & Persisting Service	262
Abbildung 42: Einstiegsseite des KEI Dashboards	263
Abbildung 43: Visualisierung eines Prozessmodells, bei welcher der Energieverbrauch der Aktivitäten durch verschiedene Farben dargestellt wird	264
Abbildung 44: Beispielseite des Pattern Support Systems	270

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 45: Übersicht des Data Consolidation Prozesses.....	274
Abbildung 46: Prozess- und Ressourcenmodell des Data Consolidation Prozesses	275
Abbildung 47: Übersicht des Energieverbrauchs des Data Consolidation Prozesses	280
Abbildung 48: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 1 von 3	281
Abbildung 49: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 2 von 3	282
Abbildung 50: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 3 von 3	283
Abbildung 51: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Ergebnisliste (Ausschnitt)	284
Abbildung 52: Green Resource Change Pattern (Ausschnitt) innerhalb des Pattern Support System	285
Abbildung 53: Ausgewählte Patterns zur Optimierung des Data Consolidation Process, zusammengefasst in einer Lösung.....	286

LISTING-VERZEICHNIS

Listing 4.1: Definition eines flexiblen NodeValues in einem Visualisierungstemplate.....	129
Listing 4.2: Definition eines flexiblen Attributes in einem Visualisierungstemplate.....	129
Listing 4.3: Beispiel für eine Konfiguration von Visualisierungstemplates	132
Listing 6.1: Beispiel einer KEI-Prozesskonfiguration.....	260
Listing 6.2: Beispielkonfiguration processIndicatorDefinition.xml	266
Listing 7.1: Vorgehen zur Ermittlung des Energieverbrauchs eines Web Services	277

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele zur Implementierung ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse	4
Tabelle 2: Übersicht verschiedener Ansätze des Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus und ihren jeweiligen Phasen.....	53
Tabelle 3: Strategische Fragestellungen im Bereich Eingangslogistik.....	84
Tabelle 4: Strategische Fragestellungen im Bereich Produktion.....	85
Tabelle 5: Strategische Fragestellungen im Bereich Ausgangslogistik.....	86
Tabelle 6: Strategische Fragestellungen im Bereich Marketing und Vertrieb.....	88
Tabelle 7: Strategische Fragestellungen im Bereich Beschaffung	89
Tabelle 8: Strategische Fragestellungen im Bereich Technologieentwicklung.....	91
Tabelle 9: Strategische Fragestellungen im Bereich Personalmanagement	92
Tabelle 10: Strategische Fragestellungen im Bereich Unternehmensinfrastruktur	94
Tabelle 11: Übersicht gängiger Umweltindikatoren	102
Tabelle 12: Hardware Performance Counter.....	113
Tabelle 13: Beispiele für Visualisierungstemplates	138
Tabelle 14: Übersicht der Green Business Process Patterns	163
Tabelle 15: Allgemeine Beziehungen zwischen Green Business Process Patterns	167

Tabellenverzeichnis

Tabelle 16: Ökonomische Klassifikation von Green Business Process Patterns	243
Tabelle 17: Übersicht des durchschnittlichen Energieverbrauchs des Data Consolidation Prozesses.....	279
Tabelle 18 Definiertes TradeMe Energiemix	279
Tabelle 19: Mathematische Symbole und Funktionen der vorliegenden Arbeit	323

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Langform
BPM	Business Process Management
BPR	Business Process Reengineering
CEI	Core Environmental Indicator
CEP	Complex Event Processing
CSS	Cascading Style Sheet
EEA	European Environment Agency
ESB	Enterprise Service Bus
ESLA	Ecological Service Level Agreements
ETG	Enterprise Topology Graph
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
FSC	Forest Stewardship Councils
GPI	Green Performance Indikatoren
GPM	Geschäftsprozessmanagement
IaaS	Infrastructure as a Service
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
KEI	Key Ecological Indicator
KPI	Key Performance Indicator
LCA	Life Cycle Assessment
PaaS	Platform as a Service

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
PET	Polyethylen-Terephthalat
QoS	Quality of Service
SOA	Service-Orientierte Architektur
SVG	Scalable Vector Graphic
VM	Virtual Machine
WCED	World Commission on Environment and Development
WUE	Water Usage Effectiveness

EINLEITUNG

1.1 Kontext, Problemstellung und Motivation

Der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) im September 2013 veröffentlichte Bericht [SQP+13] zum weltweiten Klimawandel zeigt deutlich, dass die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen der heutigen Zeit eine explizite Berücksichtigung von Umweltaspekten immer weiter in den Vordergrund stellen müssen. Nicht nur die Endlichkeit vieler wichtiger Rohstoffe, sondern auch der deutliche Anstieg der weltweiten Treibhausgase setzt ein geeignetes Handeln in privaten und industriellen Umgebungen voraus. Die Europäische Kommission hat im März 2007 Ziele zur Erreichung einer hochenergieeffizienten Wirtschaft definiert, welche unter anderem eine Senkung der Treibhausgase bis zum Jahr 2020 um 20%, gegenüber dem Jahr 1990, vorsehen [Eur07].

Der Ausstoß an Treibhausgasen sowie der induzierte Energieverbrauch hängen dabei maßgeblich von den wirtschaftlichen Entwicklungen eines Landes ab. In industrialisierten Ländern beschreibt die Theorie der langen Wellen nach Kondratieff in fünf Zyklen die verschiedenen Phasen der wirtschaftlichen Entwicklungen der letzten Jahrhunderte, von der Erfindung der Dampfmaschine und der industriellen Revolution, bis hin zur IT-Technik und Telekommunikation (vgl. Abbildung 1, in Anlehnung an [Coe13]). Die Theorie geht weiter davon aus, dass mittel- und langfristiges wirtschaftliches Wachstum nur durch die Beseitigung von Engpässen, welche gegen Ende jeder Phase auftreten, ermöglicht werden kann. Weiterführungen dieser Theorie [NNS10][Nef07] sehen insbe-

sondere Umweltaspekte, Biotechnologie und das Gesundheitswesen als die relevanten Entwicklungen unserer Zeit und schließen daraus die Basis eines sechsten Kondratieff.

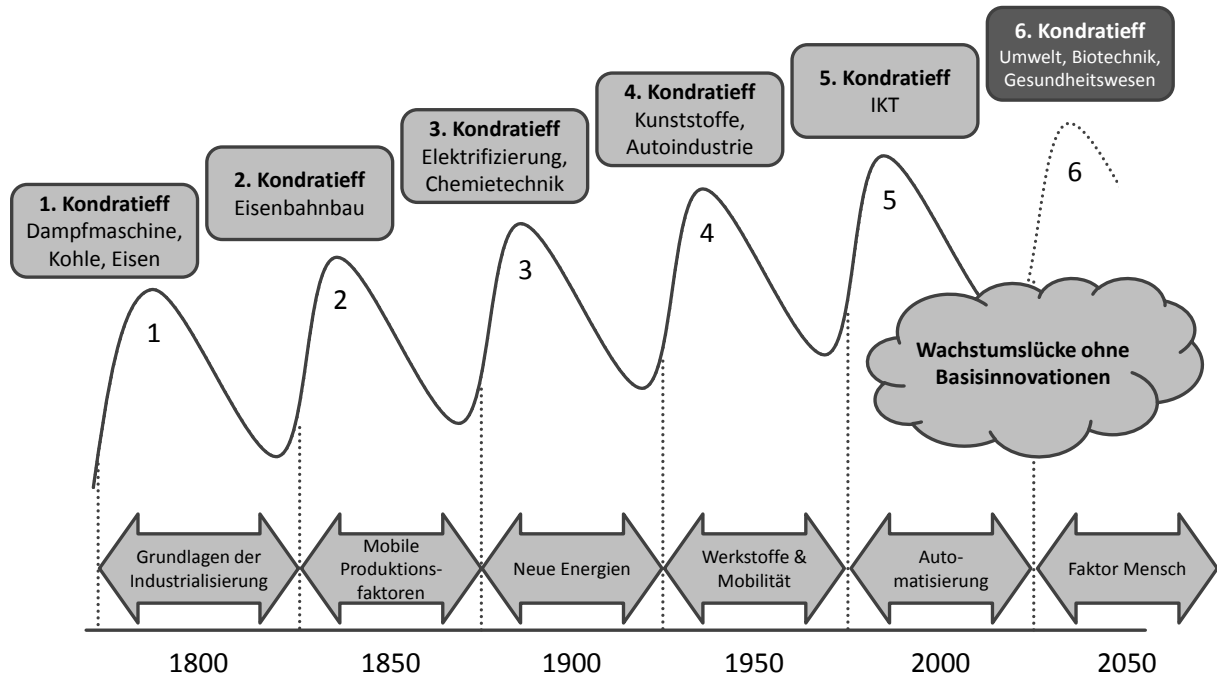


Abbildung 1: Lange Wellen der Weltkonjunktur nach Kondratieff (in Anlehnung an [Coe13])

Für die Entwicklungen des sechsten Kondratieff sind verschiedene Engpässe bzw. Entwicklungsstufen zu überwinden. Betrachtet man hierzu die fünfte Stufe, so lastet ein besonderes Augenmerk auf der Integration und Erweiterung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) zur Überwindung dieser Hindernisse. Zur Vermeidung einer Wachstumsücke und Annahme der Herausforderungen des sechsten Zyklus, muss die IKT Ansätze, Methoden und Lösungen bereitstellen, welche den Faktor Menschen bei der Adressierung der Aspekte Umwelt, Biotechnologie und Gesundheitswesen entsprechend unterstützen.

Die Möglichkeiten der IKT zur Adressierung von Umweltaspekten haben zwei Seiten [BCH08][WB12]. Zum einen tragen IT-Komponenten selbst zur Steigerung des negativen Umwelteinflusses bei, insbesondere durch die immer weiter wachsende Leistungsfähigkeit und den damit

1.1 | Kontext, Problemstellung und Motivation

korrelierenden Energieverbrauch. Studien haben gezeigt, dass der Anteil des IKT-bedingten weltweiten Energiebedarfs bereits von 4% im Jahr 2007 auf 4,7% im Jahr 2012 gestiegen ist [LLH+13][PVD+08]. Die weiter wachsende Durchdringung der IT im privaten und wirtschaftlichen Alltag führt dazu, dass diese Wachstumsraten weiter ansteigen werden.

Der durch die Nutzung von IT direkt induzierte Energieverbrauch erscheint mit derzeit ca. 4,7% vergleichsweise gering. Durch die allgegenwärtige Nutzung und weitere Durchdringung der IT, sowohl im privaten als auch im unternehmerischen Umfeld, kann die IT jedoch auch einen indirekten Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauches leisten. Zum anderen betrachtet der Aspekt der effizienten Ressourcennutzung deshalb den Einsatz und das Nutzungsverhalten von IT. Durch den zielgerichteten und effizienten Einsatz von IT zur Unterstützung betrieblicher und privater Abläufe, können Einsparungen im gesamten Energieverbrauch einer industrialisierten Volkswirtschaft von bis zu 20% erreicht werden [Min07][Sma13].

Aus Unternehmenssicht kann dies nur erreicht werden, wenn die Gestaltung der Geschäftsprozesse, d.h. die Gestaltung der Struktur von Prozessen sowie die Auswahl der verwendeten Ressourcen, auch ökologische Ziele adressiert. Hierzu muss eine Unterstützung durch geeignete Informationssysteme gewährleistet werden, da diese den Umwelteinfluss wirtschaftlichen Handelns durch die Unterstützung von umweltverträglichen Unternehmensabläufen (Geschäftsprozessen) positiv verbessern können. Ansätze, welche das “design and implementation of information systems that contribute to sustainable business processes” verfolgen, werden typischerweise unter dem Begriff *Green IS* zusammengefasst [BCH08]. Hierunter ist jedoch nicht ausschließlich ein ökologisch nachhaltiges Design von Informationssystemen, sondern auch ein entsprechendes Design von Geschäftsprozessen zu verstehen.

Verschiedene Forschungsansätze [vBSR12][GHH+10][WB12] haben die Eignung eines umfassenden Geschäftsprozessmanagements und ein

entsprechendes Design von Informationssystemen zur Reduzierung des Umwelteinflusses von unternehmerischen Tätigkeiten bereits dargestellt. Neben den Ansätzen der Forschungsliteratur [CFP+10][CFF+10][GHH+10][HGL10][HG10][HRF+10] ist auch in der Praxis ein zunehmendes Interesse an der Gestaltung ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse zu erkennen [Bas14][Dan14][DHL13][DB13][Fen14][Fin14][Fir14][Swi14][Tch14]. Immer mehr Unternehmen versuchen den Umwelteinfluss ihrer Geschäftsprozesse durch die Definition und Realisierung von Geschäftsstrategien und der damit verbundenen Adaption ihrer Geschäftsprozesse zu verbessern. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl der aus der Praxis identifizierten ökologischen Optimierungsvorhaben verschiedener Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen.

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele zur Implementierung ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse

Anwendungsbeispiele
Die Deutsche Bahn AG hat ein so genanntes “DB Eco-Programm” eingeführt, welches beispielsweise den durch Bahnfahrten induzierten CO ₂ -Ausstoß durch verschiedene Klimaschutzprojekte kompensiert oder erneuerbare Energien einsetzt [DB2013].
Die Swiss International Air Lines AG hat neben Methoden zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ihrer Flotte auch eine Forschungsgruppe zur Identifikation alternativer Kraftstoffe eingeführt [Swi2014].
Das Logistikunternehmen DHL Vertriebs GmbH & Co. OHG bietet seinen Kunden eine “Go Green” Option an, welche den durch die Zustellung von Sendungen induzierten CO ₂ -Ausstoß durch Zahlungen an Klimaschutzprojekte kompensiert [DHL2013].
Danone Waters hat die Zusammensetzung der für ihre Getränke verwendeten Kunststoffflaschen (PET) verbessert und verwendet einen bestimmten Anteil recycelter und nachwachsender Rohstoffe [Dan2014].

1.1 | Kontext, Problemstellung und Motivation

Anwendungsbeispiele
Fjällraven, Hersteller von Outdoor- und Funktionskleidung, hat den Herstellungsprozess seiner Shell-Materialien verbessert und verzichtet auf die Verwendung von Fluorkohlenstoffen. Zudem nutzt der Hersteller natürliche Imprägnierungen, biologisch angebaute Baumwolle und recyceltes Polyester. Darüber hinaus werden weitere Teile des CO ₂ -Ausstoßes durch die Unterstützung von Klimaprojekten kompensiert [Fen2014].
Die JET Tankstellen Deutschland GmbH ist der Initiative ARKTIS beigetreten, welche weltweit Klimaprojekte unterstützt. Kunden haben hier die Möglichkeit, den durch die Verbrennung der getankten Kraftstoffe induzierten CO ₂ -Ausstoß zu kompensieren [Jet14].
Viele Energieunternehmen, beispielsweise eprimo [Epr14] oder EnBW [EnB14], bieten ihren Kunden die Möglichkeit, ausschließlich durch Solartechnik oder Wasserkraft erzeugte Energie zu beziehen.
Die Organization Atmosfair unterstützt weltweit Klimaprojekte und ermöglicht Flugpassagieren, den durch ihre Flugreise induzierten CO ₂ -Ausstoß zu kompensieren [Fir14].

Die Gründe für diese Entwicklung stecken in der Überwindung der unternehmerischen Risiken, welche in Verbindung mit einer ökologisch nachhaltigen Optimierung der Geschäftsprozesse stehen. Olson [Ols09] leitet in seinem Modell diese Risiken aus fundamentalen Treibern und den daraus resultierenden Einflussfaktoren ab. Abbildung 2 zeigt eine erweiterte Version dieses Modells. Die fundamentalen Treiber der Entwicklung sind demnach der Klimawandel sowie die zunehmenden Umweltauforderungen durch Bevölkerungswachstum und Industrialisierung. Sie beschreiben, warum ökologische Aspekte im unternehmerischen Umfeld überhaupt relevant sind. Die fundamentalen Treiber führen zu direkten Einflussfaktoren, verursacht durch das unternehmerische Handeln. Hierzu zählen beispielsweise Luft-, Wasser- und Landverschmutzung, die Endlichkeit natürlicher Ressourcen sowie der regulative und öffentliche Druck auf Unternehmen, Verantwortung für ihre Umwelt zu übernehmen. Die unterschiedlichen Einflussfaktoren lassen sich weiter auf verschiedene damit verbundene Risiken herunterbrechen:

ökonomische Risiken, regulative Risiken, Marktrisiken, operationale Risiken und Reputationsrisiken. Die Reduzierung und Überwindung dieser Risiken durch eine positive Optimierung des Umwelteinflusses eines Unternehmens führt zu unternehmerischen Chancen, beeinflusst die verschiedenen Einflussfaktoren und wirkt sich somit positiv auf die fundamentalen Treiber aus.

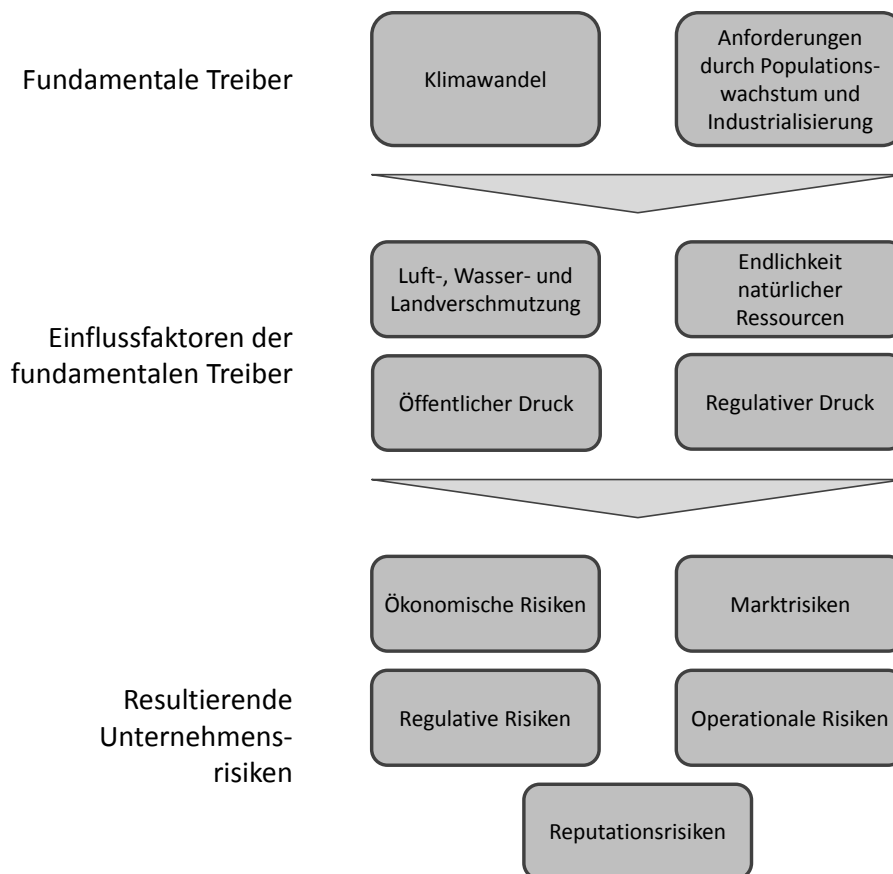


Abbildung 2: Treiber, Einflussfaktoren und Risiken der ökologischen Optimierung von Unternehmen (in Anlehnung an [Ols09])

Studien [Bon11] zeigen, dass Nachhaltigkeit, beziehungsweise ein entsprechendes Nachhaltigkeitsmanagement, in Unternehmen in vielen Fällen bereits als fester Bestandteil der globalen Unternehmensagenda angesehen wird. Jedoch zeigen diese Studien auch, dass bisher meist nur wenige, nicht formal strukturierte Aktivitäten zur Verbesserung des Umwelteinflusses zum Einsatz kommen. Dies führt meist zu prototyp-ähnlichen Insellösungen einzelner Aspekte oder Prozessbereiche. Eine

1.1 | Kontext, Problemstellung und Motivation

übergreifende Integration ökologischer Nachhaltigkeit, auch innerhalb existierender Managementansätze, ist bisher nur selten zu finden.

Trotz der stetigen Weiterentwicklung des Geschäftsprozessmanagements ist auch dieser Managementansatz bisher methodisch nicht darauf ausgelegt, Nachhaltigkeits- und Umweltaspekte umfassend abzudecken. Optimierungsansätze des Geschäftsprozessmanagements werden häufig anhand ihrer monetären Auswirkungen durchgeführt. Die verschiedenen Herausforderungen bei der Umsetzung einer ganzheitlichen Lösung zur organisatorischen Gestaltung von ökologisch nachhaltigen Unternehmen und Prozessen werden kaum betrachtet. Zur Lösung dieser Herausforderungen definiert die vorliegende Arbeit einen Lösungsansatz zur umfassenden Unterstützung der Gestaltung von Unternehmensabläufen, bei der umweltrelevante Einflussfaktoren ganzheitlich abgedeckt werden. Die Ausgangsbasis hierfür bildet das klassische Geschäftsprozessmanagement, welches als Managementansatz bereits in vielen Unternehmen eingesetzt wird. Das Ziel hierbei ist eine Erweiterung der Methoden und Techniken des Geschäftsprozessmanagements, so dass Umweltaspekte neben Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität ein zentraler Bestandteil des Designs und der Optimierung von Geschäftsprozessen werden. Hierzu müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden, wie beispielsweise die Modellierung und das Design ökologisch nachhaltiger Prozessmodelle, die Integration dieser Prozesse in die Unternehmenslandschaft, die Ausführung und das Monitoring von Prozessmodellen anhand geeigneter Messwerte und Indikatoren sowie die Analyse und Optimierung von Geschäftsprozessen zur Verbesserung des negativen Umwelteinflusses [Rec11]. Aufgrund der starken Abhängigkeit zwischen Umwelteinfluss und Ressourcennutzung müssen auch Informationssysteme sowie die IT-Infrastruktur in die Betrachtung eingehen. Die Gesamtheit der aus ökologischer Sicht relevanten Erweiterungen und Anpassungen der Methoden und Techniken des konventionellen Geschäftsprozessmanagements werden in der

vorliegenden Arbeit unter dem Begriff *Green Business Process Management (Green BPM)* zusammengefasst.

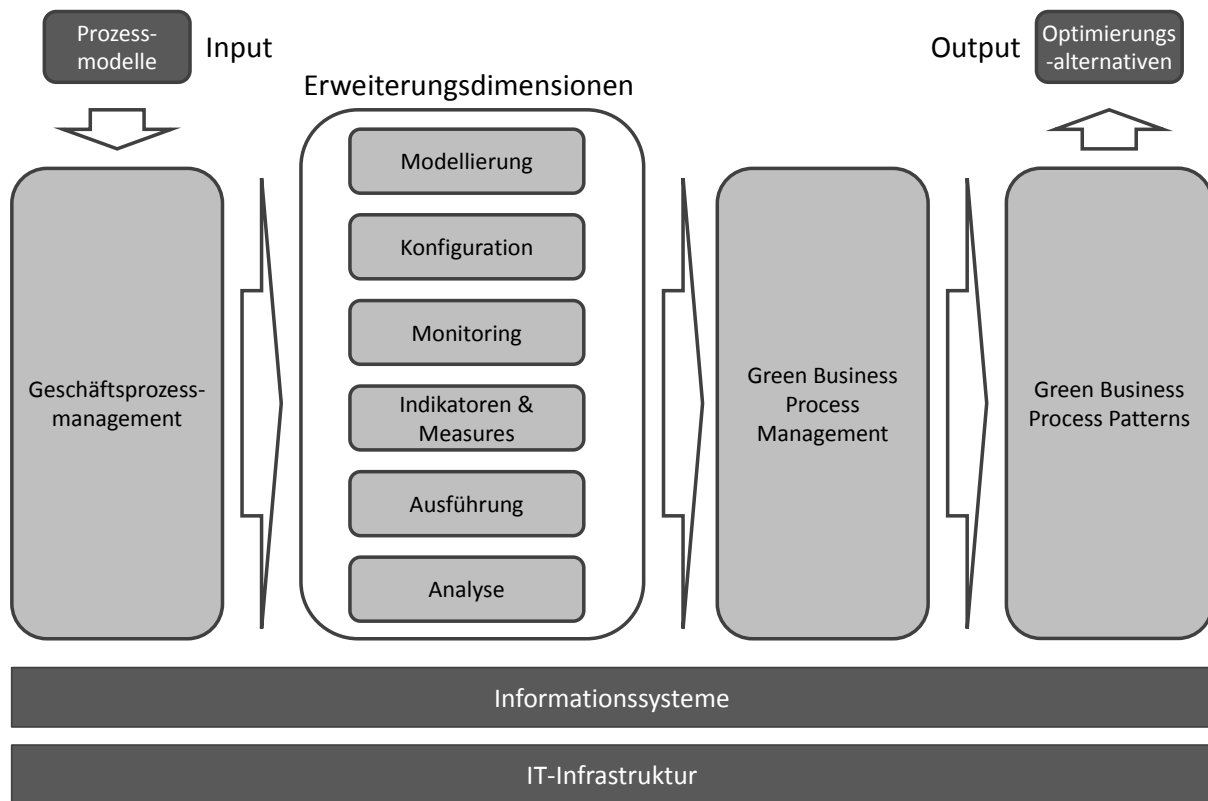


Abbildung 3: Übersicht des Lösungsansatzes der vorliegenden Arbeit

Abbildung 3 zeigt den Lösungsansatz der vorliegenden Arbeit in einer graphischen Übersicht. Der Input des Lösungsansatzes sind *Geschäftsprozessmodelle*, welche bereits in Unternehmen implementiert sind. Alternativ können mit Hilfe der verschiedenen Methoden innerhalb des Ansatzes, insbesondere durch die Verwendung der *Green Business Process Patterns*, welche bewährte Lösungsvorschläge für ökologische Problemstellungen des Geschäftsdesigns repräsentieren, auch neue, ökologisch nachhaltige Prozessmodelle definiert werden. Die dargestellten Erweiterungsdimensionen umfassen verschiedene Phasen des Geschäftsprozessmanagements, welche zur Identifikation des Umwelteinflusses und zur entsprechenden Steuerung und Optimierung von Geschäftsprozessen benötigt werden. Auf der anderen Seite beschreibt der Output abstrakte *Optimierungsalternativen*. Unter einer abstrakten Optimierungsalternative sind dabei verschiedene Handlungsempfehlungen zu verstehen, welche als

1.1 | Kontext, Problemstellung und Motivation

eine Menge ausgewählter Green Business Process Patterns repräsentiert werden und den Umwelteinfluss eines oder mehrerer Geschäftsprozesse positiv verändern. Diese Handlungsempfehlungen beschreiben in der Regel jedoch keine konkreten Realisierungsdetails, da diese je nach Geschäftsprozess und Ausführungsumgebung individuell definiert und spezifiziert werden müssen.

Abbildung 4 zeigt zudem, wie sich der Lösungsansatz der vorliegenden Arbeit in den erweiterten Kontext einer Realisierung von Optimierungsvorhaben eingliedert. Die mit dem Ansatz der vorliegenden Arbeit identifizierten Optimierungsalternativen müssen in weiteren Schritten (1) auf die konkrete Unternehmensarchitektur übertragen werden und (2) durch definierte Adaptionen Anforderungen und -regeln in konkrete Realisierungsbeschreibungen überführt werden. Diese Schritte sind nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

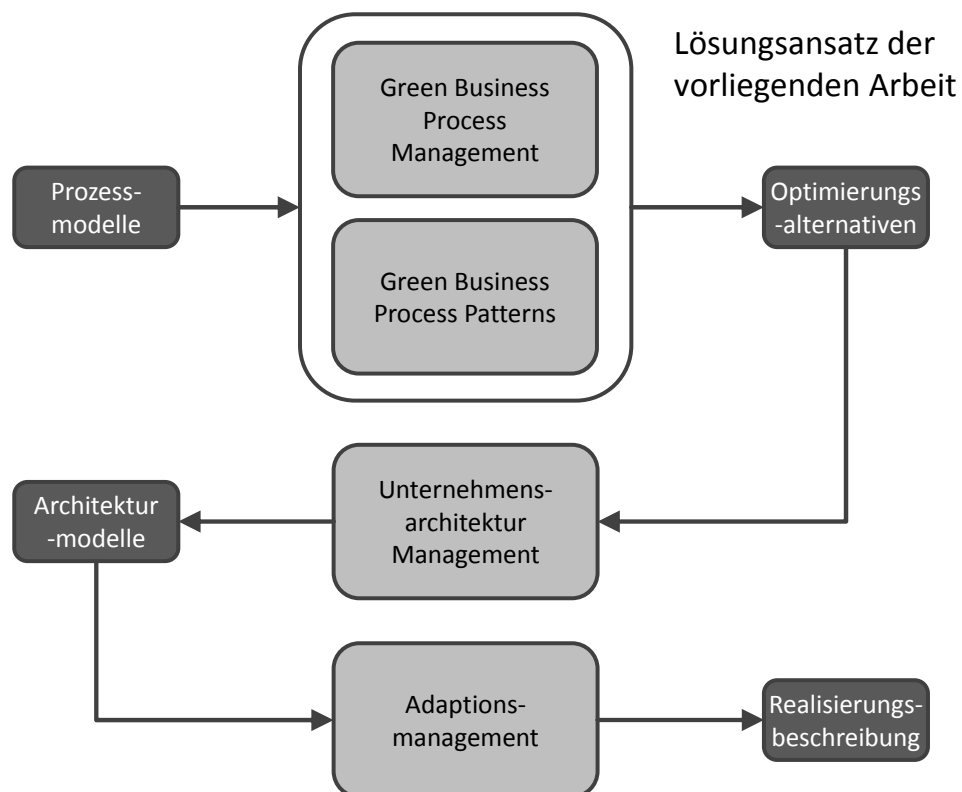


Abbildung 4: Abgrenzung der verschiedenen Forschungsansätze

1.2 Forschungsfragen und -beiträge

Die folgenden Kapitel beschreiben die aus dem vorgestellten Lösungsansatz abgeleiteten Forschungsfragen und die dazugehörigen Forschungsbeiträge der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Umsetzung eines Green Business Process Managements. Dabei soll besonderes Augenmerk auf die Nutzung und Erweiterung bewährter Methoden des Geschäftsprozessmanagements und ihrer Anwendung in einem neuartigen Umfeld gelegt werden.

1.2.1 Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen

Konventionelles Geschäftsprozessmanagement bezieht sich insbesondere auf die Reduzierung der Kosten, die Verbesserung der Qualität, die Verkürzung der Durchlaufzeit sowie die Erhöhung der Flexibilität eines Geschäftsprozesses [HC94]. Zunehmend wächst jedoch der Bedarf, auch ökologische Aspekte zu betrachten. Die Motivation zur Verbesserung des Umwelteinflusses der Geschäftsprozesse eines Unternehmens wird dabei durch die in Abbildung 2 vorgestellten Einflussfaktoren bestimmt. Diese Einflussfaktoren haben unterschiedliche Auswirkungen auf Unternehmen: (1) Es muss sichergestellt werden, dass die Endlichkeit von Ressourcen die zukünftige Unternehmensgrundlage nicht gefährdet. (2) Die Verschmutzung des menschlichen Lebensraums muss dahingehend reduziert werden, dass weitere Generationen über eine lebenswerte Umwelt verfügen und dadurch die Grundlage des Unternehmens gesichert wird. (3) Das Umweltbewusstsein in der Öffentlichkeit steigt. Zur Verbesserung der öffentlichen Wahrnehmung führen Unternehmen häufig Imagekampagnen durch, welche die Öffentlichkeit von der Nachhaltigkeit des Unternehmens überzeugen sollen. Die Basis dieser Kampagnen bilden entsprechende interne Maßnahmen zur partiellen oder umfassenden Verbesserung des Umwelteinflusses. (4) Der steigende Druck des Gesetzgebers und die Einführung neuer Regularien zwingt Unternehmen dazu, im Rahmen von Optimierungsvorhaben auch den von Geschäftsprozessen induzierten negativen Umwelteinfluss zu verbessern.

Diese Einflussfaktoren machen deutlich, dass Unternehmen ihren Umwelteinfluss kennen müssen, um die daraus entstehenden unternehmerischen Risiken zu überwinden und Chancen für neue Entwicklungen zu generieren. Oft ist jedoch nicht genau geregelt, an welcher Stelle eines Unternehmens eingespart werden kann, sondern vielmehr ist das Gesamtergebnis ausschlaggebend. Daher muss in der Regel nicht nur das Endprodukt optimiert werden, sondern der gesamte Prozess der Verarbeitung gewinnt an Bedeutung. Hinzu kommt, dass die Einhaltung der gesetzlichen Auflagen zu weiteren, teils hohen Kosten für die Unternehmen führen [Deu09]. Dieser monetäre Treiber stärkt das Interesse an der Reduzierung des Umwelteinflusses weiter. Für Unternehmen stellt sich damit die Frage, wie der Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen erfasst werden kann, wie die strategischen Ziele definiert werden müssen und wie vorhandene Arbeitsschritte, Anwendungen oder Services instrumentiert, überwacht und analysiert werden können, um alle umweltrelevanten Informationen zu beschaffen.

Beitrag 1: Definition von *Key Ecological Indicators (KEIs)* zur Beschreibung des Umwelteinflusses eines Unternehmens. Für die Integration von KEIs in Geschäftsprozessmanagement wird der Lebenszyklus des konventionellen Geschäftsprozessmanagements konzeptuell erweitert und angepasst, die notwendigen Änderungen einer das Geschäftsprozessmanagement unterstützenden IT-Architektur aufgezeigt und die strategischen und ökonomischen Auswirkungen auf Unternehmen analysiert.

1.2.2 Analyse von Geschäftsprozessen

Die Identifikation umweltrelevanter Informationen ist nur der erste Schritt in der Optimierung von Geschäftsprozessen. Die anschließende Analyse dieser Informationen ist ein integraler Bestandteil des Geschäftsprozessmanagements und von zentraler Bedeutung für das Verständnis und die Optimierung von Geschäftsprozessen. Ein übergreifendes Verständnis von Geschäftsprozessen ist notwendig, um Prozesse zielgerichtet zu steuern

und somit die strategischen und operativen Ziele des Unternehmens umzusetzen. Hierbei stellt sich insbesondere durch die stetig zunehmende Komplexität der Prozesse [VVL07] sowie die zunehmende Menge an Informationen die Frage, wie diese Informationen zielgerichtet, einfach und schnell erfassbar bereitgestellt werden können, um Entscheidungsträger adäquat in Optimierungsvorhaben zu unterstützen. Diese Fragestellung umfasst im Wesentlichen zwei Teilbereiche:

Informationsbereitstellung. Die zur Entscheidung relevanten Informationen müssen zunächst anhand der definierten KEIs identifiziert werden. In bestimmten Fällen können diese Informationen direkt dem Geschäftsprozess zugeordnet werden. Für diese Fälle, beispielsweise eine Prozesskostenrechnung des Controllings, existieren bereits Methoden und Techniken, um Informationen aus verschiedenen Quellsystemen zu sammeln, gegebenenfalls zu aggregieren und letztlich einem Prozess oder einer Prozessinstanz zuzuordnen. Für die Berücksichtigung von Umweltinformationen existieren diese Methoden bisher nur rudimentär. Dies liegt an der Tatsache, dass die Ursachen eines bestimmten Umwelteinflusses dem Geschäftsprozess oft nicht direkt zugeordnet werden können. Beispielsweise kann der Energieverbrauch einer automatisierten Prozessaktivität nur indirekt aus der unterliegenden Hardware und den beteiligten Systemen abgeleitet werden. Hierzu stellt sich für ein Unternehmen die Frage, wie diese und weitere umweltrelevanten Informationen auf die Ebene ihrer Geschäftsprozesse übertragen werden können, um diese in der Entscheidungsunterstützung sinnvoll nutzen zu können.

Informationsverarbeitung. Der zweite Teilbereich fokussiert die Analyse und Interpretation der bereitgestellten Informationen. Hierbei ist es wichtig, die für einen bestimmten Anwendungsfall relevanten Informationen darzustellen, um damit die Erfassbarkeit, das Verständnis und die Ableitung von Handlungsalternativen zielgerichtet zu unterstützen. Untersuchungen haben gezeigt [Moo09], dass graphische Visualisierungen diese Aspekte besser abdecken als textuell aufbereitete Informationen. Aus

diesen Anforderungen lässt sich daher die Frage nach der Gestaltung einer individuellen, graphischen Repräsentationsform des Geschäftsprozesses und seiner Umwelteinflüsse ableiten, welche es ermöglicht, Sachverhalte schnell und einfach zu verstehen und flexibel an dynamische Anforderungen anzupassen.

Die Kombination der beiden Teilbereiche zielt demnach darauf ab, welche Informationen für die Ermittlung des Umwelteinflusses benötigt werden, aus welchen Quellen diese Informationen bereitgestellt werden müssen, in welcher Relation die Informationen zu einem Geschäftsprozess stehen und wie verschiedenen Analyseanforderungen als individuelle Sicht auf diese Informationen bereitgestellt werden kann.

Beitrag 2: Ausgehend vom erweiterten Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements wird ein Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green Business Process Management definiert. Als Teil dieses Vorgehensmodells werden Methoden (1) zur Übertragung von umweltrelevanten Informationen vom Verursacher zu den Aktivitäten eines Geschäftsprozesses und (2) zur Definition eines Monitoringmodells erarbeitet. Der Fokus liegt hier insbesondere auf automatisierten Geschäftsprozessen. Zudem wird ein Konzept eingeführt, welches eine anwenderindividuelle graphische Visualisierung von Geschäftsprozessen auf Basis des entsprechenden Umwelteinflusses ermöglicht.

1.2.3 Optimierung von Geschäftsprozessen

Die Optimierung von Geschäftsprozessen befasst sich mit der konsequenten Weiterverarbeitung der aus der Analysephase gewonnenen Erkenntnisse und schließt damit den heute üblichen Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements. Bei der Rückführung der Analyseerkenntnisse auf die Gestaltung von Geschäftsprozessen wird in der heutigen Lehrbuchliteratur häufig zwischen dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess zur stetigen Optimierung der Prozesse und dem so genannten *Business Process Reengineering* unterschieden, welches radikale und fundamentale Änderungen von Geschäftsprozessen adressiert

[HC94]. Basierend auf den verschiedenen Optimierungsansätzen haben sich in der Praxis verschiedene Vorgehensweisen für die Lösung wiederkehrender Problemstellungen herausgestellt. Diese Lösungen können in einer allgemeinen Form als Pattern (deutsch: Muster) beschrieben werden und decken bereits einen großen Teil der klassischen Optimierungsanforderungen des Geschäftsprozessmanagements ab. Die Berücksichtigung neuer Anwendungsdomänen innerhalb des Geschäftsprozessmanagements wird bisher jedoch nur unzureichend durch diese Patterns abgedeckt. Existierende Patterns müssen daher erweitert und um neue, domänenspezifische Patterns angereichert werden. Damit lassen sich auf konkrete Problemstellungen passende Patterns anwenden und die Gestaltung der Geschäftsprozesse optimieren. Es stellt sich jedoch die Frage, wie Unternehmen umweltrelevante Patterns identifizieren und entsprechend anwenden können, um ihre bestehenden Geschäftsprozesse hinsichtlich ihres Umwelteinflusses zu optimieren.

Beitrag 3: Eine Methode zur Identifikation von Patterns wird definiert. Auf Basis dieser Methode werden existierende Workflow- und IT-Architektur-Patterns unter Berücksichtigung ihres Einflusses auf den Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen untersucht und für die Anwendung innerhalb der Umweltdomäne erweitert und angepasst. Zudem werden neue Patterns innerhalb dieser Domäne identifiziert. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Typen von Patterns wird ein *Pattern Support Framework* entwickelt, welches es ermöglicht, Geschäftsprozesse auf Basis dieser Patterns zu optimieren.

1.2.4 Implementierung der Konzepte

Die vorangegangenen Kapitel haben die vielseitigen Aufgabenbereiche des in der vorliegenden Arbeit präsentierten Lösungsansatzes beschrieben. Um die Anwendbarkeit der vorgestellten Konzepte aufzuzeigen, werden geeignete IT-Systeme benötigt. Diese sollen Anwender in den unterschiedlichen Phasen des Geschäftsprozessmanagements unterstützen

und somit die Identifikation von ökologisch nachhaltigen Optimierungsalternativen ermöglichen.

Beitrag 4: Entwicklung einer Architektur und Bereitstellung der entsprechenden Implementierung eines Prototypen, welcher Benutzer bei (1) der Definition und Durchführung des nachhaltigen Prozessmonitorings, (2) der graphischen Analyse von Geschäftsprozessen, sowie (3) der Identifikation von Optimierungsalternativen unterstützt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in die folgenden Teile: Kapitel 2 beschreibt zunächst die für Green Business Process Management relevanten Grundlagen und verwandten Arbeiten. Dabei werden in Kapitel 2.1 zunächst das Geschäftsprozessmanagement im Allgemeinen sowie die Veränderungen und Weiterentwicklungen seit seiner Entstehung diskutiert. Kapitel 2.2 befasst sich mit existierenden Umweltstandards und zeigt, welche Ansätze im Unternehmensumfeld als *state-of-the-art* angesehen werden können. Kapitel 2.3 beschreibt Ansätze des so genannten *Green Computings*. Die Verarbeitung und Nutzung dieser Ansätze im Geschäftsprozessmanagement zeigt Kapitel 2.4, welches eine Übersicht existierender Ansätze in verschiedenen Teilbereichen des Green BPM vorstellt.

Kapitel 3 beschreibt den methodischen Grundgedanken eines umfassenden, ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements. Dafür werden Nachhaltigkeit und Ökologie in Kapitel 3.1 detailliert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen und Einflüsse auf das Geschäftsprozessmanagement analysiert. Für die Definition eines ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements werden in Kapitel 3.2 die Unterschiede zwischen konventionellem und ökologisch nachhaltigem Geschäftsprozessmanagement herausgearbeitet und als entsprechende Erweiterungen definiert. Die betrachteten Aspekte umfassen hierbei den Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements, Key Performance Indicators, die IT-Architektur zur Unterstützung von

Geschäftsprozessmanagement sowie die strategischen Auswirkungen auf ein Unternehmen.

Neben den methodischen Konzepten präsentiert Kapitel 4 verschiedene Ansätze zur Umsetzung eines ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements. In Anlehnung an den erweiterten Green BPM Lebenszyklus präsentiert Kapitel 4.1 ein allgemeines Vorgehensmodell zur Umsetzung. Die einzelnen Phasen dieses Modells werden in den weiteren Kapiteln beschrieben. Diese Kapitel umfassen sowohl einen allgemeinen, als auch einen spezifischen Teil, wobei letzterer konkrete Umsetzungsansätze für spezifische Anwendungsfälle beschreibt. Kapitel 4.2 zeigt die Identifikation von *Key Ecological Indicators*, welche eine ökologische Erweiterung existierender Performance-Indikatoren darstellen. Kapitel 4.3 beschreibt anschließend, wie die an einem Geschäftsprozess beteiligten Ressourcen identifiziert werden können. Unter Berücksichtigung der identifizierten Ressourcen wird in Kapitel 4.4 die Umsetzung eines entsprechenden Monitoringmodells dargelegt. Unter Nutzung der aus einem Monitoringmodell identifizierten umweltrelevanten Informationen zeigt Kapitel 4.5 einen Ansatz zur flexiblen, ökologischen Analyse von Geschäftsprozessen auf Basis von visuellen Repräsentationen. Kapitel 4.6 beschreibt anschließend, wie aus den Erkenntnissen einer ökologischen Analyse verschiedene Optimierungsalternativen abgeleitet werden können.

Einen möglichen Ansatz zur Identifikation von Optimierungsalternativen bieten Patterns. Kapitel 5 erläutert hierzu eine Methode zur Identifikation von Patterns (Kapitel 5.2), ein allgemeines Beschreibungsformat (Kapitel 5.3) und eine Menge an *Green Business Process Patterns*, welche Lösungsansätze für die ökologisch nachhaltige Optimierung von Geschäftsprozessen beschreiben (Kapitel 5.4). Kapitel 5.5 beschreibt des Weiteren einen Ansatz, wie einzelne Patterns zur Optimierung von Geschäftsprozessen identifiziert werden können. Hierbei wird insbesondere auf die Identifikation eines Einstiegspunkts in die Menge der definierten Patterns anhand verschiedener Ausgangsparameter sowie der Navigation durch diese Patternmenge eingegangen.

Kapitel 6 beschreibt anschließend die Architektur der einzelnen Komponenten und validiert die in Kapitel 3, 4 und 5 vorgestellten Konzepte anhand einer prototypischen Implementierung. Die Hauptkomponenten gliedern sich hierbei in ein *KEI Monitoring und Analyse System* und ein *Pattern Support System*. Die entwickelten Systeme werden anschließend in einer in Kapitel 7 beschriebenen Fallstudie evaluiert. Kapitel 8 fasst abschließend die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf weiterführende Forschungsschwerpunkte.

1.4 Publikationen

Aus den Arbeiten des Promotionsvorhabens sind verschiedene Veröffentlichungen hervorgegangen. Jede Publikation hat vor ihrer Veröffentlichung einen Peer-Review-Prozess durchlaufen, d.h. eine Begutachtung durch unabhängige, fachliche Experten des jeweiligen Themenbereichs. Die nachfolgende Liste zeigt einen Überblick dieser Veröffentlichungen.

Nowak, Alexander; Breitenbücher, Uwe; Leymann, Frank: Automating Green Patterns to Compensate CO2 Emissions of Cloud-based Business Processes. In: Proceedings of 2014 ADVCOMP, 2014.

Nowak, Alexander; Leymann, Frank: Green Enterprise Patterns. In: Proceedings of the 20th Conference on Pattern Languages of Programs, 2013.

Nowak, Alexander; Leymann, Frank: Green Business Process Patterns - Part II. In: Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Service Oriented Computing & Applications, 2013.

Nowak, Alexander; Binz, Tobias; Leymann, Frank; Urbach, Nicolas: Determining Power Consumption of Business Processes and their

Activities to Enable Green Business Process Reengineering. In: Proceedings of the 17th IEEE International EDOC Conference, 2013.

Nowak, Alexander; Binz, Tobias; Fehling, Christoph; Kopp, Oliver; Leymann, Frank; Wagner, Sebastian: Pattern-driven Green Adaptation of Process-based Applications and their Runtime Infrastructure. In: Computing, Springer Wien, 2012.

Nowak, Alexander; Karastoyanova, Dimka; Leymann, Frank; Rapoport, Andrej; Schumm, David: Flexible Information Design for Business Process Visualizations. In: Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, 2012.

Binz, Tobias; Leymann, Frank; Nowak, Alexander; Schumm, David: Improving the Manageability of Enterprise Topologies Through Segmentation, Graph Transformation, and Analysis Strategies. In: Proceedings of 2012 Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2012.

Binz, Tobias; Fehling, Christoph; Leymann, Frank; Nowak, Alexander; Schumm, David: Formalizing the Cloud through Enterprise Topology Graphs. In: Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Cloud Computing, 2012.

Nowak, Alexander; Binz, Tobias; Leymann, Frank; Schleicher, Daniel; Schumm, David; Wagner, Sebastian: Ein Konzept zur Identifikation ökologisch nachhaltiger Verbesserungspotentiale unter Bürgerbeteiligung. In: Tagungsband der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, 2012.

Nowak, Alexander; Leymann, Frank; Schumm, David: The Differences and Commonalities between Green and Conventional Business Process Management. In: Proceedings of the International Conference on Cloud and Green Computing, 2011.

1.4 | Publikationen

Nowak, Alexander; Leymann, Frank; Schleicher, Daniel; Schumm, David; Wagner, Sebastian: Green Business Process Patterns. In: Proceedings of the 18th Conference on Pattern Languages of Programs, 2011.

Nowak, Alexander; Leymann, Frank; Schumm, David; Wetzstein, Branimir: An Architecture and Methodology for a Four-Phased Approach to Green Business Process Reengineering. In: Proceedings of the 1st International Conference on ICT as Key Technology for the Fight against Global Warming, 2011.

Nowak, Alexander; Leymann, Frank; Mietzner, Ralph: Towards Green Business Process Reengineering. In: Proceedings of the First International Workshop on Services, Energy, & Ecosystem, 2010.

GRUNDLAGEN UND VERWANDTE ARBEITEN

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und verwandten Arbeiten der in der vorliegenden Arbeit relevanten Themenbereiche vorgestellt. Die Erläuterung der Grundlagen hat das Ziel, ein gemeinsames Grundverständnis bezüglich der verwendeten Begrifflichkeiten herzustellen. Die verwandten Arbeiten zeigen die aktuellen wissenschaftlichen Forschungsarbeiten in den Themenbereichen der vorliegenden Arbeit. Anhand dieser bisherigen Arbeiten wird eine Abgrenzung zu den wissenschaftlichen Forschungsbeiträgen aus Kapitel 1.2 vorgenommen und es wird aufgezeigt, wie die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Erweiterungen im Themenkomplex *Green Business Process Management* einzuordnen sind.

Kapitel 2.1 beschreibt zunächst die Grundlagen des Geschäftsprozessmanagements zur Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten, gefolgt von aktuellen Arbeiten im Bereich des konventionellen Geschäftsprozessmanagements. Kapitel 2.2 gibt anschließend einen Überblick über aktuelle Umweltindikatoren und Standards. Die Identifikation, Definition und Integration geeigneter umweltrelevanter Kennzahlen und Methoden ist eine Grundvoraussetzung für Erweiterungen hinsichtlich eines ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements. Kapitel 2.3 erläutert daher, wie Umweltkennzahlen und -methoden bisher im Bereich von IT-Systemen eingesetzt werden. Als Konkretisierung dieses Aspekts beschreibt Kapitel 2.4 im Anschluss aktuelle Forschungsbeiträge im

Bereich des Green BPM. Dabei wird insbesondere auf die Diversität der verschiedenen Ansätze und deren Schwerpunkte eingegangen.

2.1 Business Process Management

Durch die gegen Ende des letzten Jahrhunderts eingeleitete Veränderung der globalen Märkte wurden Markteintrittsbarrieren geringer und damit der Wettbewerb intensiviert. Kunden wurden vielseitiger, hatten mehr Alternativen und verlangten individualisierte Produkte sowie Verkürzungen von Produktlebenszyklen. Die Integration von Maßnahmen zur Veränderung und Anpassung von Organisationen wurde damit ein inhärenter Bestandteil der erforderlichen Weiterentwicklung von Unternehmen [ST10]. Diese Notwendigkeit des unternehmerischen Umdenkens wurde durch die Einführung eines neuen Managementansatzes begleitet, welcher auf Basis einer prozessorientierten Ausrichtung von Unternehmen [DS90][Dav93][Ham90][HC94][Har91][Por85][SS08] das Ziel einer umfassenden Unterstützung der organisatorischen Abläufe in Unternehmen hatte. Dieser Ansatz wird allgemein als *Geschäftsprozessmanagement (GPM)* oder *Business Process Management (BPM)* bezeichnet.

Im Gegensatz zu der bis dato üblichen funktionsorientierten Organisationsgestaltung von Unternehmen beschreibt die prozessorientierte Ausrichtung von Unternehmen „a lateral or horizontal organizational form, that encapsulates the interdependence of tasks, roles, people, departments and functions required to provide a customer with a product or service“ [Ear94]. Hammer und Champy [HC94] definieren einen Geschäftsprozess als „a collection of activities that takes one or more kinds of input and creates an output that is of value for the customer“. Österle [Oes95] bezieht darüber hinaus auch die beteiligten IT-Systeme explizit mit ein und definiert Geschäftsprozesse als „eine Menge von Aufgaben, die in einer vorgegebenen Ablauffolge zu erledigen sind

2.1 | Business Process Management

und durch Applikationen der Informationstechnik unterstützt werden. Seine Wertschöpfung besteht aus Leistungen an Prozesskunden“.

Geschäftsprozesse lassen sich anhand des formalen Beschreibungsgrads in verschiedene Typen unterteilen:

Nicht dokumentierte Geschäftsprozesse bilden einen impliziten Bestandteil der auszuführenden Arbeit. Sie sind nicht dokumentiert, sondern stellen häufig von Mitarbeitern selbst aufgestellte Abläufe dar, welche sich aus ihren Aufgaben ergeben.

Als Textdokument beschriebene Geschäftsprozesse stellen die erste Form von strukturierten Prozessbeschreibungen dar, weisen in der Regel jedoch eine geringe Formalisierung auf. Sie sind häufig in (Qualitäts-) Handbüchern zu finden und sollen es Mitarbeitern ermöglichen, die erforderlichen Arbeitsschritte einer Aufgabe einzusehen.

Graphisch modellierte Geschäftsprozesse dienen der Visualisierung von Prozessmodellen und den entsprechenden Aktivitäten. Hierfür können Modellierungssprachen wie beispielsweise BPMN [OMG13] oder EPKs [Sch02] eingesetzt werden. Durch die strukturierte Darstellung von Aktivitäten sowie deren Beziehungen zueinander werden graphische Prozessmodelle neben der Beschreibung von Prozessen häufig auch für deren Analyse eingesetzt. Oft sind diese graphisch modellierten Prozesse nicht durch IT-Systeme ausführbar, sondern dienen lediglich der Dokumentation [KMW+09].

Durch IT-Systeme ausführbare Geschäftsprozesse stellen einen hohen Grad der Formalisierung dar. Diese Prozesse werden üblicherweise als *Workflows* bezeichnet [LR00]. Die WfMC definiert Workflows als „the automation of a business process, in whole or part, during which documents, information or tasks are passed from one participant to another for action, according to a set of procedural rules“ [LBF+97]. Für die Modellierung von Workflows können Prozessausführungssprachen wie

BPEL [OAS07] verwendet werden, welche auf entsprechenden *Workflow Engines* ausgeführt werden können.

Für die Umsetzung von Geschäftsprozessmanagements haben sich in der Literatur zwei Ausprägungen etabliert: *Business Process Reengineering* (BPR) und *Business Process Management* (BPM). BPR adressiert eine fundamentale, radikale und revolutionäre Neugestaltung der existierenden Unternehmensabläufe, um diese möglichst optimal und ohne Restriktionen hinsichtlich existierender Infrastrukturen zu gestalten. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass dieser radikale Ansatz auf Grund strategischer und politischer Anforderungen nicht immer umzusetzen ist [Dav95][Hev08]. BPM greift diesen Aspekt auf und erlaubt eine schrittweise, kontinuierliche und evolutionäre Verbesserung der organisatorischen Abläufe. Dieses Vorgehen beinhaltet eine schrittweise Verbesserung der Abläufe, ohne dabei ein signifikant hohes Risiko einzugehen. Jedoch ist für die schrittweise Verbesserung eine enge Verzahnung zwischen unternehmerischen Betrieb und der IT notwendig.

Die primären Herausforderungen beider Ansätze liegen in der Integration der konzeptionell erfassten und operativ ausgeführten Prozessstrukturen. Diese Schwierigkeit wird häufig als *Business-IT Gap* bezeichnet. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht eines integrierten Geschäftsprozessmanagements nach Gadatsch [Gad09], welches sich diesen Herausforderungen annimmt. Die *strategische Ebene* dient der Definition der Unternehmensausrichtung und entsprechender Zielvorgaben. Entscheidet sich ein Unternehmen für die strategische Variante der Kostenführerschaft, müssen Prozesse in der Regel anders definiert werden, als dies bei einer angestrebten Qualitätsführerschaft der Fall ist. Die *fachlich-konzeptionelle Ebene* dient der Beschreibung, Modellierung und dem Management der im Unternehmen identifizierten Prozesse. Die Zusammenarbeit der strategischen und fachlich-konzeptionellen Ebenen wird in der *operativen Ebene* durch die Modellierung, Ausführung und Überwachung der durch IT-Systeme ausführbaren Geschäftsprozesse abgebildet.

2.1 | Business Process Management

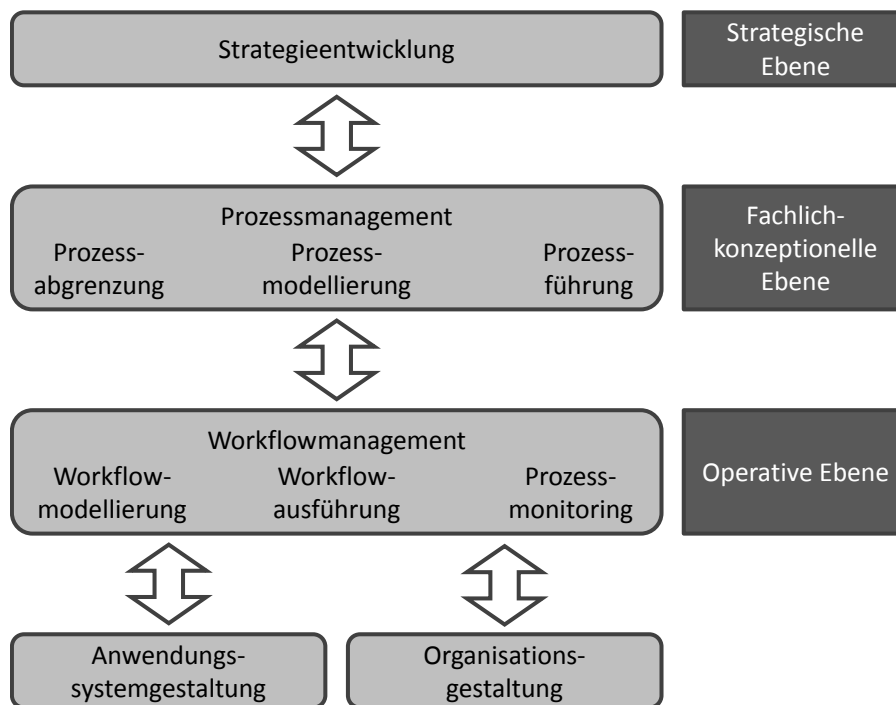


Abbildung 5: Übersicht eines integrierten Geschäftsprozessmanagements (in Anlehnung an [Gad09])

Sowohl BPM als auch BPR haben das Ziel, existierende Geschäftsprozesse über alle in Abbildung 5 dargestellten Ebenen hinweg zu optimieren. In Abhängigkeit der individuellen, strategischen Anforderungen und Zielvorgaben eines Unternehmens orientiert sich die Optimierung der Geschäftsprozesse traditionell an den in Abbildung 6 dargestellten Dimensionen. Hierzu zählen die Reduzierung der Kosten, die Verbesserung der Qualität von Produkten und Services, die Verbesserung von Durchlaufzeiten von Prozessen, die Erhöhung der Flexibilität zur Individualisierung von Produkten und Dienstleistungen und die Verbesserung der *Time to Market* [LR00][Wes07]. Jedoch können nicht alle Dimensionen gleichermaßen optimiert werden, da diese oftmals im Gegensatz zueinander stehen. Beispielsweise führt eine Verbesserung der Qualität häufig zu steigenden Kosten. Die Auflösung des Zielkonflikts dieser Dimensionen ist deshalb Teil der Strategieentwicklung eines Unternehmens.

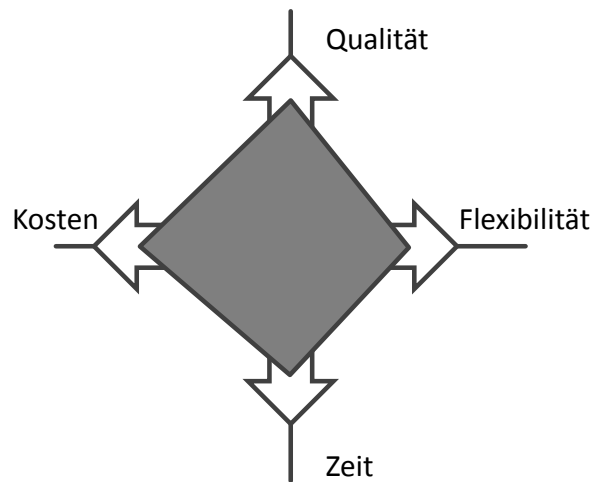


Abbildung 6: „Devil’s Quadrangle“ - Optimierungskriterien des Geschäftsprozessmanagements (in Anlehnung an [MR05])

Damit beinhaltet Geschäftsprozessmanagement zusammenfassend sämtliche Konzepte, Methoden und Techniken, welche die Modellierung, die Implementierung, die Ausführung, die Analyse und die Verbesserung von automatisierten, semi-automatisierten oder manuellen Geschäftsprozessen unterstützen [Wes07]. BPM beschränkt sich aber heute nicht mehr ausschließlich auf klassische Anforderungen, sondern wurde durch weitere Arbeiten ergänzt [BKR12][BW09][Gad09][Koc11][SS08][Wes07]. Dabei wurde auch die ursprüngliche Auffassung, welche BPM als Mittel zur Automatisierung von Geschäftsabläufen unterstützt, durch die Integration neuer Technologien wie Web Services [LRS02] definiert und erweitert. So werden heute beispielsweise auch in serviceorientierten Architekturen menschliche Interaktionen in der Ausführung von automatisierten Geschäftsprozessen explizit adressiert [OAS10].

Durch die steigende Komplexität von Geschäftsprozessen und der damit verbundenen Komplexität bei ihrer Entwicklung entstanden verschiedene Arbeiten, welche das korrekte Design von Geschäftsprozessen unterstützen. Becker et al. [BRU00] beschreiben beispielsweise bewährte Richtlinien für die Modellierung von Prozessen. Anhand des darin vorgestellten Frameworks können verschiedene Einflussfaktoren strukturiert und Prozessmodelle hinsichtlich ihrer Qualität evaluiert

werden. Auch Fahland et al. [FFJ+09] präsentieren einen Ansatz, in welchem der korrekte Zustand eines Prozessmodells durch eine Kontrollflussanalyse nachgewiesen werden kann. Der Ansatz von Gschwind et al. [GKW08] ergänzt diese Arbeiten durch die Integration von existierenden Workflow Patterns für die Modellierung von Geschäftsprozessen in existierenden Modellierungstools. Eine Vielzahl solcher Patterns, sowohl für Geschäftsprozesse als auch für ihre unterstützende IT-Infrastruktur, wurden zum Beispiel in den Arbeiten von Aalst et al. [AHK+03], Fowler [Fow03] oder Hohpe [HW03] vorgestellt. Insbesondere durch eine steigende Komplexität der Prozessmodelle und Infrastrukturen helfen diese Patterns, den Gestaltungsprozess zu vereinfachen, *Best Practices* anzuwenden oder Ineffizienzen und Redundanzen im Modell zu vermeiden [GM05].

Auch im Bereich der Entwicklung und Nutzung von Patterns gibt es unterschiedliche Ansätze. Während sich die oben genannten Arbeiten auf statische Patterns beziehen, d.h. Patterns basierend auf bewährten Lösungsansätzen der Praxis, wie sie auch in Kapitel 5 der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden, zeigen die Arbeiten von Niedermann et al. [NRM10][NRM11], wie Verhaltensmuster durch das aktive *Mining* existierender Laufzeitdaten von Prozessmodellen generiert werden können. Das Ziel hierbei ist es, Entwickler durch die Analyse von Laufzeitinformationen verschiedener Prozessmodelle und damit durch das Erkennen wiederkehrender Strukturen bei der Gestaltung neuer Prozessmodelle zu unterstützen. Dieser Ansatz wird in weiteren Arbeiten [NMR+11][RSN13] auch dazu verwendet, Entscheidungsaktivitäten innerhalb eines Prozessmodells mit entsprechenden Informationen zu versorgen. Dieser Anwendungsfall lässt sich auch auf eine Nutzung ökologischer Informationen in der Prozessausführung abbilden.

Die Nutzung von Entscheidungsinformationen wurde bereits in die (semi-) automatisierte Auswahl von Services während der Laufzeit übernommen. Verschiedene Ansätze [VHA05][YL04][YL05] zeigen, beispielsweise durch SLA Aggregation [ULM+08], wie die Umsetzung der Service-

auswahl methodisch gestaltet werden kann. Die Entwicklungen bezüglich der automatisierten Auswahl von Services haben insbesondere zur Entstehung semantischer Geschäftsprozessmanagementansätze geführt. Karastoyanova et al. [KLN+06] zeigen hierzu, wie semantische Web Services in BPEL verwendet werden können. Auch Hepp et al. [HLD+05] und Jennings et al. [JNF+00] haben entsprechende Ansätze entwickelt, um semantische Web Services sowie Agentensysteme für die Auswahl von Services zu verwenden. Neben der Entwicklung einer Ontologie zur Beschreibung von Services und ihren Abhängigkeiten [HR07] sind diese Erkenntnisse auch in die Entwicklung einer Referenzarchitektur für semantisches Geschäftsprozessmanagement übernommen worden [KvLL+08].

Auch Vergidis et al. [VTM08] haben einen Ansatz zur Unterstützung der Optimierung von Geschäftsprozessen entwickelt. Das von ihnen vorgestellte Framework unterstützt Entscheidungsträger anhand einer Klassifikation von Prozessmodellen bei der Identifikation derjenigen Prozessmodelle, welche sich für eine detaillierte Analyse und Optimierung eignen. Agostini et al. [AM00] beschreiben, wie die Flexibilität von Prozessmodellen verbessert werden kann, um die dynamischen Anforderungen an Geschäftsprozesse und damit an das Geschäftsprozessmanagement zu unterstützen. Zur Mühlen et al. [MH05] haben zudem einen Ansatz zur Integration von Risikomanagement im Geschäftsprozessmanagement erarbeitet.

Die verschiedenen Forschungsbereiche zeigen, dass einzelne Teilbereiche des Geschäftsprozessmanagements stetig weiterentwickelt und verbessert werden. Sie adressieren in der Regel jedoch nur spezifische Problemstellungen zur Integration neuer oder erweiterter Methoden. Über die Weiterentwicklung der einzelnen Teilaspekte hinaus wird Geschäftsprozessmanagement jedoch zunehmend auch auf neue Anwendungsgebiete angewendet, d.h. die existierenden Methoden und Techniken des Geschäftsprozessmanagements werden auf neue Problemstellungen übertragen. Gullledge et al. [GS02] zeigen

2.2 | Umweltindikatoren und -standards

beispielsweise, wie das Geschäftsprozessmanagement erweitert und angepasst werden muss, um in öffentlichen Verwaltungen eingesetzt werden zu können. Die Arbeiten von Schumm et al. [SLM+10] und des EU-Forschungsprojekts COMPAS [CCon11] haben gezeigt, wie Geschäftsprozessmanagement zur Umsetzung von Compliance-Anforderungen eingesetzt werden kann. Schleicher et al. [SAL+10][SLS+10] zeigen ebenfalls einen Ansatz, wie die Modellierung von Geschäftsprozessen unter Berücksichtigung von Compliance Anforderungen erfolgen kann.

2.2 Umweltindikatoren und -standards

Die Möglichkeit der Beschreibung und Definition von Umwelteinflüssen ist eine wichtige Ausgangsbasis für die Identifikation des Umwelteinflusses unternehmerischen Handelns. Die Entwicklung von Umweltindikatoren hat das Ziel, die diversifizierten Aspekte der Umwelt adäquat abzubilden und somit ein möglichst genaues Bild des Umweltzustands zu repräsentieren. Der Entwicklungsprozess für Umweltkennzahlen ist jedoch nicht standardisiert, daher haben sich in der Literatur und Praxis verschiedene Begriffe und Ausprägungen entwickelt. Im Folgenden wird eine Auswahl verschiedener Umweltindikatoren vorgestellt.

Die Environmental Indicators der European Environment Agency (EEA) [EEA13] umfassen insgesamt 146 Indikatoren aus den Bereichen Landwirtschaft, Luft, Artenvielfalt, Klimawandel, Energie-, Transport-, Abfall -und Wasserwirtschaft. Die OECD verwendet *Core Environmental Indicators* (CEIs) zur Beschreibung der atmosphärischen Auswirkungen von Treibhausgasen [EEA13a]. Die OECD verwendet zudem Key Environmental Indicators zur Beschreibung von Kriterien für die Landnutzung [EEA13b]. Die U.S. Environmental Protection Agency beschreibt Umwelteinflüsse durch *Environmental Indicators*, welche ähnlich wie die der EEA aufgebaut sind [UEPA14]. Auch Herva et al.

[HFC+11] nutzen diese Bezeichnung für ihre Evaluation von Indikatoren, welche sich besonders für die Anwendung im Unternehmensumfeld eignen. Ortega et al. [Ort05] nutzen den abstrakten Begriff *Sustainability Indicators* zur Beschreibung umweltrelevanter Kennzahlen. Capiello et al. [ACL+08][CFG+10][CHK+11] verwenden im Rahmen von IT-Systemen und Geschäftsprozessen den Term *Green Performance Indicator*.

Die Auffassung und Bedeutung der verschiedenen Begriffe ist oft uneinheitlich und weicht voneinander ab. Während die hier genannten Indikatoren im Allgemeinen eine Repräsentation bestimmter Messwerte anstreben, werden Indikatoren im Bereich von Geschäftsprozessen als höherwertige Informationen angesehen, welche sich aus einem oder mehreren Messwerten bestimmen lassen. Insbesondere so genannte *Key Indicators*, beispielsweise *Key Performance Indicators*, weisen neben den reinen Messwerten immer auch einen strategischen Unternehmensbezug auf. Eine differenzierte Analyse und Definition von Umweltindikatoren zur Anwendung im Rahmen von Green BPM wird in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Die Integration von Umweltindikatoren und die damit verbundene strategische Steuerung eines Unternehmens kann sehr komplex sein. Deshalb wurden durch die Einführung von Standards allgemeine Anforderungen und Richtlinien für die Einführung und den Betrieb von Umweltmanagementsystemen festgelegt. Das bedeutendste Beispiel hierfür ist der von der *International Organization for Standardization* (ISO) entwickelte Standard DIN EN ISO 14001 [ISO14]. Das Ziel dieses Standards ist es, Organisationen bei der Definition einer übergreifenden Umweltpolitik, der unternehmerischen Planung sowie bei der Verwirklichung und dem Betrieb eines Umweltmanagements zu unterstützen. Durch die zertifizierbare Überwachung der Unternehmensabläufe und der Mitarbeiter soll sichergestellt werden, dass umweltrelevante Optimierungspotentiale erkannt und behoben werden können.

Einen Teil der DIN EN ISO 14000 Reihe bildet die *Lebenszyklusanalyse* (engl. Life Cycle Assessment, LCA), auch *Ökobilanz* genannt. Das LCA umfasst dabei die systematische Analyse aller zu einem Produkt assoziierbaren Umweltauswirkungen. Diese umfassen sowohl die Nutzung eines Produkts als auch dessen kompletten Herstellungs- und Recyclingprozess. Der Standard gibt Organisationen zwar verschiedene Anhaltspunkte, diese müssen jedoch auf Basis der jeweiligen Organisationsstrukturen individuell umgesetzt werden. Hierfür haben sich in der Praxis verschiedene Methoden etabliert, beispielsweise die ABC-Analyse [Sch06], teilweise erweitert durch eine XYZ-Analyse, die CML-Analyse [Gue08] oder der Eco-Indikator 99 [GEC00]. Diese verschiedenen Methoden haben das Ziel, durch Aufstellung einer Sachbilanz oder Durchführung einer Wirkungsanalyse den produktbezogenen Umwelteinfluss eines Unternehmens zu bestimmen. Im Rahmen der prozessorientierten Restrukturierung eines Unternehmens ist das Geschäftsprozessmanagement ein weiterer möglicher Ansatzpunkt für die Umsetzung dieses Standards. Die Adressierung dieser Aspekte ist Kernthema der vorliegenden Arbeit. Wie bereits in den Forschungsfragen und -beiträgen in Kapitel 1.3 beschrieben, sind diese Aspekte bisher noch nicht in ausreichendem Maße in konventionelles Geschäftsprozessmanagement integriert. Daher ist es notwendig, die konventionellen Methoden und Techniken entsprechend zu erweitern und anzupassen.

2.3 Green Computing

Unter dem Begriff *Green Computing* werden sämtliche Aspekte der ökologisch nachhaltigen Herstellung, des Betriebs und des Recyclings von IT zusammengefasst [Mur08]. Das Ziel hierbei ist die Reduzierung und Vermeidung von umweltgefährdenden Materialien, die Maximierung der Energieeffizienz sowie das Recycling nicht mehr benötigter Produkte. Für die Verbesserung der Energieeffizienz wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze entwickelt, wie beispielsweise (1)

Green Grids und Cloud Infrastrukturen, welche eine effiziente Ausführung von Aufgaben und dadurch eine Reduzierung des Energieverbrauchs ermöglichen, (2) intelligente Kommunikationsansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs von WiFi Geräten oder (3) die Verbesserung der Energieeffizienz von Hardware im Allgemeinen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll insbesondere die Maximierung der Energieeffizienz durch die Optimierung des Betriebs von Anwendungen betrachtet werden. Dies ist ein zentraler Aspekt bei der Optimierung von Geschäftsprozessen, da IT-Ressourcen häufig zur Ausführung der Aktivitäten verwendet werden. Hierzu gibt es heute verschiedene Ansätze, welche die Energieeffizienz auf verschiedenen Ebenen adressieren: Optimierung der Serverauslastung in Rechenzentren, Aufbau energieeffizienter Infrastrukturen oder die Allokation von energieeffizienten Services und Ressourcen. Im Folgenden werden diese Ansätze grundlegend erläutert.

Goiri et al. [GJN+10] beschreiben, wie eine Konsolidierung von Lasten in einem Rechenzentrum die Auslastung einzelner Server und damit den Ressourceneinsatz reduzieren kann. Ein ähnlicher Ansatz zur Live-Migration von virtuellen Maschinen (VMs) innerhalb eines Rechenzentrums findet sich bei Liu et al. [LWL+09]. Petrucci et al. [PLM10a] beschreiben einen Ansatz zum *Power and Performance Management*, welcher die Auslastung eines Server Clusters anhand der Bedarfe der individuellen Anwendungen bestimmt und verteilt. Le et al. [LBM+09] erläutern zudem, wie Lastanforderungen gegenüber Anwendungen kosten- und energieeffizient zwischen verschiedenen Rechenzentren verteilt werden können. Die Arbeit von Schulz [Sch09] erweitert die vorgestellten Themenbereiche und betrachtet auch Speicherlösungen, Netzwerke und Software. Zudem werden hier auch die erforderlichen Managementansätze zum Betrieb der einzelnen Bereiche aufgezeigt. Auch Basmadjian et al. [BBG+10] beschreiben in ihrer Arbeit einen ersten Ansatz zur Unterstützung des Managements von Rechenzentren durch die Einführung von spezifischen *Green Service Level*

Agreements. Borgetto et al. [BMC+12] präsentieren ebenfalls einen Ansatz, welcher durch die Einführung von geeigneten Service Level Agreements die Migration von virtuellen Maschinen, ihre Re-Konfiguration und ein entsprechendes Energiemanagement ermöglicht.

Da sich heutige Cloud Computing Infrastrukturen durch die Erzielung von Skaleneffekten, die Skalierbarkeit, Virtualisierung und On-Demand Allokation von Ressourcen besonders für den energieeffizienten Betrieb von Anwendungen eignen, sind bereits erste Ansätze zur Identifikation und Definition von *Green Clouds* bzw. *Green Cloud Computing* vorgestellt worden. Baliga et al. [BAH+11] zeigen, wie sich der Energieaufwand des Cloud Computings auf Verarbeitung, Speicherung und den Transport von Daten verteilt. Damit lässt sich identifizieren, welche Anwendungen aufgrund ihres Lastenprofils besser oder schlechter für Cloud Computing geeignet sind. Auch Bolla et al. [BBD+11] adressieren in ihrer Arbeit den Energieverbrauch von Netzwerkinfrastrukturen. Dabei zeigen sie, wie sich der Energieverbrauch heutiger Systeme zusammensetzt und welche existierenden Ansätze für eine dauerhafte Optimierung des Energiebedarfs eingesetzt werden können. Kliazovich et al. [KBA+10] präsentieren einen Ansatz zur Simulation des Energieverbrauchs einer gesamten Cloud Infrastruktur. Dabei wird ein Modell vorgestellt, welches sowohl die verschiedenen Hardwarekomponenten als auch die kommunikationsbedingten Verbräuche betrachtet. Als aktiven Managementansatz zeigen Beloglazov et al. [BAB12] ein Architekturframework, welches eine energieoptimierte Ressourcenallokation auf Basis von Heuristiken ermöglicht.

Im Rahmen eines Green BPM ist zudem die Bereitstellung, Auswahl und Nutzung geeigneter energiesparender Services relevant. Auf Service-Ebene kann dabei die konkrete Infrastruktur abstrakt betrachtet werden. Dargie et al. [DSS11] präsentieren eine konzeptuelle Architektur für eine Plattform zur Serviceausführung, welche eine Optimierung des Energieverbrauchs über alle Services hinweg ermöglicht. Das Ziel hierbei ist eine Auslastungssteigerung der unterliegenden Infrastruktur. Lucanin et

al. [LMM+12] präsentieren ein Modell, welches CO₂-Emission als Teil definierter Service Level Agreements vorsieht. Das Ziel dieses Ansatzes ist die Bereitstellung von Services, welche durch einen Handel von CO₂-Emissionsrechten über Rechenzentren hinweg die Einhaltung des Kyoto-Protokolls [GVB+99] sicherstellen.

2.4 Green Business Process Management

Konventionelles Geschäftsprozessmanagement hat das Ziel, Unternehmensabläufe ganzheitlich, d.h. über alle Bereiche eines Unternehmens hinweg, zu optimieren. *Green Business Process Management* im Sinne der vorliegenden Arbeit hingegen erweitert diese Zielsetzung und beschreibt, wie existierende Ansätze des Geschäftsprozessmanagements auf das ökologisch nachhaltige Design von Geschäftsprozessen übertragen werden können. Erste Möglichkeiten und Potentiale zur Reduzierung des Energieverbrauchs durch einen zielgerichteten Einsatz von Informationssystemen wurden in der Literatur bereits diskutiert. Watson et al. [WBC10], Ghose et al. [GHH+10], Seidl et al. [vBSR12], Hoesch-Klohe et al. [HGL10] sowie Houy et al. [HRF+12] haben aufgezeigt, welche Forschungsgebiete hierfür besonders relevant erscheinen. Zu den identifizierten Forschungsbereichen zählen unter anderem das Design ökologisch nachhaltiger Prozesse, die Definition geeigneter Monitoringinstrumente durch Einführung von Umweltindikatoren, die ökologisch getriebene Prozessverbesserung und die Unterstützung der Realisierung innerhalb eines Unternehmens. Dabei wurden die Auswirkungen von ökologischen Aspekten innerhalb des Geschäftsprozessmanagements nicht nur auf technischer Ebene, sondern auch unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf Mensch und Unternehmen explizit betrachtet.

Innerhalb der verschiedenen Forschungsschwerpunkte wurden bereits erste Ansätze entwickelt, welche sich zum Teil auf einer abstrakten, allgemeingültigen Ebene befinden oder sich auf einzelne Aspekte dieser

Forschungsschwerpunkte beziehen. Ghose et al. beschreiben beispielsweise in [GHH+10], [HGL10], [HG10] und [HG10a] einen Ansatz, welcher die Modellierung von Prozessen durch die Bereitstellung von CO₂-Informationen unterstützt. Die erweiterte Modellierung nutzt dabei aggregierte Informationen verschiedener Umwelteigenschaften und Ressourcentypen, um Prozessmodelle zur Designzeit mit diesen Informationen anzureichern. Die Einführung von ökologisch nachhaltigen Prozessfragmenten soll die Modellierung eines entsprechenden Prozessmodells, welche in einem proprietären Werkzeug erfolgt, weiter unterstützen.

Cappiello et al. haben in [CFG+10] allgemein beschrieben, warum es wichtig ist, auch den Energieverbrauch von Anwendungen zu betrachten und nicht nur die verwendeten Hardware-Ressourcen. Auf dieser Basis präsentieren sie in [CFF+11a] einen Ansatz, welcher durch eine Annotation von Prozessmodellen mit Energieverbrauchswerten einzelner Aktivitäten das Design positiv unterstützt. Dieser Ansatz wird in [CFP+10] weiter konkretisiert. Die Autoren beschreiben hierbei, wie so genannte *Green Performance Indicators (GPIs)* an Anwendungen annotiert werden können. Für die Bereitstellung dieser GPIs wird eine Datenbank mit Erfahrungswerten verwendet. Ziel dieses Ansatzes ist es, adaptive und sich selbst verwaltende Anwendungen zu erstellen, welche eigenständig den Energieverbrauch reduzieren. Ardagna et al. [ACL+08] beschreiben darüber hinaus, wie für service-orientierte Architekturen und prozessbasierte Anwendungen eine energieeffiziente Allokation von Ressourcen erreicht werden kann. Die Ressourcenallokation wird dabei durch eine dreischichtige Architektur ermöglicht, welche Prozesse, Infrastruktur und eine Kontrollebene unterscheidet.

Über die direkte Optimierung von Prozessmodellen hinaus haben sich weitere Ansätze zur Optimierung des Umwelteinflusses anhand der zugehörigen Services und Ressourcen von Unternehmen entwickelt. Hervani et al. [HHS05] zeigen in ihrer Arbeit, welche Auswirkungen das Supply Chain Management auf den Umwelteinfluss eines Unternehmens

hat. Sie definieren hierzu ein Framework, welches Supply Chain Management, Umweltmanagement und Performance Management integriert und damit den Aufbau eines *Green Supply Chain Managements* ermöglicht. Kleindorfer et al. [KSvW05] untersuchen in ihrer Arbeit, wie Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsaspekte eines Unternehmens durch *Operations Management* beeinflusst und gesteuert werden können. Umweltaspekte umfassen dabei sowohl das Umweltmanagement eines Unternehmens als auch die Gestaltung der Zulieferketten und die Integration von Profit, Mensch und Umwelt in die strategische Ausrichtung von Unternehmen. Walker et al. [WSM08] haben in einer Studie gezeigt, welche Treiber und Hindernisse bei der Einführung einer ökologisch nachhaltigen Lieferkette in der Praxis zu beobachten sind. Dabei wurde festgestellt, dass in den meisten Fällen die externen Einflussfaktoren, wie beispielsweise Regularien oder die öffentliche Wahrnehmung, stärker waren als die internen. Dies spiegelt die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit im Bereich der Anwendung von ökologisch nachhaltigem Geschäftsprozessmanagement wider. Auch Walton et al. [WHM98] haben in einer Studie untersucht, welche Umweltaspekte Unternehmen bei der Gestaltung und Integration von Lieferketten berücksichtigen. Die Auswirkungen der Umweltaspekte haben Darnall et al. [DJH08] in ihrer Arbeit vertiefend untersucht, während Nawrocka et al. [NBL09] die Rolle des Standards ISO 14001 in Zulieferketten untersucht haben.

2.5 Flexible Prozessvisualisierung

Die Optimierung von Geschäftsprozessen setzt verschiedene Analyseansätze voraus, welche eine schnelle Identifikation von ökologischen Schwachstellen in einem Prozessmodell erkennen und geeignete Adaptionsaktionen einleiten lassen. Durch Veränderungen der Marktsituation oder internen Regularien und Vorschriften müssen diese Analyseansätze schnell und flexibel an diese veränderten Bedingungen

2.5 | Flexible Prozessvisualisierung

angepasst werden. Die vorliegende Arbeit stellt hierzu einen flexiblen, konfigurierbaren Visualisierungsansatz für Prozessmodelle vor, welcher beliebige Laufzeitinformationen an Prozessmodelle annotieren und graphisch darstellen kann.

Die graphische Darstellung von komplexen Daten ist dabei eine inhärente Fragestellung der Forschung. Dos Santos und Brodie [dSB2004] haben beispielsweise das Haber-McNabb Datenflussmodell für die Visualisierung von n-dimensionalen, numerischen Daten erweitert. Müller et al. [MKS+11] haben eine Möglichkeit der Visualisierung von Softwaresystemen vorgestellt. Reichert [Rei12] zeigt in seiner Arbeit einen Ansatz zur Visualisierung von komplexen Geschäftsprozessen. Die Visualisierung wird durch die Nutzung von Transformationsregeln in ihrer Komplexität reduziert und kann so auf verschiedene Zielakteure zugeschnitten werden. Schumm et al. [SCF+11] haben diese und weitere Ansätze zur Komplexitätsreduktion und Verbesserung der Wahrnehmung einer Visualisierung in verschiedene Patterns zusammengefasst. Schleicher et al. [SLS+10][SFG+11] nutzen Konstrukte der linearen temporalen Logik (LTL) und BPMN-Visualisierungen, um Regelverletzungen in Prozessmodellen darzustellen. Auch Laue und Awad [LA10] sowie Awad und Weske [AW09] nutzen eine auf BPMN basierende visuelle Sprache (BPMN-Q), um Regelverletzungen in der Ausführungsreihenfolge von Aktivitäten zu identifizieren und entsprechend optisch herauszustellen.

Das Problem dieser Visualisierungen ist, dass die Anforderungen des Geschäftsprozessmanagements an dynamische und flexible Marktbedingungen, d.h. die Annotation von Aktivitäten und Kanten mit verschiedenen Laufzeitinformationen, die Nutzung verschiedener Visualisierungstemplates oder die Erstellung einer Visualisierung durch verschiedene Experten (Visualisierungsexperte, Prozessexperte etc.), bisher nicht explizit beziehungsweise nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Bobrik et al. [BBR06][Bob08] haben in ihrer Arbeit einen ersten Ansatz vorgestellt, welcher eine personalisierte graphische Darstellung eines Prozessmodells und seiner Laufzeitdaten ermöglicht. Eine solche Visualisierung besteht aus drei Teilen: Input Parameter zum Mapping von Prozesselementen, einer Repräsentation der graphischen Symbole und einer Menge weiteren Parametern, welche die Laufzeitinformationen zuordnen. Für die Anwendung einer Template-Definition wird eine spezifische Skript-Sprache verwendet. Dies führt dazu, dass der Ersteller einer graphischen Prozessvisualisierung sowohl den Prozess als auch das graphische Template und die Laufzeitdaten kennen muss.

Zur Adressierung dieser Aspekte wurde von Schumm in [Sch11] ein grundlegendes Konzept des so genannten *Information Designs* vorgeschlagen. Dieses Konzept ermöglicht sowohl eine flexible und schnell anpassbare Generierung einer graphischen Prozessrepräsentation als auch eine strikte Trennung der verschiedenen Akteure bei der Erstellung einer Visualisierung. Die vorliegende Arbeit greift dieses Konzept auf und erweitert es hinsichtlich der Visualisierung von Umweltinformationen von Geschäftsprozessen.

GREEN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

Unter dem Gesichtspunkt der schnellen und flexiblen Marktanpassung hat sich das Geschäftsprozessmanagement bisher hauptsächlich mit der Optimierung der vier Dimensionen Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität befasst. Die Entwicklungen in den globalisierten Märkten haben jedoch gezeigt, dass eine Betrachtung dieser vier Dimensionen heute oft nicht mehr ausreicht. Die Entwicklung von legislativen Rahmenbedingungen, die Veränderungen des Lebensstandards, die daraus resultierende Rohstoffknappheit und wechselnde Kundenanforderungen führen dazu, dass ein zielorientiertes Unternehmensmanagement auch diese Aspekte bei der Anpassung ihrer Geschäftsabläufe berücksichtigen muss. In der vorliegenden Arbeit werden diese Ansätze unter dem Begriff *Nachhaltigkeit*, beziehungsweise *nachhaltigem Geschäftsprozessmanagement*, subsumiert.

Die Nachhaltigkeit unternehmerischer Tätigkeit ist über die Integration der ökologischen, ökonomischen und sozialen Ziele des Unternehmens zu definieren. Für ein einheitliches Verständnis der vielseitig verbreiteten und nicht einheitlich eingesetzten Begriffe ist zunächst eine Abgrenzung dieser Begrifflichkeiten erforderlich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dafür zwischen den Begriffen *sustainability* und *green* differenziert. Während *sustainability* alle der drei zuvor genannten Aspekte abdeckt, beinhaltet der Begriff *green* primär den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit. Daher wird in der vorliegenden Arbeit bewusst von *Green Business Process Management* gesprochen, welches primär die

Optimierung der ökologischen Nachhaltigkeit, d.h. die Verbesserung des Umwelteinflusses eines Unternehmens und seiner Geschäftsprozesse zum Ziel hat. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die ökonomischen Ziele eines Unternehmens vernachlässigt werden können. Diese werden jedoch weitgehend durch die Ansätze des bestehenden Geschäftsprozessmanagements sowie durch den Grundsatz wirtschaftlichen Handelns abgedeckt und deshalb im Rahmen der vorliegenden Arbeit als gegeben angesehen. Auch die sozialen Ziele werden lediglich rudimentär als Teil einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsstrategie adressiert und stehen nicht im expliziten Fokus der jeweiligen Forschungsbeiträge.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden und Ansätze des *Green Business Process Managements* lassen sich auf alle in Kapitel 2.1 vorgestellten Arten von Geschäftsprozessen anwenden. Die Anwendung unterscheidet sich hier jeweils in der Nutzung verschiedener Methoden für deren Realisierungen. Die in Kapitel 4 präsentierten Ansätze zur Umsetzung hingegen beschränken sich auf die Betrachtung von automatisierten Geschäftsprozessen (Workflows).

Dieses Kapitel adressiert Forschungsbeitrag 1 und beschreibt, wie eine Integration von ökologischen Aspekten im Rahmen des Geschäftsprozessmanagements erfolgen kann. Die Struktur dieses Kapitels ist deshalb wie folgt aufgebaut: Kapitel 3.1 beschreibt zunächst die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Definition von *Green BPM*. Diese umfasst die Einordnung von Nachhaltigkeit im Geschäftsprozessmanagement, gefolgt von einer detaillierten Analyse der Begriffe Ökologie und Nachhaltigkeit sowie dem damit verbundenen Einfluss auf die Konzepte und Methoden des konventionellen Geschäftsprozessmanagements. Anhand der verschiedenen Einflussfaktoren beschreibt Kapitel 3.2 anschließend, wie existierende Konzepte, Methoden und Techniken des Geschäftsprozessmanagements für eine ganzheitliche Betrachtung ökologischer Aspekte erweitert werden müssen. Hierfür werden die folgenden Perspektiven analysiert und entsprechende Erweiterungen erarbeitet: (1) der Lebenszyklus von Geschäftsprozessen, (2) Key

3.1 | Definition von Green Business Process Management

Performance Indicators, (3) IT-Architekturen zur Unterstützung des Geschäftsprozessmanagements, sowie (4) die strategischen Aspekte des Geschäftsprozessmanagements.

3.1 Definition von Green Business Process Management

Green BPM berücksichtigt bei der Definition und Optimierung von Geschäftsprozessen neben den konventionellen Optimierungsperspektiven insbesondere den negativen Umwelteinfluss eines Unternehmens, welcher durch die Ausführung der Geschäftsprozesse induziert wird. Abbildung 7 zeigt die für Green BPM erforderliche Erweiterung der Optimierungskriterien anhand des durch Reijers et al. [MR05] eingeführten *Devil's Quadrangle*, welches hin zu einem *Devil's Pentagon* erweitert wird. Hierbei ist gut zu erkennen, dass die Erweiterung um eine ökologische Dimension dazu führt, dass auch der existierende Zielkonflikt zwischen den existierenden Dimensionen ausgeweitet wird. Die Verwendung ökologisch nachhaltiger Produkte kann beispielsweise mit höheren Kosten und besserer Qualität verbunden sein.

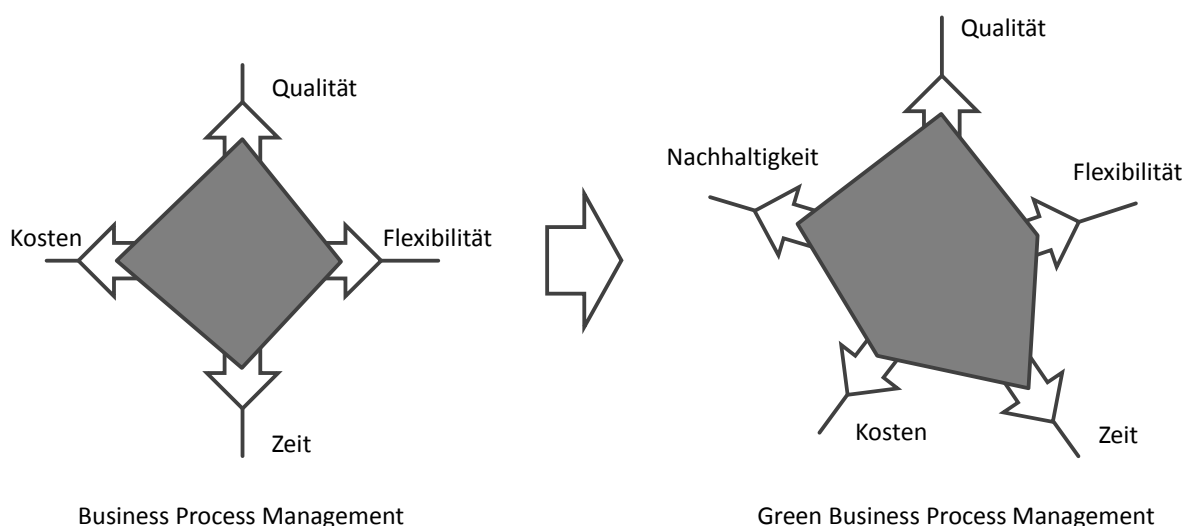


Abbildung 7: Optimierungsperspektiven BPM (links) und Green BPM (rechts)

Unter Berücksichtigung der erweiterten Optimierungsdimensionen muss die Transformation eines konventionellen Unternehmens hin zu einem

grünen Unternehmen auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden. Im Rahmen des Geschäftsprozessmanagements hat die Erweiterung der Unternehmensziele und -richtlinien insbesondere Einfluss auf den In- und Output von Geschäftsprozessen. Baumast [Bau01] leitet diese umweltrelevanten Einflussfaktoren des In- und Outputs durch eine Stoff- und Energieflussanalyse ab, welche in Abbildung 8 dargestellt ist. Die vertikale Achse beschreibt den primären Materialfluss eines Prozesses, welcher die Transformation von Rohstoffen hin zu Produkten beschreibt. Primäre Ressourcen bilden damit die Menge an Ressourcen, welche unmittelbar zur Herstellung von Produkten oder Dienstleistungen notwendig sind. Auf der horizontalen Achse wird der unterstützende Materialfluss beschrieben. Hierbei handelt es sich um Ressourcen (auch sekundäre Ressourcen genannt), welche zur Ausführung eines Prozesses benötigt werden, selbst jedoch nicht direkt in das Produkt eingehen, beispielsweise IT-Systeme und Energie.

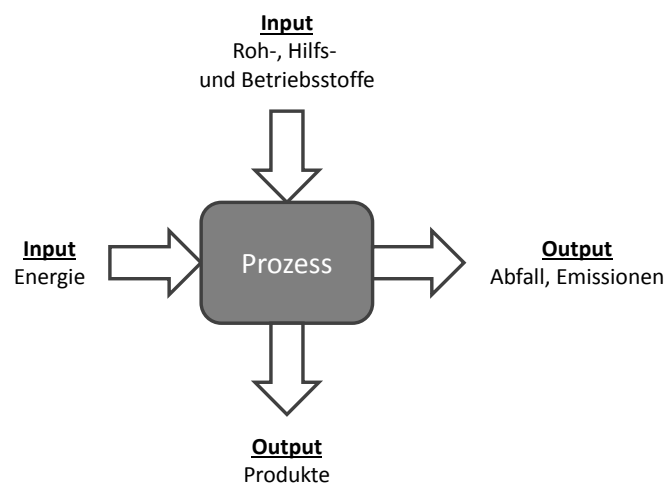


Abbildung 8: Umweltrelevante Einflussfaktoren von Geschäftsprozessen auf Basis der Stoff- und Energieflussanalyse [Bau01]

Das Ziel eines Green BPM umfasst die Optimierung dieser umweltrelevanten Einflussfaktoren durch die Optimierung der primären und sekundären Ressourcen. Während primäre Ressourcen maßgeblich durch die Forschung und Entwicklung sowie dem Design von Produkten und Dienstleistungen bestimmt werden, können sekundäre Ressourcen insbesondere durch die Gestaltung und effiziente Ausführung von

3.1 | Definition von Green Business Process Management

Aufgaben verbessert werden. Als ein Beispiel haben sich für die Optimierung der unterstützenden IT-Infrastruktur in der Literatur die Begriffe *Green IT* und *Green IS* etabliert [BCH08]. Unter *Green IT* werden sämtliche Methoden und Ansätze zusammengefasst, welche die Energieeffizienz und Auslastung von Hardware-Ressourcen verbessern. Unter *Green IS* hingegen wird das Design und die Implementierung von Informationssystemen verstanden, welche zur ökologischen Nachhaltigkeit von Unternehmensabläufen beitragen.

Es ist jedoch zu beachten, dass die umwelttechnische Optimierung der im Unternehmen eingesetzten primären und sekundären Ressourcen, d.h. die Verwendung von effizienten Ressourcen und die Nutzung des Potentials von *Green IS*, nicht zwangsweise zu einer Verbesserung des Umwelteinflusses eines Unternehmens führt. Wie in Abbildung 9 dargestellt, ermöglicht erst die Integration der unternehmensübergreifenden Prozessperspektive und der damit verbundenen strukturellen Anpassungen der Unternehmensabläufe die volle Ausschöpfung eines ganzheitlichen Optimierungsansatzes. Dadurch wird definiert, welche Ressourcen eines Unternehmens wie eingesetzt werden und die Optimierung des Nutzungsverhaltens von Ressourcen, welches in der Regel durch die definierten Geschäftsprozesse bestimmt wird, rückt zusätzlich in den Fokus von Optimierungsvorhaben.

Abbildung 9 zeigt diese ganzheitliche Rolle des Geschäftsprozessmanagements über die verschiedenen Aspekte der ökologischen Optimierung des unternehmerischen Handels hinweg und zeigt damit die Transformation eines Unternehmens hin zu einem *grünen Unternehmen*. Um diesen ganzheitlichen Ansatz zu gewährleisten, zeigt die vorliegende Arbeit verschiedene Ansätze, wie mit Hilfe von Geschäftsprozessmanagement eine Optimierung des Einsatzes von verfügbaren Ressourcen und auch der Prozessstruktur gewährleistet werden kann.

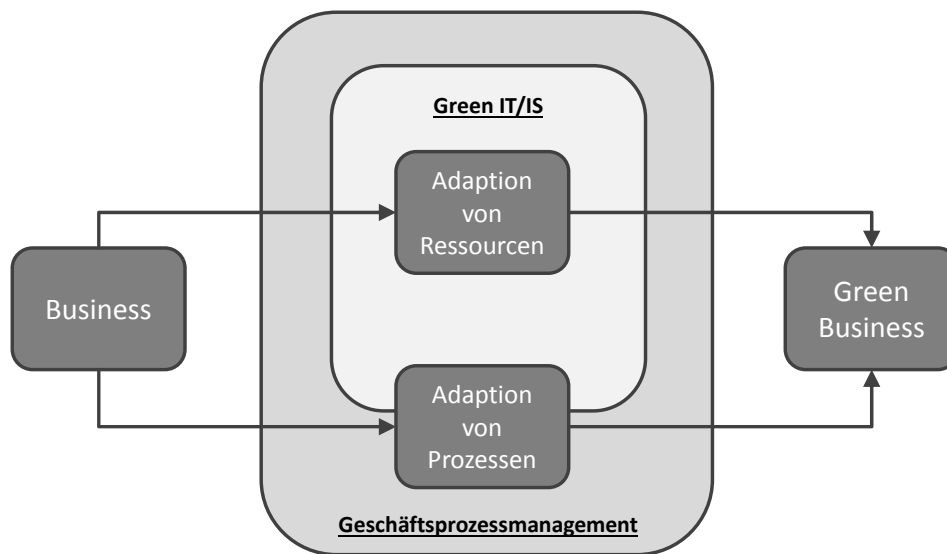


Abbildung 9: Dimensionen der ökologisch nachhaltigen Optimierung unternehmerischen Handels

Für die weiterführende Analyse, Spezifikation und Abgrenzung eines ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements sollen zunächst die Begriffe *Ökologie* und *Nachhaltigkeit* definiert werden. Diese werden oft fälschlicherweise synonym verwendet, was zu Unklarheiten innerhalb des Begriffsmodells führen kann. Die folgenden Kapitel zeigen, wie sich ökologische Aspekte in das Rahmenwerk der Nachhaltigkeit eingliedern (Kapitel 3.1.1) und wie der Bezug zum Geschäftsprozessmanagement definiert werden kann (Kapitel 3.1.2).

3.1.1 Einordnung von Ökologie und Nachhaltigkeit

Ökologie wird heute üblicherweise als Handlungsweise bezeichnet, welche Ziele des Umweltschutzes und des nachhaltigen Wirtschaftens in den Mittelpunkt stellt. Die Etablierung der *World Commission on Environment and Development* (WCED) 1983 und die Veröffentlichung ihrer Arbeit *Our Common Future* [WCED87] 1987 war einer der ersten Schritte zur Erreichung einer globalen, nachhaltigen Entwicklungsstrategie. Die nachhaltige Entwicklung bezieht sich dabei allgemein auf die Entwicklung und die damit verbundenen sozialen Herausforderungen der Menschheit, in welcher natürliche Ressourcen zur Erreichung einer bestimmten Lebensqualität verwendet werden. Zudem muss sichergestellt

3.1 | Definition von Green Business Process Management

werden, dass Natur und Umwelt in einem Maß erhalten und geschützt werden, dass auch zukünftige Generationen eine vergleichbare Lebensqualität erwarten können. Nachhaltige Entwicklung wird in [WCED87] deshalb abstrakt definiert als „*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*“.

Diese Definition lässt erkennen, dass der Begriff der *nachhaltigen Entwicklung* selbst sehr abstrakt ist und sich nur schwer auf tatsächliche Handlungsanweisungen und Empfehlungen ableiten lässt. Deshalb werden die Ansprüche und unternehmerischen Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung häufig durch drei verschiedene Dimensionen charakterisiert: Ökonomie, Ökologie und Soziales [Bar87][PA97]. Eine Übersicht dieser Dimensionen und ihrer Beziehungen zeigt Abbildung 10.

Die ökonomischen Ziele nehmen typischerweise eine zentrale Perspektive ein, da diese den Grundgedanken wirtschaftlichen Handelns abdecken. Das Ziel der ökonomischen Nachhaltigkeit besteht auf der einen Seite darin, den Ertrag des Unternehmens zu maximieren, aber auf der anderen Seite die Ressourcen, welche für diesen Ertrag benötigt werden, langfristig zu erhalten. Die ökonomische Effizienz ist für die Sicherstellung der optimalen Ressourcennutzung und Produktion ein entscheidendes Kriterium [NL12]. Für die nachhaltige unternehmerische Entwicklung müssen zusätzlich auch ökologische und soziale Ziele berücksichtigt werden. Das Ziel der ökologischen Nachhaltigkeit fokussiert die allgemeine Widerstandsfähigkeit sowie den Gesundheitszustand von Ökosystemen. Diese Zielsetzung besteht darin, den negativen Umwelteinfluss, der durch eine unternehmerische Aktivität entsteht, zu reduzieren [NL12]. Das Ziel sozialer Nachhaltigkeit adressiert die Verbesserung von individuellem und sozialem Wohl, hervorgerufen durch die Steigerung des Sozialkapitals. Soziale Nachhaltigkeit adressiert damit den Einfluss ökonomischen Handelns auf die gesamte Gesellschaft [NL12].

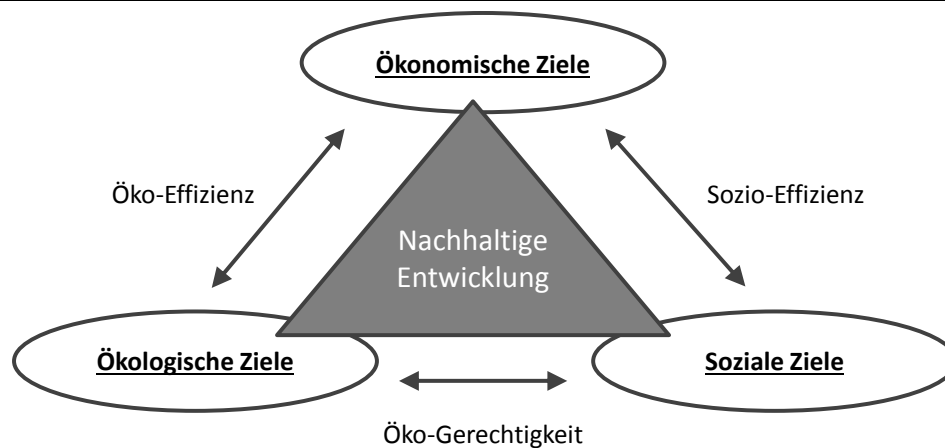


Abbildung 10: Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung eines Unternehmens (in Anlehnung an [Sch02a])

Die drei Spannungsfelder zwischen den verschiedenen Zielen entstehen durch die im unternehmerischen Handeln entstehenden Zielkonflikte [Sch02a]. Der Konflikt zwischen ökonomischen und ökologischen Zielen wird einerseits definiert durch die Öko-Effizienz – einer relativen Verbesserung des negativen Umwelteinflusses induziert durch die wirtschaftlichen Tätigkeiten – und der Öko-Effektivität andererseits – einer absoluten Reduzierung des negativen Umwelteinflusses [FHS+02][SS90][SS01]. Der Konflikt zwischen ökonomischen und sozialen Zielen wird beschrieben durch die Sozio-Effizienz – der relativen Verbesserung der Relation von wirtschaftlichem Handeln und sozialer Belastung – und der Sozio-Effektivität – einer absoluten, über das unternehmerische Handeln hinausgehenden Verbesserung der sozialen Belastungssituation [Sch02a]. Ein weiterer Konflikt besteht zwischen ökologischen und sozialen Zielen, wobei sich Suffizienz – die Veränderung des materiell ausgerichteten Konsumverhaltens – und ökologische Gerechtigkeit – die Verteilung ökologischer Belastungen sowie der Nutzung ökologischer Ressourcen – gegenüberstehen [Bie01][DH02]. Diese Zielkonflikte wirken sich auf die Akzeptanz, das Ausmaß des Einsatzes und die Anwendung von Methoden von Green BPM aus. Ein Verständnis dieser Zielkonflikte hilft deshalb, die Abhängigkeiten einer nachhaltigen Entwicklung zu verstehen und entsprechende Unternehmensziele abzuleiten.

3.1.2 Ökologie, Nachhaltigkeit und Geschäftsprozessmanagement

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur sind die Anforderungen, Einflüsse und Auswirkungen nachhaltiger Entwicklungen auf die strategische Ausrichtung von Unternehmen bereits thematisiert worden [Atk00][CT99][DH02][FHS+02][GKK95][Roo98]. Betrachtet man Geschäftsprozesse als Querschnittsfunktionen innerhalb eines Unternehmens, welches Funktionen und Rollen unternehmensweit und übergreifend koordiniert, stellt man fest, dass sich die Anforderungen an eine Integration dieser Ziele und die Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung in geeigneter Weise auf das Geschäftsprozessmanagement übertragen lassen.

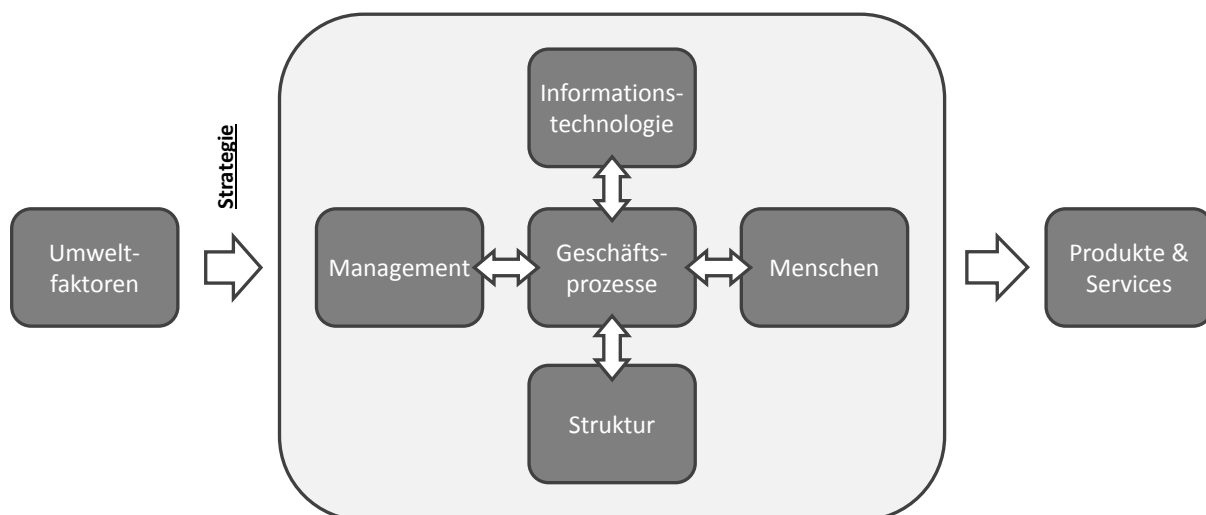


Abbildung 11: Business Process Change Model (in Anlehnung an [KTG97])

Das Ziel der Gestaltung und des Managements nachhaltiger Geschäftsprozesse ist es, die ökologische und soziale Effizienz des Unternehmens langfristig zu verbessern, ohne die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens negativ zu beeinträchtigen. Dies setzt neben der Erweiterung der vorhandenen unternehmenskritischen Optimierungsdimensionen (Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität) auch die entsprechende Anpassung der organisatorischen Subsysteme voraus. Um ein Verständnis der für das Geschäftsprozessmanagement relevanten Einflussfaktoren und Systeme zu erlangen, zeigt Abbildung 11 eine Übersicht dieser Subsysteme. Das von Kettinger und Grover [KG95]

abgeleitete *Business Process Change Model* definiert die relevanten Teilbereiche für eine strategische Entwicklung von Geschäftsprozessen unter Berücksichtigung organisatorischer Subsysteme und ihrer jeweiligen Einflussfaktoren.

Geschäftsprozessmanagement wird hier als eine Form des organisatorischen Wandels bezeichnet, welcher durch die strategische Transformation der voneinander abhängigen organisatorischen Subsysteme charakterisiert ist. Das Zusammenwirken dieser Subsysteme zur Erreichung bestimmter Ziele wird aus analytischer Sicht als Geschäftsprozess verstanden. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass das Geschäftsprozessmanagement auf die Optimierung dieser organisatorischen Subsysteme zielen muss. Das Modell beschreibt, welche organisatorischen Teilbereiche durch Geschäftsprozessmanagement beeinflusst werden und an wechselnde Anforderungen des Marktes und des Wettbewerbs anzupassen sind.

Die *Umweltfaktoren* definieren die strategische Ausrichtung eines Unternehmens. Auf dieser Basis definiert das *Management*, wie die entsprechenden strategischen Anforderungen umgesetzt und überwacht werden, sowie welches damit verbundene unternehmerische Risiko wirtschaftlich vertretbar ist. Die *IT* unterstützt die Ausführung und die Analyse von Geschäftsprozessen durch Bereitstellung von Laufzeitumgebungen und entsprechenden Daten und Informationen. Die *Struktur* deckt den Bereich der Organisationsstruktur ab. In der Managementtheorie gilt hierbei der Grundsatz „structure follows strategy“. Dieser Ansatz spiegelt sich ebenfalls in der Gestaltung der *Geschäftsprozesse* wider. Zudem adressiert das Geschäftsprozessmanagement auch den *menschlichen Faktor*, entweder als festen Bestandteil einer Prozessausführung oder im Sinne von Rationalisierungsansätzen.

Das Ziel der Optimierung dieser Subsysteme ist die Adaption der Geschäftsprozesse und Produkte unter Berücksichtigung konventioneller

3.1 | Definition von Green Business Process Management

und nachhaltiger Optimierungskriterien, beispielsweise Kosten, Qualität, Kundenzufriedenheit, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen. Green BPM muss demnach Konzepte, Methoden und Techniken bereitstellen, welche eine ganzheitliche Optimierung dieser Subsysteme ermöglichen. Die Konzepte müssen für die Erreichung dieser Ziele insbesondere die in Abbildung 10 vorgestellten Spannungsfelder zwischen den Zielausprägungen der einzelnen Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung in den Kontext der Zielvorgaben des Geschäftsprozessmanagement setzen. Im Folgenden wird deshalb herausgestellt, welche Anpassungs- und Erweiterungspunkte für ein integriertes, nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement notwendig sind.

Konflikt zwischen ökonomischen und ökologischen Zielen: Geschäftsprozesse beschreiben allgemein, welche Schritte zur Erreichung bestimmter Aufgaben notwendig sind. Diese werden durch das konventionelle BPM dahingehend optimiert, möglichst ökonomisch effizient, d.h., Produkte oder Services in möglichst kurzer Zeit zu günstigen Kosten und in angemessener Qualität bereitstellen zu können. Die Gestaltung dieser Prozesse legt jedoch auch fest, welche Ressourcen auf welche Art und in welchem Umfang zur Erreichung der Ziele verwendet werden. Eine Verbesserung des Prozessablaufs hinsichtlich einer Reduktion bisheriger Ressourcen adressiert den Aspekt der Öko-Effizienz, während die Auswahl alternativer Ressourcen zur Verbesserung der Öko-Effektivität beitragen kann. Eine Neugestaltung der Prozessabläufe kann diese Effekte noch verstärken. Ein nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement muss demnach sicherstellen, dass die Belastung der Ökosysteme durch wirtschaftliches Handeln in Grenzen gehalten wird, d.h., dass dauerhafte Schäden vermieden und der Schutz der Umwelt langfristig sichergestellt werden.

Konflikt zwischen ökonomischen und sozialen Zielen: Neben der reinen Ausführungslogik bestimmter Aufgaben beschreiben Geschäftsprozesse auch, wie die einzelnen Aufgaben zur Erreichung der Ziele aussehen. Je nach Gestaltung der Prozesse und Aufgaben verändert sich die soziale

Belastung des Humanfaktors. Dazu gehören beispielsweise die Arbeitsqualität, Arbeitszeiten, Veränderungen in der Arbeitswelt, Leistungs- und Zeitdruck und Mitarbeitermotivation. Über die Unternehmensgrenzen hinaus hat ein Unternehmen zudem die Verantwortung für die sozialen Belastungen der Umwelt. Hierzu gehören beispielsweise die allgemeinen Lebensbedingungen, Umweltbelastungen, Lärmbelastungen und Zerstörung von Lebensraum. Ein nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement muss demnach sicherstellen, dass sozial unerwünschte Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft minimiert werden. Nur so kann eine sozial-gesellschaftliche Akzeptanz sichergestellt werden.

Konflikt zwischen ökologischen und sozialen Zielen: Dieser Konflikt wird nur teilweise durch das Geschäftsprozessmanagement adressiert. Beispielsweise definiert insbesondere die strategische Ausrichtung eines Unternehmens, welche Produkte und Services, und damit auch welcher Umwelteinfluss, das Konsumverhalten der Kunden widerspiegelt. Definierte Prozesse zeigen hierbei nur den Weg zur Erreichung der Zielstellungen auf. Im Sinne der ökologischen Gerechtigkeit trägt jedoch auch das Geschäftsprozessmanagement eine Teilverantwortung. Die Auswahl der Ressourcen und die Definition der Aktivitäten haben Auswirkungen auf die soziale Verteilung der ökologischen Belastungen, beispielsweise die Umweltbelastungen beim Abbau von Rohstoffen oder dem Betrieb von Produktionsstätten. Ein nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement muss demnach sicherstellen, dass die strategischen Ziele eines Unternehmens möglichst umweltverträglich und sozial umgesetzt werden.

Die Betrachtung der verschiedenen Dimensionen zeigt, dass nicht nur innerhalb der einzelnen Dimensionen, sondern auch zwischen den Dimensionen und Zielen ein Konflikt bestehen kann. Die Methoden eines umfassenden, nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements greifen diesen Zielkonflikt auf und unterstützen Entscheidungsträger, individuelle Lösungen für ihr Unternehmen anhand der strategischen Ziele festzulegen.

3.2 Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

Bisher sind insbesondere ökologische Aspekte im Rahmen von Geschäftsprozessmanagement unzureichend oder nur unter Berücksichtigung von Teilaspekten betrachtet worden. In der Literatur finden sich nur wenige Ansätze [GHH+10][HRF+10][SvBR11], welche Geschäftsprozesse explizit als Möglichkeit zur Verbesserung des Umwelteinflusses eines Unternehmens überhaupt diskutieren und adressieren. Die wenigen existierenden Ansätze betrachten bisher lediglich einzelne Teilbereiche des Geschäftsprozessmanagements. Sie fokussieren beispielsweise die Energieeffizienz von Hardware Systemen oder die einheitliche Quantifizierung aller relevanten Umwelteinflüsse. Die Möglichkeiten und Anforderungen an die Gestaltung eines umfassenden Geschäftsprozessmanagements, welches neben konventionellen Optimierungsaspekten auch den Umwelteinfluss als erweitertes Kriterium abdeckt, sind bisher nicht verfügbar.

Die folgenden Kapitel zeigen, welche Anforderungen die unterschiedlichen ökologischen Aspekte an eine Erweiterung existierender Methoden und Techniken des konventionellen Geschäftsprozessmanagements stellen. Dabei sollen sowohl die Gemeinsamkeiten, als auch die Unterschiede herausgestellt werden. Für den Vergleich und die Identifikation der entsprechenden Erweiterungen werden die folgenden Teilbereiche des Geschäftsprozessmanagements analysiert: (1) der Lebenszyklus eines Geschäftsprozesses, (2) Key Performance Indicators zur Quantifizierung der Prozess-Performance, (3) serviceorientierte BPM Architekturen zur Ausführung und Unterstützung von Geschäftsprozessen und (4) der Einfluss strategischer Aspekte bei der Unternehmensausrichtung. Die Auswahl dieser Bereiche basiert auf einer möglichst umfassenden Abdeckung der relevanten Aspekte des Geschäftsprozessmanagements. Der Lebenszyklus deckt alle Phasen von der Entstehung, der Ausführung und schließlich bis hin zur Optimierung eines

Geschäftsprozesses ab. Die Indikatoren bilden die Basis für die Überwachung und Steuerung eines Geschäftsprozesses. Die Architektur umfasst die technische Implementierung eines BPM-Systems. Die Strategieaspekte decken den Einfluss des Managements ab, welches einen zentralen Standpunkt in BPM Initiativen einnimmt.

3.2.1 Green Business Process Management Lebenszyklus

Geschäftsprozessmanagement umfasst verschiedene Phasen, welche der strukturierten Definition und der kontinuierlichen Verbesserung von Unternehmensabläufen dienen. Die Gesamtheit dieser Phasen wird als *Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements (BPM Life Cycle)* bezeichnet. Kapitel 3.2.1.1 stellt verschiedene Ansätze der Definition von Lebenszyklen aus der Literatur dar. Kapitel 3.2.1.2 zeigt anschließend einen erweiterten Green BPM Lebenszyklus, welcher neben konventionellen Anforderungen auch ökologische Nachhaltigkeitsaspekte abdeckt.

3.2.1.1 Übersicht der verschiedenen Ansätze von Lebenszyklen

Das Grundprinzip für die Definition sowie die kontinuierliche Verbesserung von Geschäftsprozessen ist der so genannte PDCA-Zyklus [MN06]. Dieser Zyklus beschreibt mittels der Phasen Planung (*Plan*), Durchführung (*Do*), Überprüfung der Ergebnisse (*Check*) und Umsetzung der daraus resultierenden Änderungsvorschläge (*Act*) ein allgemeines Vorgehen zur ganzheitlichen Betrachtung von Geschäftsprozessen. Die abstrakten Phasen des PDCA-Zyklus wurden in verschiedenen Ansätzen der Literatur auf verschiedene Art und Weise interpretiert, erweitert und verfeinert. Eine Auswahl dieser Ansätze zur Übersicht und Einordnung zeigt Tabelle 2, wobei die verschiedenen Ansätze horizontal und die jeweiligen Phasen vertikal angeordnet sind.

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

Tabelle 2: Übersicht verschiedener Ansätze des Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus und ihren jeweiligen Phasen

	Hammer [Ham10]	WfMC [Hol95]	Weske [Wes07]	Leymann [Ley11] [WKL08]	Rashid N. Khan [Kha04]
Plan	Design, Document and Implement Process	Model and Define	Administration and Stakeholders	KPI Definition	Define Roles and Relationships
			Process Design and Analysis	Modelling	Define Process
					Model and Optimize Process
		Operational Implementation	System Configuration	IT-Refinement	Develop
				Integrate	
			Deployment	Deploy	
Do			Execution	Use	
Check	Monitor Process Performance	Analyze and Improve	Process Enactment	Monitoring	Measure
Act	Improve Design		Evaluation	Analyze	Model and Optimize

Die Modelle von Hammer und der WfMC beschränken sich auf jeweils drei Phasen. Hammer definiert abstrakt die Phasen *Design, Document and Implement Process*, *Monitor Process Performance* und *Improve Design*. Die WfMC definiert die Phasen *Model & Define*, *Operational Implementation* und *Analyse & Improve*. Das Modell von Weske beginnt mit der Phase *Administration und Stakeholders* und legt damit die Rahmenbedingungen der Prozessoptimierung fest. Weiter wird die operationale Implementierung nochmals in *System Configuration* und *Process Enactment* aufgeteilt. Eine detailliertere Unterteilung der Phasen spiegeln die Ansätze von Leymann und Khan wider. Auch diese Ansätze beginnen bereits vor der Modellierung und dem Design der

Prozessmodelle mit der Definition der Ziele und Strategien (*KPI Definition, Define Roles and Relationships*). Wie auch im Modell von Weske werden die Ebenen der Inbetriebnahme (*System Configuration*) und der Ausführung von Prozessen weiter unterteilt. Beide verwenden zudem eigenständige *Monitoring-, Analyse- und Optimierungsphasen*.

3.2.1.2 Definition eines Green Business Process Management Lebenszyklus

Für die Umsetzung eines ganzheitlichen *Green Business Process Management* ist es wichtig, alle zur Unterstützung der ökologischen Nachhaltigkeitsaspekte relevanten Phasen in einem Lebenszyklus abzudecken. Dieses Kapitel führt hierzu einen *grünen* Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus (*Green BPM Life Cycle*) ein, welcher für die Umsetzung ökologischer Anforderungen an Geschäftsprozesse geeignet ist. Der Lebenszyklus basiert in seinen Grundzügen auf dem Lebenszyklus von Leymann, ergänzt um verschiedene Aspekte aus den Ansätzen von Weske und Khan. Abbildung 12 zeigt den für Green BPM optimierten Lebenszyklus in der Übersicht. Neben den verschiedenen Phasen beschreibt Abbildung 12 auch die wesentlichen Erweiterungen der jeweiligen Phase.

Im Folgenden wird die Zusammensetzung der einzelnen Phasen im Detail beschrieben. Die Phasen *KPI Definition, Define Roles and Relationships* und *Administration and Stakeholders* wurden in der Phase *Strategie und Administration* zusammengefasst. Diese ist zentral im Lebenszyklus angeordnet, da sie Einfluss auf alle anderen Phasen hat. Beispielsweise hängt die Modellierung eines Prozesses von den definierten KEIs ab oder die Konfiguration von strategisch geeigneten Ressourcen, welche in einem Prozess verwendet werden können. Die Phase *Modellierung* vereint die Schritte *Process Design* und *Modellierung*, sowie *Define Process* und *Model and Optimize Process*. Die Phase *Konfiguration* umfasst die *System Configuration*, d.h. das *IT-Refinement (Develop und Integrate)* und das *Deployment* von Prozessen. Die Phase *Ausführung* umfasst den Teil des

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

Prozessbetriebs aus der Phase *Process Enactment*, sowie den Phasen *Execution* und *Use*. Die Phase *Monitoring* besteht aus dem Prozessmonitoring und umfasst die Phasen *Process Enactment*, *Monitor Process Performance* sowie die Phase *Measure*. Die Phase *Analyse* fasst die *Evaluation* von Prozessen, die Phase *Improve Design* sowie die Phase *Model and Optimize Process* zusammen. Die Phase *Zertifizierung* liegt im Verantwortungsbereich der *Administration* und beschreibt die für Prozesse und Produkte relevanten Zertifizierungen. Diese Phase ist insbesondere im Bereich ökologischer Optimierungen relevant, um Verbesserungen auch gegenüber Kunden zu kommunizieren.

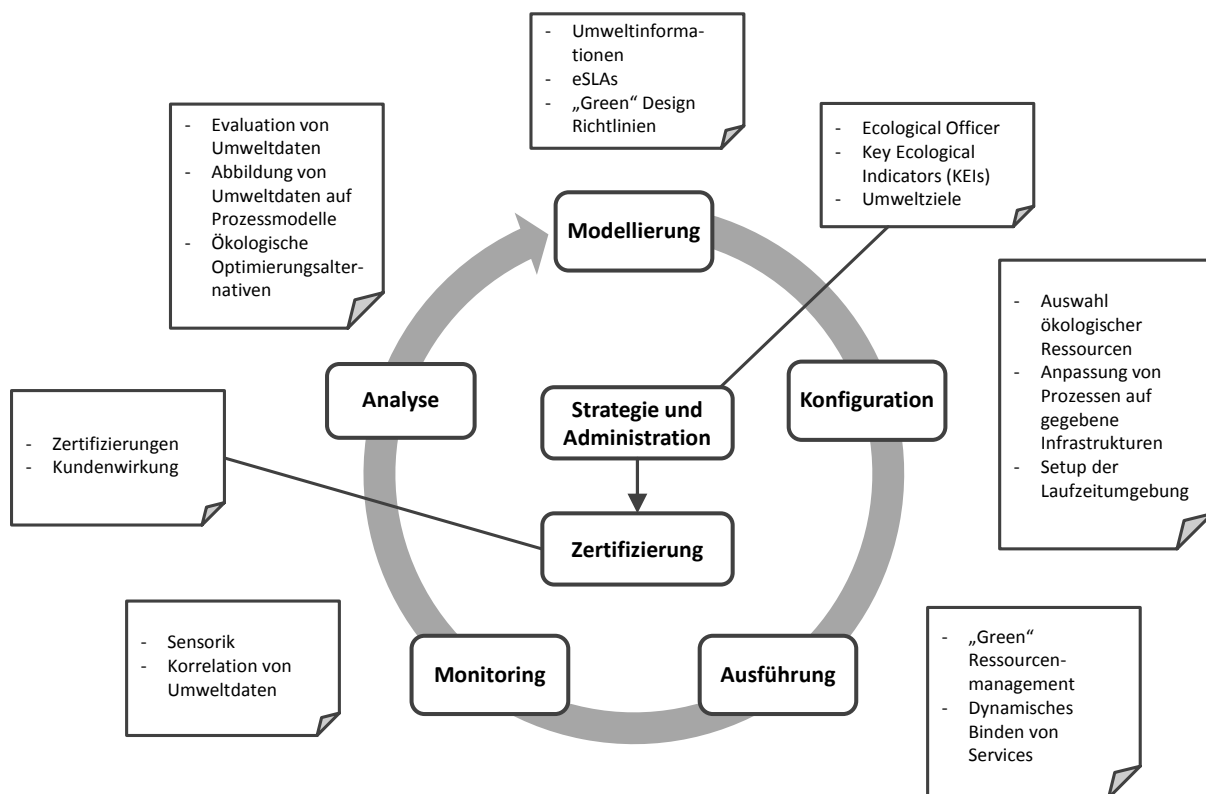


Abbildung 12: Um ökologische Aspekte erweiterter Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements

Alle Phasen des modifizierten Lebenszyklus sind ebenfalls auf die konventionellen Ziele des Geschäftsprozessmanagements anwendbar. Im Folgenden werden die einzelnen Phasen im Detail, insbesondere hinsichtlich der Notwendigkeit von Erweiterungen und Anpassungen zur Berücksichtigung von ökologischen Aspekten, beschrieben.

3.2.1.3 Phase: Strategie und Administration

Die Phase *Strategie und Administration* umfasst die Identifikation und Definition von strategischen Zielen und daraus resultierender Prozesse, die Definition von Quantifizierungsmechanismen zur Überprüfung der definierten Zielvorgaben sowie Aufgaben zur administrativen Unterstützung der Phasen des Lebenszyklus. Die Definition der strategischen Ziele durch das Management sowie die daraus folgende Identifikation der Geschäftsprozesse zur Erreichung der Ziele ist in den Grundzügen identisch zum konventionellen Geschäftsprozessmanagement. Jedoch umfassen die Zielvorgaben auch Vorgaben bezüglich des Umwelteinflusses der zu identifizierenden oder vorhandenen Prozesse. Für die Berücksichtigung der neuen Zielstellungen muss in der Planungsphase deshalb die Infrastruktur, welche zur Ausführung der identifizierten Prozesse notwendig ist, ebenfalls erfasst werden. Hierzu gehören beispielsweise IT-Systeme und Anwendungen, Mitarbeiter, Transportressourcen, etc. Dieser Schritt bildet die Ausgangsbasis für die spätere Erfassung des Umwelteinflusses aller an einem Prozess beteiligten Ressourcen.

Für die Quantifizierung ihrer Leistungsfähigkeit verwenden Unternehmen in der Regel Key Performance Indicators (KPIs), wie beispielsweise der Umsatz oder die Anzahl der Kundenreklamationen. Die Identifikation und Definition dieser KPIs werden dazu verwendet, die Abläufe zur Erreichung bestimmter Zielvorgaben möglichst effizient zu gestalten. Für ein nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement müssen daher neben konventionellen KPIs auch ökologische Aspekte identifiziert und entsprechende Indikatoren erfasst werden. Diese ökologischen Indikatoren werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit als *Key Ecological Indicators* (KEI) definiert. Eine detaillierte Analyse und Definition dieser Indikatoren ist in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

Die Gesamtheit der definierten Indikatoren hat durch ihre strategische Relevanz Auswirkungen auf die Planung und Modellierung der

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

Geschäftsprozesse: Aktivitäten eines Geschäftsprozesses werden neben ökonomischen Aspekten auch anhand ihres Umwelteinflusses ausgewählt. Hierzu zählen sowohl die Auswahl der Aktivitäten und ihrer Ressourcen als auch die Gestaltung einer entsprechenden Struktur des Kontrollflusses. Auch die Ausführung der einzelnen Aktivitäten kann sich durch ökologische Anforderungen von der konventionellen Ausführung unterscheiden. Dies kann bspw. die gesammelte Ausführung von Aktivitäten mehrerer Prozessinstanzen zu einem bestimmten, definierten Zeitpunkt sein. Dadurch können Ressourcen für spezifische Aufgaben zeitabhängig allokiert werden und müssen nicht mehr dauerhaft vorgehalten werden.

Die Unterstützung eines Unternehmens bei der Definition seiner Geschäftsprozesse macht es erforderlich, auch die administrativen Anforderungen phasenübergreifend abzudecken. Diese Anforderungen beziehen sich hauptsächlich auf die Integration der verschiedenen Artefakte der Phasen des BPM Lebenszyklus, d.h. die Integration neuer Informationsquellen, angepasster und neu gestalteter Geschäftsprozesse und Aktivitäten sowie die aus ökologischer Sicht noch engere Verflechtung von Geschäftsprozessaktivitäten und der sie ausführenden Infrastruktur. Für die Realisierung dieser übergreifenden Aufgaben führt die vorliegende Arbeit neben den üblichen Akteuren des Geschäftsprozessmanagements (vergleiche hierzu [Wes07]) den *Ecological Officer* als einen neuen Akteur ein. In Zusammenarbeit mit den verschiedenen Akteuren des Geschäftsprozessmanagements, wie beispielsweise dem *Process Designer*, dem *Systems Architect* oder dem *Business Engineer*, erfüllt diese Rolle eine Querschnittsfunktion, welche die ökologischen Belange in diese Bereiche einbringt und auch eigenständig erweitert. Zu den Aufgaben des *Ecological Officer* gehören: (1) die Spezifikation relevanter Key Ecological Indicators entsprechend der strategischen Ziele des Unternehmens, (2) die Identifikation und Definition geeigneter Mess- und Monitoringmethoden, (3) die Korrelation von existierenden Geschäftsprozessen und den ermittelten

Umweltinformationen, (4) die Unterstützung der Prozessmodellierung und -adaption unter Beachtung geeigneter Verfahrensmuster und (5) die Bereitstellung geeigneter Prozessanalysemethoden. Weitere administrative Aufgaben umfassen die Persistierung von Prozessausführungsdaten sowie mögliche Zertifizierungen von Geschäftsprozessen und verwendeten Ressourcen. Die Persistierung aller bei der Ausführung der Geschäftsprozesse relevanten Informationen, sowohl ökonomischer als auch ökologischer Herkunft, dient der Sicherstellung von Compliance und Zertifizierungsrichtlinien.

3.2.1.4 Phase: Modellierung

Die Phase *Modellierung* umfasst die Beschreibung eines Geschäftsprozesses als Prozessmodell, beispielsweise in BPMN [OMG13] oder BPEL [OAS07]. Das entwickelte Prozessmodell muss anschließend validiert werden, um sicherzustellen, dass die Anforderungen sowohl syntaktisch als auch semantisch korrekt umgesetzt, d.h. der erwartete Ablauf und die Erreichung der Ziele eingehalten wurden. Während konventionelle Prozessmodellierung hauptsächlich auf funktionalen Anforderungen beruht, müssen für die Integration von Umweltindikatoren weitere Aspekte betrachtet werden. Unter Berücksichtigung der definierten KEIs muss das Prozessmodell zunächst sicherstellen, dass die verwendeten Ressourcen nicht nur funktional geeignet sind, sondern auch effizient und effektiv eingesetzt werden. Damit müssen die Auswahlkriterien für Ressourcen und Services und gegebenenfalls die Konstrukte zur Abbildung des Kontrollflusses erweitert werden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen geeignete Methoden und Techniken bereitgestellt werden, welche Informationen zu den definierten KEIs bereits zur Designzeit des Prozessmodells zur Verfügung stellen. Die Designzeit umfasst hierbei sowohl die Definition neuer Prozesse als auch die Optimierung existierender Prozessmodelle. Aus verschiedenen Datenquellen, welche durch den *Ecological Officer* geliefert werden, müssen nach dem Vorbild der funktionalen Anforderungen alle für die Aktivitäten und Services verfügbaren Umweltinformationen bereitgestellt

werden. Dazu gehören beispielsweise Sensorinformationen zur Messung des Energie- und Wasserverbrauchs oder spezifische *Ecological Service Level Agreements (eSLAs)*, welche von Drittanbietern für bestimmte Services zur Verfügung gestellt werden. Wie auch bei der Identifikation funktional passender Services ist eine Analyse der verfügbaren Services unerlässlich.

Die Integration von Umweltinformationen kann dazu führen, dass Prozessmodelle von Grund auf neu gestaltet oder spezifische alternative Varianten eines Modells definiert werden. Beispielsweise können unterschiedliche Rohstoffe oder Ressourcen mit unterschiedlichen SLAs verwendet werden. Auch kann dem Kunden die Auswahl zwischen konventioneller und nachhaltiger Prozessausführung überlassen werden. Diese Konstellationen können an weitere Bedingungen, beispielsweise einen monetären Ausgleich, geknüpft sein. Durch den bisher geringen Verbreitungsgrad von ökologisch nachhaltigem Design- und Optimierungswissen ist es zudem wichtig, die Modellierung der Aktivitäten in Geschäftsprozessen durch entsprechende Methoden zu unterstützen. Die vorliegende Arbeit führt hierzu verschiedene Green Business Process Patterns ein, welche Lösungsvorschläge aus bereits bewährten Anwendungsfällen und aus verschiedenen Domänen, wie beispielsweise dem *Cloud Computing* oder dem *Enterprise Application Architecture*, abbilden und für eine nachhaltige Prozessoptimierung bereitstellen. Dies kann gegebenenfalls zu vollständig neuen Strukturen eines Prozesses führen. Weitere Details zur Anwendung der Patterns werden in Kapitel 5 beschrieben.

Ein weiterer Aspekt dieser Phase ist die Definition und Bereitstellung von geeigneten Methoden für die Analyse und Evaluation der Prozessmodelle. Studien und Literatur [LS87][VTM08] haben gezeigt, dass die Analyse unter Verwendung graphischer Elemente in vielen Bereichen einer textuellen Repräsentation überlegen ist. Die zu definierenden Methoden müssen deshalb in der Lage sein, die identifizierten KEIs adäquat, d.h. leicht und schnell verständlich, darzustellen. In Kapitel 4.5 wird eine

konkrete Methode zur Darstellung von KEIs eines Geschäftsprozesses vorgestellt. Auf Basis von lose gekoppelten Visualisierungstemplates können je nach KEI Typ verschiedene Visualisierungselemente verwendet werden, um die mit einem Geschäftsprozess assoziierten Umweltinformationen darzustellen. Die Modellierung dieser Templates ist zwar innerhalb dieser Phase des Lebenszyklus anzusiedeln, ist jedoch nicht an individuelle Prozessmodelle geknüpft. Erstellte Visualisierungstemplates können für verschiedene Prozessmodelle wiederverwendet werden.

3.2.1.5 Phase: Konfiguration

Die vorhergehende Phase der Modellierung stellt ein Prozessmodell bereit, welches die Definition der Aktivitäten sowie deren strukturelle Anordnung umfasst. Die Phase *Konfiguration* beinhaltet anschließend alle Schritte, welche zur Ausführung dieses Modells notwendig sind. In der IT gehören dazu insbesondere die Definition eines ausführbaren Prozessmodells, beispielsweise in der Sprache BPEL, sowie die Auswahl konkreter Systeme und Services. Die Auswahl der Systeme und Services beschreibt, wie einzelne Aktivitäten konkret realisiert werden, d.h., unter Verwendung welcher Technologie eine Aktivität ausgeführt wird. Diese Auswahl basiert in der Regel auf den definierten Zielvorgaben, d.h. ökonomischen, sicherheitsrelevanten oder Compliance Aspekten, und soll sicherstellen, dass die definierten Zielvorgaben und SLAs eingehalten werden. Bei der Berücksichtigung von ökologischen Aspekten (KEIs) der verwendeten Systeme und Services müssen diese Anforderungen an die Auswahl angepasst werden. Zum Beispiel kann eine Aufgabe durch ein IT-System möglicherweise sehr schnell und effizient ausgeführt werden. Die Ausführung der Aufgabe durch einen Mitarbeiter führt jedoch zu einem geringeren direkten Energieverbrauch bzw. einem geringeren Umwelteinfluss. Folglich muss sichergestellt werden, dass ein eventuell entstehender Zielkonflikt durch Auswahlentscheidungen angemessen adressiert, d.h. alle strategischen Ziele gleichermaßen erfüllt werden.

Dieses Beispiel zeigt, dass Green Business Process Management nicht nur die strukturelle Gestaltung von Geschäftsprozessen, sondern explizit auch die Ausführungsumgebung und die jeweilige Implementierung in den Mittelpunkt stellen muss. In der Umsetzung müssen deshalb beide Herangehensweisen, *Top-Down* und *Bottom-Up*, berücksichtigt werden. Der Bottom-Up Ansatz geht von einer gegebenen Infrastruktur aus und hat das Ziel, diese durch eine geeignete Modellierung der Geschäftsprozesse möglichst effizient zu nutzen. Die Modellierung eines automatisierten Geschäftsprozesses kann beispielsweise sicherstellen, dass Abfragen an Datenquellen nicht nach jedem Prozessschritt, sondern gebündelt erfolgen. Dadurch können Aufwände für die Kommunikation eingespart werden. Der Top-Down-Ansatz hingegen beschreibt die Abbildung von Prozessaktivitäten auf spezifische Ressourcen oder Typen von Ressourcen, welche die gegebene Aufgabe möglichst effizient abarbeiten. Im Bereich von IT-Systemen können beispielsweise skalierende Ressourcen eingesetzt werden, welche sich der tatsächlichen Nutzlast der Aktivitäten eines Prozesses anpassen. Sind die Ressourcen nur wenig ausgelastet, können Teile davon abgeschaltet werden. Werden mehr Ressourcen benötigt, können diese flexibel hinzugeschaltet werden.

Für eine detaillierte Analyse der Geschäftsprozesse – der Auswahlalternativen für Systeme und Services oder zur Unterstützung einer automatisierten Auswahl von Services (auch zur Laufzeit) – muss die Phase *Konfiguration* auch die Identifikation, Definition und Integration verschiedener Datenquellen sicherstellen. In Abhängigkeit der definierten KEIs müssen Methoden und Techniken bereitgestellt werden, welche die Überwachung der in den KEIs beschriebenen Metriken ermöglichen. Die Verwendung dieser Informationsquellen ist Teil des Monitoringmodells der Phase *Monitoring*.

3.2.1.6 Phase: Ausführung

Die Phase *Ausführung* steuert aktiv den Ablauf einzelner Prozessinstanzen. In Abhängigkeit der definierten Konfiguration nimmt diese Phase weitere

Aufgaben zur effizienten Ressourcenallokation und Ausführung wahr. Ein Aspekt hierbei ist das geeignete Management von Ressourcen zur Erreichung eines minimalen negativen Umwelteinflusses. Am Beispiel von Cloud Computing bedeutet dies, dass Ressourcen basierend auf dem tatsächlichen Bedarf der auszuführenden Prozessinstanzen bereitgestellt werden. Ein weiterer Aspekt betrifft die effiziente Ausführung von Prozessinstanzen. Der Fokus liegt hier nicht ausschließlich auf der bedarfsgerechten Bereitstellung von Ressourcen, sondern auch auf der Auswahl effizienter Ressourcen. Das konventionelle Geschäftsprozessmanagement bietet hierzu Methoden, welche das dynamische Binden von Services zur Laufzeit erlauben. Durch die Erweiterung der Auswahlkriterien hinsichtlich ökologischer Aspekte können diese Methoden auch zur Auswahl ökologisch effizienter Ressourcen und Services herangezogen werden.

3.2.1.7 Phase: Monitoring

Die Phase *Monitoring* umfasst die Überwachung aller relevanten Informationen laufender Prozessinstanzen. Üblicherweise werden hier alle Informationen der Ausführung erfasst, welche auf Basis der definierten KPIs die Performance eines Geschäftsprozesses wiedergeben und für die Analyse sowie zur Überprüfung der Einhaltung der strategischen Ziele relevant sind. Die vorherigen Phasen haben bereits gezeigt, dass für die Berücksichtigung von ökologischen Zielen weitere Informationen zur Ausführungsumgebung aus neuen Datenquellen erforderlich sind. Dies betrifft insbesondere die Werte, welche zur Ermittlung der definierten KEIs erforderlich sind. Hierfür werden zusätzliche Überwachungs- und Sensorfunktionalitäten benötigt, welche den Ablauf eines Prozesses in allen Bereichen dokumentieren und für eine ökologische Analyse transparent machen.

Um diese Informationen innerhalb der Analysephase nutzbar zu machen, muss das Monitoring die Integration der verschiedenen Informationssysteme sicherstellen. Insbesondere die Integration der verschiedenen

Messsysteme zur Ermittlung der KEIs bedarf der Spezifikation eines geeigneten Monitoringmodells. Ein solches Modell hat zwei Primäraufgaben: (1) die Bereitstellung der für die KEI Metriken benötigten Informationen und (2) die Korrelation zwischen Umweltinformationen und denen der Ausführung. Der zweite Schritt ist besonders wichtig, da die Informationsquellen normalerweise vollkommen losgelöst voneinander sind. Kapitel 4.4 zeigt eine mögliche Methode für die Korrelation des Energieverbrauchs von IT-Systemen und deren Auslastung, initiiert durch den Aufruf verschiedener Aktivitäten eines Prozesses.

Für die Analyse von Geschäftsprozessen, auch im Rahmen von Audits, ist die dauerhafte Speicherung der Laufzeit- und Umweltinformationen ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Monitorings. Hierzu müssen gegebenenfalls bestehende Persistierungsschemata erweitert oder ergänzt werden. Der Grad der Erweiterung hängt dabei immer von der Art eines Geschäftsprozesses (manuell oder automatisiert), den definierten Umweltaspekten und der verwendeten Persistierungslösung ab. Eine individuelle Abwägung ist deshalb unerlässlich.

3.2.1.8 Phase: Analyse

In der Phase *Analyse* wird die Ausführung von Geschäftsprozessen anhand der durch das Monitoring zur Ausführungszeit gesammelten Informationen untersucht und bewertet. In dieser Phase findet die Überprüfung der umgesetzten Zielvorgaben verbunden mit der Identifikation von Schwachstellen statt. Die Darstellungs- und Analysemöglichkeiten der Informationen des konventionellen Prozessmonitorings müssen um Möglichkeiten zur Darstellung der identifizierten Umweltinformationen der Ausführungsumgebung erweitert werden. Diese Erweiterung ermöglicht die Identifikation des spezifischen Umwelteinflusses eines Geschäftsprozesses sowie die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Aktivitäten und Prozessmodellen. Methoden für die Evaluation müssen somit sowohl KPIs als auch KEIs unterstützen.

Die Analyse und Evaluation der Prozessmodelle kann durch geeignete *Business Dashboards* oder Analysetechniken erfolgen, welche die relevanten Indikatoren in einer übersichtlichen und schnell zu erfassenden Form präsentieren. Dies ermöglicht Entscheidungsträgern neue prozessspezifische Optimierungsmuster zu identifizieren oder existierende Patterns und Best-Practices zu nutzen, um den Umwelteinfluss der Prozesse zu verbessern. Durch die in [NLS+11] gewonnenen Erkenntnisse konnten beispielsweise Prozesssichten als eine geeignete Methode zur visuellen Darstellung und Analyse von Prozessen auf Basis definierter KEIs identifiziert werden. Diese definierten Sichten erlauben Entscheidungsträgern, neben der Analyse, auch den Vergleich verschiedener Prozessalternativen hinsichtlich des ökonomischen und ökologischen Einflusses.

Für die Darstellung der Prozessmodelle müssen in Abhängigkeit der in der Phase *Modellierung* definierten und modellierten Analyseansätze gegebenenfalls geeignete Analysekonfigurationen definiert werden. Das Ziel dieser Konfigurationen ist die Spezifikation und die Abbildung von Informationen aus den integrierten Datenquellen auf konkrete Elemente eines Prozessmodells. Hierbei wird beispielsweise unter Verwendung der Ergebnisse des Monitoringmodells der Energieverbrauch eines IT-Services konkreten Aktivitäten eines Prozessmodells zugeordnet.

3.2.1.9 Phase: Zertifizierung

Die Zertifizierung von Produkten, Dienstleistungen oder Managementsystemen dient dem Nachweis der Einhaltung und Erfüllung eines deklarierten Qualitätsstandards. Beispiele hierfür sind Zertifizierungen von Managementsystemen und Prozessabläufen nach ISO 9001 [ISO14a] oder Zertifizierungen der Informationssicherheit nach BS 7799 und ISO/IEC 27001 [ISO14b]. Wie bei diesen bereits etablierten Zertifizierungen bietet sich auch bei der Berücksichtigung von ökologischen Nachhaltigkeitsaspekten eine geeignete Zertifizierung an. Diese dient als Nachweis zur Einhaltung von Umweltstandards sowohl auf

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

Ebene der ethischen Unternehmensverantwortung gegenüber der Umwelt als auch gegenüber rechtlichen Vorgaben und entsprechenden Nachweispflichten.

Zertifizierungen, wie beispielsweise die ISO 14001 für das Umweltmanagement von Unternehmen [ISO14] oder des Forest Stewardship Councils (FSC) [FSC14] zur nachhaltigen Erzeugung von Produkten, geben Unternehmen zunehmend Möglichkeiten, auch die Einhaltung von Umwelt- und Sozialstandards nachzuweisen. Es ist jedoch zu beachten, dass verschiedene Zertifizierungen und Umweltlabels nicht immer einen vergleichbaren Stellenwert einnehmen. Um insbesondere die Wirkung gegenüber Kunden und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens zu verbessern, werden häufig Marketingstrategien angewendet, welche die Produkte, Dienstleistungen, Ziele und Unternehmensrichtlinien möglichst umweltfreundlich erscheinen lassen. Diese, als *Greenwashing* bezeichneten Kampagnen, wurden bereits seit den 1980er Jahren in der Presse und Literatur diskutiert [Hay11][Mot11][Rom08][Sur08]. Der Vorwurf gegenüber diesem Vorgehen, bei dem lediglich die Außenwirkung des Unternehmens verbessert werden soll, besteht darin, dass die Steigerung des Profits über die Verbesserung des Umweltzustands gestellt wird. Die Veränderungen spiegeln sich dann nicht in den Organisationsstrukturen wider.

3.2.1.10 Zusammenfassung: Green BPM Lebenszyklus

Die Analyse der Anforderungen an die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in den Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements hat gezeigt, dass dieser an einigen Stellen angepasst und erweitert werden muss. Eine Zusammenfassung der relevanten Aspekte zeigt die folgende Aufstellung:

Erweiterungen des Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus:

- Identifikation ökologischer Zielvorgaben und Definition durch *Key Ecological Indicators*
- Einführung der neuen Rolle *Ecological Officer*
- Integration von Umweltaspekten in die Prozessmodellierung
- Integration von Umweltaspekten in die Auswahl und das Nutzungsverhalten von Ressourcen
- Bereitstellung von erweiterten Datenquellen und Monitoringmodellen für die Erfassung und Verarbeitung von Umweltdaten
- Erweiterung der Methoden und Techniken für die Analyse von Geschäftsprozessen
- Einführung der neuen Phase Zertifizierung zum Nachweis der Einhaltung von Umweltstandards

3.2.2 Key Ecological Indicators

Der Einsatz von Indikatoren in Unternehmen dient der Quantifizierbarkeit und damit der Überwachung und Analyse der internen und externen Leistungsfähigkeit [BS08]. Diese werden deshalb auch häufig als *Performance Indicators* oder *Performance Measures* bezeichnet. In der Literatur werden die Begriffe *Indicator* und *Measure* jedoch differenziert betrachtet. Unter einem *Measure* wird üblicherweise ein Messwert verstanden, welcher direkt aus messbaren Einheiten abgeleitet werden kann, beispielsweise die Anzahl an Kundenbestellungen. Indikatoren werden üblicherweise als quantitative Bewertung von Variablen verstanden, welche häufig indirekt, d.h. durch die Aggregation von einem oder mehreren Typen von *Messwerten*, ermittelt werden [BC09]. Ein Beispiel hierfür ist die Kundenzufriedenheit. In bestimmten Anwendungsbereichen kann ein einzelner Messwert auch zur Repräsentation eines Indikators verwendet werden. Damit können

Messwerte auch als eine spezielle Teilmenge von Indikatoren definiert werden.

Die Aggregation von Informationen in einzelne Indikatoren hat das Ziel, den internen und externen Zustand eines Unternehmens in einer einfachen, aggregierten und leicht zu erfassenden Art und Weise darzustellen [HJJ96]. Sie dient damit sowohl der Komplexitätsreduktion der verfügbaren Informationen als auch der Einschränkung auf strategisch relevante Aspekte [Gla08]. Indikatoren lassen sich hierfür in verschiedene Klassen einteilen [Eic76]: *Vergangenheitsorientierte* Indikatoren spiegeln die derzeitige Situation eines Unternehmens anhand der zur Verfügung stehenden Geschäftsinformationen wider. *Normative Indikatoren* spezifizieren quantitative Zielvorgaben, welche zukünftig erreicht werden sollen. *Orientierungsindikatoren* ermöglichen die Bewertung der externen Unternehmenssituation, beispielsweise der Vergleich eines Unternehmens mit dem Branchendurchschnitt.

Auf Grund der strategischen Orientierung von Indikatoren müssen diese für die Definition und Überwachung von ökologischen und nachhaltigen Zielvorgaben entsprechend erweitert werden. In der vorliegenden Arbeit werden deshalb zunächst die Eigenschaften und Definitionen konventioneller Performance Indikatoren betrachtet. Für die Erweiterung dieser Indikatoren um nachhaltige und insbesondere ökologische Aspekte werden im Anschluss die Eigenschaften von Umweltindikatoren im Allgemeinen sowie deren Adaption auf die Konzepte der Key Performance Indicators betrachtet. Eine Definition der daraus resultierenden *Key Ecological Indicators* zeigt anschließend die wesentlichen Unterschiede.

3.2.2.1 Einordnung von Key Performance Indikatoren (KPIs)

Key Performance Indikatoren bilden eine spezifische Teilmenge der in einem Unternehmen verfügbaren Indikatoren. Sie beschreiben einen bestimmten „*type of performance measures*“ [Fit90], welcher durch Thompson et al. als Mittel „*to estimate the parameters under which programs, investments, and acquisitions are reaching the targeted results*“

[TSG07] definiert werden. Rasmussen präzisiert diese Aussage im Zusammenhang von Key Performance Indikatoren und spricht von „*measures ,that matter‘ and ideally can be acted on*“ [RBC09].

Auch in der ökonomischen Praxis wird der strategische Nutzen von KPIs in den Vordergrund gestellt. KPIs werden hierbei beschrieben als eine „*actionable scorecard that keeps your strategy on track. They enable you to manage, control and achieve desired business results*“ [Pet12]. Daraus lässt sich ableiten, dass KPIs nicht nur spezielle Indikatoren darstellen, sondern auch Referenzwerte beinhalten, welche die Einhaltung strategischer Vorgaben überprüfbar machen. Erst die Definition dieser Referenzwerte gibt den Indikatoren die Bedeutung, welche sie von Rohdaten unterscheidet [AGH+07][Gal97].

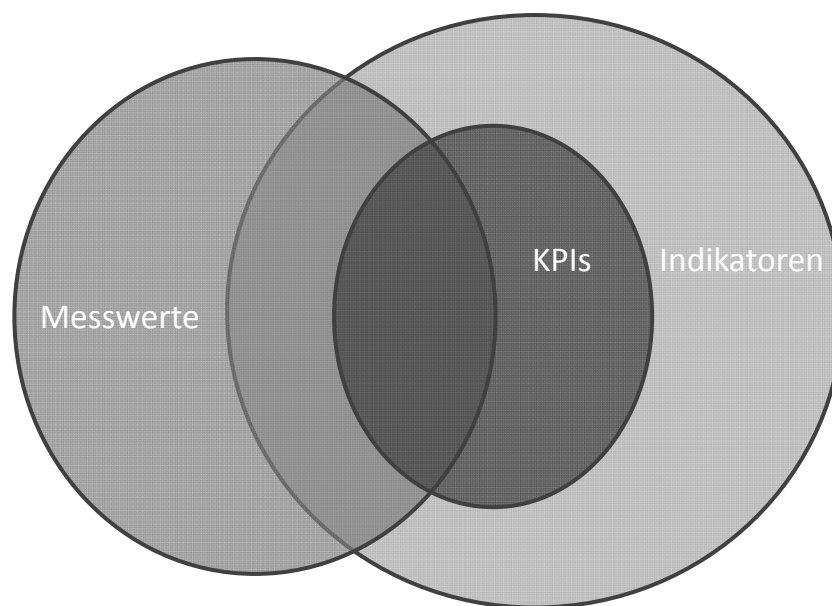


Abbildung 13: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren und KPIs

Die verschiedenen Definitionen machen deutlich, dass KPIs allgemein als eine Auswahl an signifikanten Indikatoren zu verstehen sind, welche einen strategischen Unternehmensbezug vorweisen. Parmenter beschreibt diese relevanten Indikatoren als Fokussierung „*on those aspects of organizational performance that are the most critical for the current and future success of an organization*“ [Par10]. Abbildung 13 zeigt die

schematische Einordnung von KPIs im Bereich von Messwerten und Indikatoren.

Die Analyse der verschiedenen Definition von KPIs aus der existierenden Literatur und Praxis [AGH+07][Gal97][Par10][RBC09][TSG07] hat gezeigt, dass viele dieser Definitionen einen ähnlichen Konsens hinsichtlich der Interpretation und Bedeutung von KPIs aufzeigen. Die Analyse dieser Eigenschaften bietet eine geeignete Ausgangsbasis, um die erforderlichen Aspekte zur Definition von Umweltindikatoren, beziehungsweise Key Ecological Indicators (KEIs), zu spezifizieren. Eine Zusammenfassung der identifizierten Eigenschaften lässt sich wie folgt beschreiben:

- KPIs repräsentieren einen oder mehrere quantifizierbare Messwerte oder Metriken.
- Metriken und Messwerte werden durch das Management anhand der strategischen Zielvorgaben des Unternehmens bestimmt.
- KPIs transformieren komplexe und unübersichtliche Informationen in einfache, leicht zu verstehende Kennzahlen.
- KPIs geben Aufschluss darüber, wie die definierten Unternehmensziele eingehalten werden.
- KPIs erlauben es Entscheidungsträgern, schnell auf Abweichungen gegenüber den Zielvorgaben zu reagieren.

Es ist jedoch festzuhalten, dass auf Basis der eingeführten Differenzierung zwischen *Indikatoren* und *Messwerten* die Begriffsinterpretation der vorangegangenen Definitionen aus der Literatur nicht immer konsistent ist. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe deshalb weiter differenziert.

3.2.2.2 Einordnung von Umweltindikatoren

Das Ziel eines umfassenden Umweltmanagements in Unternehmen ist die nachhaltige Nutzung von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen auf der Input-Seite sowie die Reduzierung von Verschmutzung und Abfall

auf der Output-Seite [Goo95]. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Umweltindikatoren verwendet, welche es Unternehmen ermöglichen, einen Überblick über den Zustand ihrer Umwelt zu erlangen und gleichzeitig als Erkennungssignal für Veränderungen des Umweltzustandes und der Analyse von Umweltproblemen dienen [DB01]. In Anlehnung an die identifizierten Eigenschaften von Indikatoren (KPIs) aus Kapitel 3.2.2.1 beschreiben Umweltindikatoren ökologisch relevante Indikatoren eines Unternehmens als erforderlichen Teil des strategischen Umweltmanagements und der Entwicklung von entsprechenden Optimierungsstrategien.

Das Konzept der Nutzung von Umweltindikatoren zur Evaluation des Umweltzustands wurde bereits vertiefend in der Literatur diskutiert. Holdren et al. [HDE95] definieren ökologische Nachhaltigkeit allgemein als Ansatz zur Erreichung eines „*economic and social improvement within a framework of cultural diversity while maintaining (1) biological diversity and (2) the biogeochemical integrity of the biosphere by means of conservation and proper use of air, water, and land resources*“. Damit die nachhaltige Nutzung von Ressourcen entsprechend spezifiziert werden kann, müssen Umweltindikatoren quantitative Repräsentationen verschiedener Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit abbilden [MJH11]. Beispiele dieser Aspekte sind der Klimawandel, Luftverschmutzung, Wasserqualität, Abfallentsorgung und Ressourcenverbrauch.

Eine präzisere Formulierung der United States Environmental Protection Agency [UEPA14] definiert Umweltindikatoren als einen „*numerical value that helps provide insight into the state of the environment or human health. Indicators are developed based on quantitative measurements or statistics of environmental condition that are tracked over time. Environmental indicators can be developed and used at a wide variety of geographic scales, from local to regional to national levels*“. Eine ähnliche Definition wurde durch die European Environment Agency [EEA14] erarbeitet, jedoch betrachtet diese Definition explizit das System, welches den Umwelteinfluss zu verantworten hat und bezieht auch

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

geeignete Steuerungsmaßnahmen mit ein. Sie definiert Umweltindikatoren als *„a parameter or a value derived from parameters that describe the state of the environment and its impact on human beings, ecosystems and materials, the pressures on the environment, the driving forces and the responses steering that system. An indicator has gone through a selection and/or aggregation process to enable it to steer action“*.

Auch Kottmann et al. [KLC99] beschreiben Umweltindikatoren in Anlehnung an die Betriebswirtschaft abstrakt als *„eine mittelbar oder unmittelbar relevante Größe, in Form einer absoluten oder relativen Zahl, die gezielt einen betrieblichen Sachverhalt mit erhöhtem Erkenntniswert beschreibt“*. Weiter führen sie an, dass Umweltindikatoren *„insbesondere die Umweltziele des Unternehmens reflektieren, die mit Blick auf ein nachhaltiges Wirtschaften selbst gesetzt wurden“*.

Eine Analyse der verschiedenen Definitionen erlaubt es, eine Menge an einheitlichen Eigenschaften für Umweltindikatoren abzuleiten. Diese Eigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Umweltindikatoren sind für die ökologische Umwelt relevante und quantifizierbare Indikatoren.
- Sie bieten die Möglichkeit, einen Überblick über den Umweltzustand zu erlangen.
- Sie können zur Steuerung eines Systems, welches maßgeblich zur Veränderung eines Umweltzustandes beiträgt, verwendet werden.

Auf Basis der identifizierten Eigenschaften zeigt Abbildung 14 eine Übersicht zur schematischen Einordnung von Umweltindikatoren in den Kontext von Messwerten, Indikatoren und KPIs.

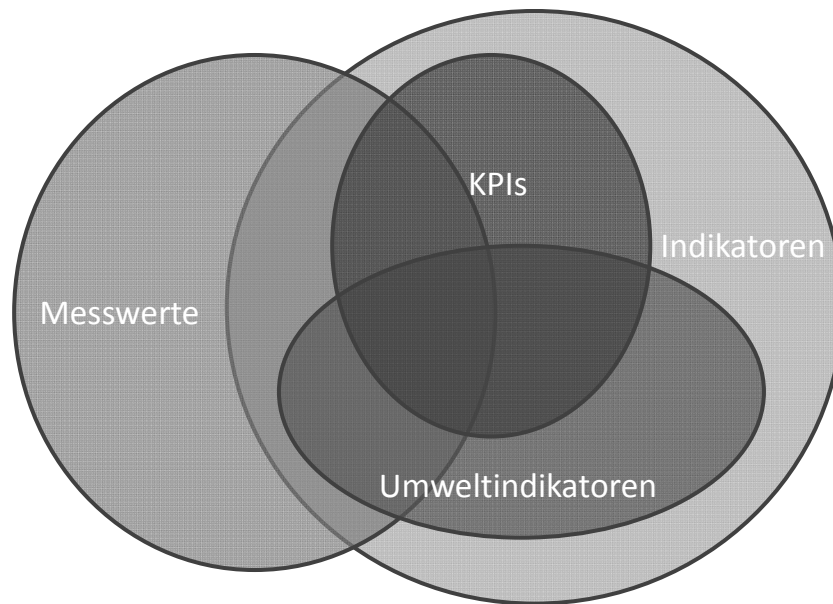


Abbildung 14: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren, KPIs und Umweltindikatoren

3.2.2.3 Definition von Key Ecological Indicators

Für Unternehmen ist es wichtig, dass sie für die strategische Steuerung des Unternehmens auf relevante Umweltindikatoren zurückgreifen können. Deshalb werden in der vorliegenden Arbeit die in Kapitel 3.2.2.2 identifizierten Eigenschaften von Umweltindikatoren auf die in Kapitel 3.2.2.1 identifizierten Eigenschaften von KPIs übertragen. Damit werden, vergleichbar mit Performance Indikatoren und Key Performance Indikatoren, Umweltindikatoren auf eine strategisch relevante Menge beschränkt. Zur Beschreibung der strategisch relevanten Umweltindikatoren führt diese Arbeit den Begriff der *Key Ecological Indicators (KEIs)* als eine Erweiterung existierender KPIs ein.

Allgemeine Definition KEIs: KEIs repräsentieren quantifizierbare Indikatoren, welche den Umweltzustand eines Geschäftsprozesses sowie deren Einfluss auf Mensch, Umwelt und Rohstoffe beschreiben. KEIs stellen dabei komplexe und fein-granulare Messwerte als aggregierte, leicht zu verstehende Indikatoren dar, welche es Entscheidungsträgern ermöglichen, schnell auf Abweichungen gegenüber definierten Zielwerten

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

zu reagieren. Diese Zielwerte werden vom Management eines Unternehmens auf Basis dessen ökologischen, ökonomischen und strategischen Zielen festgelegt.

Auf Basis dieser allgemeinen Definition von KEIs lässt sich ein KEI aus formaler Sicht wie folgt definieren.

Formale Definition KEIs: Ein Key Ecological Indicator *kei* ist definiert als ein Paar $kei = (\mathcal{M}, zf)$, wobei gilt: \mathcal{M} ist eine Menge ökologisch relevanter Messwerte $m \in \mathcal{M}$ und zf eine Zielfunktion, welche sich aus den zu erreichenden Umweltzielen eines Unternehmens ableitet.

Ein KEI für einen bestimmten Geschäftsprozess kann beispielsweise wie folgt aussehen:

$$kei = (\{1,24, 1,33, 1,13\}, \max(CO_2 - emission\ of\ process\ P) < 1,3)$$

Hierbei werden die CO₂-Emissionen als ökologisch relevanter Indikator verwendet. Die Zielfunktion besagt, dass der maximale Emissionswert x_1 nicht überschritten werden soll.

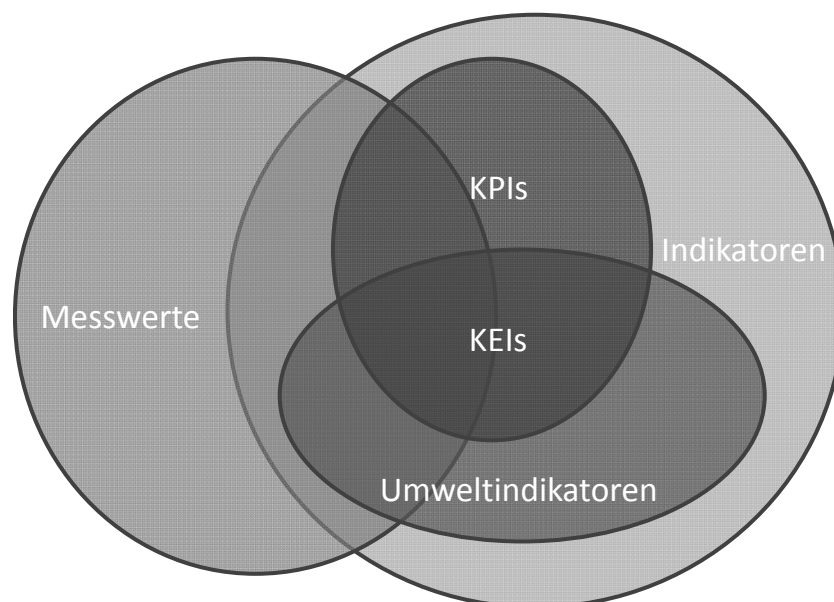


Abbildung 15: Schematische Einordnung von Messwerten, Indikatoren, KPIs, Umweltindikatoren und KEIs

Unter Berücksichtigung der KEI Definitionen zeigt Abbildung 15 die Einordnung von KEIs gegenüber KPIs, Umweltindikatoren, Indikatoren und Messwerten.

3.2.2.4 Zusammenfassung: Key Ecological Indicators

Key Performance Indikatoren stellen ein wichtiges Instrument zur Überwachung strategisch relevanter Aspekte eines Unternehmens dar. Die Überwachung und Analyse des Umweltzustands eines Unternehmens erfordert eine entsprechende Erweiterung der Definition und Anwendung von KPIs. Die Einführung von *Key Ecological Indicators* greift dieses Problem auf und ermöglicht die Abbildung aller umweltrelevanten Aspekte eines Unternehmens.

Erweiterungen von Key Performance Indicators:

- Einführung einer neuen Art von Indikatoren: *Key Ecological Indicators (KEI)*
- KEIs basieren auf strategischen Zielvorgaben eines Unternehmens
- Ausweitung des Trade-Offs zwischen den Optimierungsdimensionen Qualität, Kosten, Zeit, Flexibilität und Ökologie
- Entwicklung und Definition von neuen Messzahlen und entsprechenden Aggregationsfunktionen auf Basis ökologischer Faktoren

3.2.3 IT-Architektur des Green BPMs

Die verschiedenen Phasen des Geschäftsprozessmanagements Lebenszyklus werden typischerweise durch den Einsatz verschiedener IT-Systeme unterstützt. Diese Systeme erlauben es, alle für die Ausführung eines Prozesses relevanten Informationen zu erheben, zu verarbeiten und dauerhaft abzuspeichern. Für die Berücksichtigung ökologischer Aspekte

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

müssen deshalb, basierend auf den Erweiterungen des Geschäftsprozessmanagements Lebenszyklus und der KPIs, auch die unterstützenden IT-Systeme erweitert und angepasst werden. Die benötigten Erweiterungen werden in diesem Kapitel erarbeitet. Zur Darstellung der benötigten Erweiterungen wird eine service-orientierte BPM Architektur nach Bhaskaran et al. [BCC+06] verwendet. Einen Überblick dieser erweiterten Architektur zeigt Abbildung 16.

Die einzelnen Bereiche dieser Architektur unterstützen den Geschäftsprozesslebenszyklus dabei wie folgt: Der Bereich Input Data unterstützt die Phasen der Ausführung und des Monitorings und stellt die hier anfallenden Ausführungsdaten bereit, die Event Infrastructure und die Management Components unterstützen die Phase der Analyse durch die Aufbereitung, Aggregation und Visualisierung von Informationen, beispielsweise KEIs, der Bereich Adaption unterstützt die Modellierung und die Weiterentwicklung von Prozessen durch die Ableitung von konkreten Adaptionalternativen aus den Analyseergebnissen. Die folgenden Kapitel beschreiben die einzelnen Bereiche detailliert und zeigen die erforderlichen Erweiterungen und Anpassungen dieser Komponenten auf.

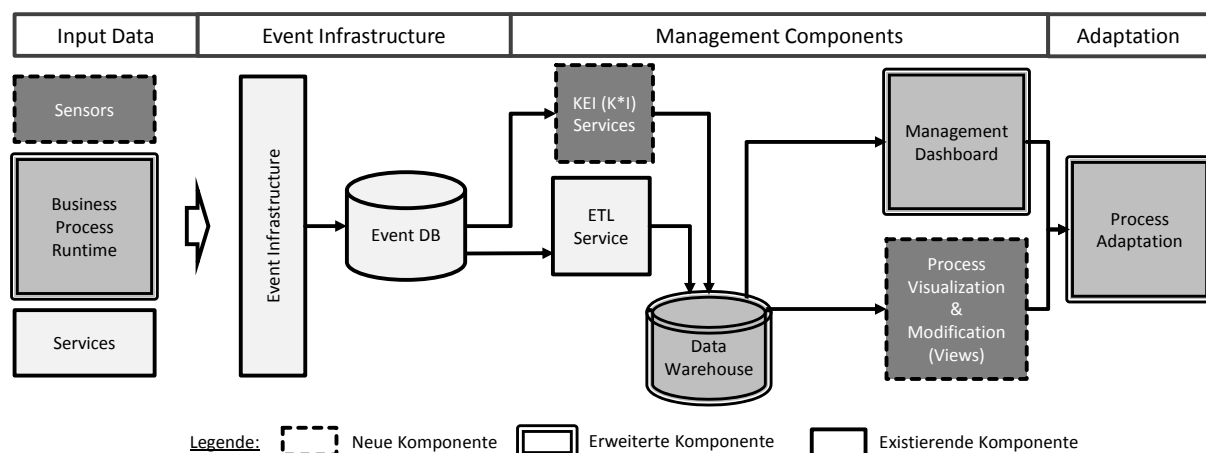


Abbildung 16: Erweiterte Geschäftsprozessmanagement Architektur (in Anlehnung an [BCC+06])

3.2.3.1 Input Data

Der Bereich *Input Data* umfasst alle bei der Ausführung von Geschäftsprozessen zu verarbeitenden Informationen (in der IT auch *Events* genannt). Hierzu gehören sowohl Informationen, welche direkt von den auszuführenden Services generiert und bereitgestellt werden, als auch Informationen der Ausführungsumgebung selbst. Die Ausführungsumgebung von Workflows beispielsweise besteht typischerweise aus einer Process Engine, verschiedenen Services, Kommunikationskanälen, Human Task Managers und Verbindungen zu weiteren Kollaborationspartnern. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, weitere Daten manuell zu erfassen. Neben diesen Informationen werden zur Berücksichtigung von ökologischen Aspekten weitere Informationsquellen benötigt, welche in der Lage sind, bestimmte Ressourcenverbräuche auszudrücken. Üblicherweise werden hierzu geeignete Typen von Sensoren und Messinstrumenten verwendet. Je nach den definierten KEIs müssen Sensoren unterschiedliche Anforderungen abdecken: Messungen von Wasser-, Brennstoff- oder Energieverbräuchen, Emissionen, Gebäudezustände etc. Auch die Bereitstellung der Sensordaten für die weiteren Verarbeitungsschritte kann je nach Anwendungsfall variieren. Lazovik et al. [LDG+09] präsentieren beispielsweise eine Möglichkeit, bei der Sensordaten als Web Service gekapselt und somit in bestehende Event-Infrastrukturen integriert werden können.

Es gibt auch Anwendungsfälle, in denen keine Sensoren verfügbar oder Sensordaten nicht ausreichend sind. Dies ist beispielsweise bei der Nutzung von Services eines Drittanbieters, oder im Falle der Erfordernis von Langzeitstudien gegeben. In diesen Fällen müssen Informationen entweder auf Basis eigener Abschätzungen oder auf Basis der vereinbarten *Quality of Services* (QoS) festgelegt werden. Insbesondere in diesen Fällen ist die Wiederverwendbarkeit der Informationen ein wichtiges Kriterium. Die Informationen sollten deshalb in einem separaten Repository abgelegt werden. Für die Bereitstellung dieser Informationen innerhalb der Event-

Infrastruktur können je nach verwendeten Technologien diverse Adapter verwendet werden.

3.2.3.2 Event Infrastructure

Die *Event Infrastructure* dient zum einen der Kommunikation zwischen den verschiedenen Services und der Laufzeitumgebung, zum anderen auch der Verarbeitung, Zusammenführung und Persistierung der daraus entstehenden Events. Die Events können dabei entweder direkte Ereignisse aus IT-Systemen oder beliebige realweltliche Ereignisse abbilden. Während Events aus IT-Systemen direkt verarbeitet werden können, müssen Nicht-IT-Events zunächst in ein maschinenlesbares Format übertragen werden. Herzberg et al. [HMW13] haben hierzu einen Ansatz entwickelt, wie realweltliche Events über ein gemeinsames Datenformat und entsprechende Transformationsregeln in IT-Events überführt werden können.

Die zur Laufzeit entstehenden Events werden zunächst in einer Event-Datenbank abgelegt. Sie stellen die Ausgangsbasis für die Ermittlung von Indikatoren und der Analyse der Informationen dar. Die Realisierung der Event-Infrastruktur kann beispielsweise durch einen Enterprise Service Bus (ESB) oder einen Event Bus umgesetzt werden. Eine spezifische Erweiterung für die Unterstützung ökologischer Events ist dabei nicht erforderlich.

3.2.3.3 Management Components

Die *Management Components* umfassen eine Vielzahl verschiedener Bereiche. Sie dienen sowohl der Aufbereitung als auch der anschließenden Analyse der zur Laufzeit entstandenen Daten, welche durch die *Event DB* zur Verfügung gestellt werden. Die Komponente *ETL Service* repräsentiert Funktionalitäten zur Extraktion, Transformation und zum Laden von Daten. Hierbei werden Rohdaten der Prozessausführung anhand spezifizierter Zeitintervalle aus der *Event DB* ausgelesen und anhand der definierten KPIs entsprechend aufbereiten. Dieser Schritt kann

beispielsweise die Berechnung von bestimmten Indikatoren enthalten, welche zu Analyse- und Steuerungszwecken verwendet werden [WSL09]. Der Zeitpunkt der Bereitstellung dieser Informationen hängt von den spezifischen Anwenderanforderungen ab. Um auch ökologische relevante Informationen in Form von KEIs zu berücksichtigen, müssen die existierenden Datenverarbeitungsprozesse erweitert werden. Diese Erweiterung wird in Abbildung 16 als *KEI Services* dargestellt.

Im Gegensatz zu Laufzeitinformationen aus der Prozessausführungsumgebung oder den Services haben Umweltdaten oft keinen direkten Bezug zu der Ausführung eines Geschäftsprozesses. Daher ist es für die Definition der KEI Services besonders wichtig, eine Abbildung zwischen Umweltdaten und Prozessinstanzen herzustellen. Die Abhängigkeiten können entweder durch manuelle Definitionen oder durch die Nutzung existierender Techniken, wie beispielsweise das Complex Event Processing (CEP), hergestellt werden. Je nach Anwendungsfall variiert dabei die Komplexität deutlich. Werden bestimmte Ressourcen gleichzeitig von verschiedenen Prozessinstanzen oder -modellen verwendet, müssen je nach KEI unterschiedliche Methoden zur Verteilung des jeweiligen Umwelteinflusses identifiziert und angewendet werden.

Die durch den *ETL Service* aufbereiteten Daten werden anschließend in einem *Data Warehouse* persistiert und bilden damit die Ausgangsbasis für die Analyse der Prozesse. In Abhängigkeit des existierenden Datenschemas sowie der zur Ermittlung der definierten KEIs notwendigen Metriken muss das Schema entsprechend angepasst werden.

Ein *Management Dashboard*, welches um die Darstellung von Umweltdaten erweitert wird, nutzt die im Data Warehouse verfügbaren Daten zur Überwachung des aktuellen Zustands der Prozessausführung anhand aggregierter Indikatoren (KPIs, KEIs, etc.). Für eine detaillierte Betrachtung von Problemstellen können zudem weitere Analysemethoden herangezogen werden. Wie bereits in [NLS+11] beschrieben, kann hierzu eine visuelle Repräsentation des Prozesses oder einzelner Instanzen

verwendet werden. Diese Funktionalitäten werden durch die Komponente *Process Visualization & Modification* dargestellt und ermöglichen Entscheidungsträgern, noch schneller und gezielter auf Abweichungen von den Zielwerten zu reagieren und Alternativen für die Anpassung des Prozessmodells zu identifizieren und zu evaluieren.

3.2.3.4 Adaptation

Die Komponente *Process Adaption* unterstützt Prozessverantwortliche und Entwickler bei der Anpassung der identifizierten Schwachstellen eines Prozesses und umfasst daher alle hierfür relevanten Aspekte, welche für die Restrukturierung eines Prozesses aus Sicht des Umwelteinflusses notwendig sind. In der Regel werden hierbei konventionelle Restrukturierungsmethoden des Geschäftsprozessmanagements, wie beispielsweise das Hinzufügen oder Entfernen von Aktivitäten, die Anpassung des Daten- oder Kontrollflusses oder der Austausch von Aktivitäten und Ressourcen, angewendet [LR00][Wes07].

Für Anpassungen unter Berücksichtigung des Umwelteinflusses von Prozessen können darüber hinaus auch weitere, in den klassischen Optimierungsansätzen bisher nicht berücksichtigte Ansätze angewendet werden. Aus einem Prozess können zum Beispiel zwei Varianten abgeleitet werden, ein konventioneller Prozess und ein ökologisch optimierter Prozess. Auf Basis interner und externer Kriterien kann für jede Prozessinstanz eine der beiden Alternativen ausgewählt werden. Auch Anpassungen der existierenden Infrastruktur, wie beispielsweise der Wechsel eines Stromanbieters, können Auswirkungen auf den Umwelteinfluss eines Prozesses haben. Wie auch bei konventionellen Optimierungsvorhaben müssen auch hier zusätzlich reaktive Aspekte berücksichtigt werden, welche Auswirkungen auf die Kostenstruktur, die Qualität der Services und Produkte, die Flexibilität und vereinbarte Service Level Agreements haben können. Die erweiterten Optimierungsalternativen machen jedoch auch deutlich, dass Green BPM nicht nur auf

einzelne Prozessmodelle fokussiert ist, sondern insbesondere übergreifend die gesamte Laufzeitumgebung einbezieht.

Die Adaption eines Prozesses und der IT-Infrastruktur kann manuell, teilautomatisiert oder automatisiert erfolgen. Der Grad der Automatisierung hängt dabei stark vom Typ des Prozesses, dem Typ der Restrukturierung und der eingesetzten Infrastruktur ab. Eine Möglichkeit zur Unterstützung der Adaption bietet der in Kapitel 5 vorgestellte Pattern-basierte Ansatz.

3.2.3.5 Zusammenfassung: Erweiterte Green BPM Architektur

Die Unterstützung der Phasen des Geschäftsprozesslebenszyklus durch IT-Systeme ist ein essentieller Bestandteil des Geschäftsprozessmanagements. Die Korrelation von häufig unabhängig erfasster Umweltinformationen und Geschäftsprozessen sowie die Integration von Services zur Ermittlung und Bestimmung von KEIs setzen eine Erweiterung bestehender BPM Architekturen voraus. Die anhand der Business Process Management Architektur nach Bhaskaran et al. [BCC+06] aufgezeigten Erweiterungen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Erweiterungen der Business Process Management Architektur:

- Bereitstellung und Integration *neuartiger Informationsquellen*, beispielsweise Sensoren, Langzeitstudien etc. sowie deren Persistierung
- Einführung von *KEI Services* zur Ermittlung von KEIs
- Erweiterung existierender *Management Dashboards* zur Unterstützung von KEIs
- Bereitstellung von Methoden und Tools zur umweltbewussten *Analyse von Geschäftsprozessen*, beispielsweise durch geeignete, flexible Visualisierungstechniken
- Integration von Konzepten, Methoden und Tools zur Unterstützung der *Identifikation von Optimierungsalternativen* und deren Adaption

3.2.4 Strategischen Aspekte des Green BPMs

Geschäftsprozessmanagement ist als ganzheitlicher Managementansatz eines Unternehmens zu verstehen [Wes07]. Strategische Ziele und Entscheidungen beeinflussen deshalb das Design, die Ausführung, das Management und die Optimierung von Prozessen maßgeblich. Strebt ein Unternehmen eine Kostenführerschaft am Markt an, so werden Prozesse primär anhand der assoziierten Kosten gestaltet und optimiert. Strebt ein Unternehmen hingegen eine Qualitätsführerschaft an, so stehen die Qualität gegenüber den Kunden als Ergebnis der Prozessgestaltung im Fokus. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass bereits bei der Definition der strategischen Ziele eines Unternehmens der dadurch induzierte Umwelteinfluss berücksichtigt wird. Damit kann sichergestellt werden, dass Veränderungen auf Basis des Umweltzustandes keine unerwünschten negativen Auswirkungen auf das gesamte Unternehmen haben. Zudem ermöglicht es Entscheidungsträgern, ihre Entscheidungen bereits zu einem frühen Zeitpunkt des BPM Lebenszyklus entsprechend anzupassen.

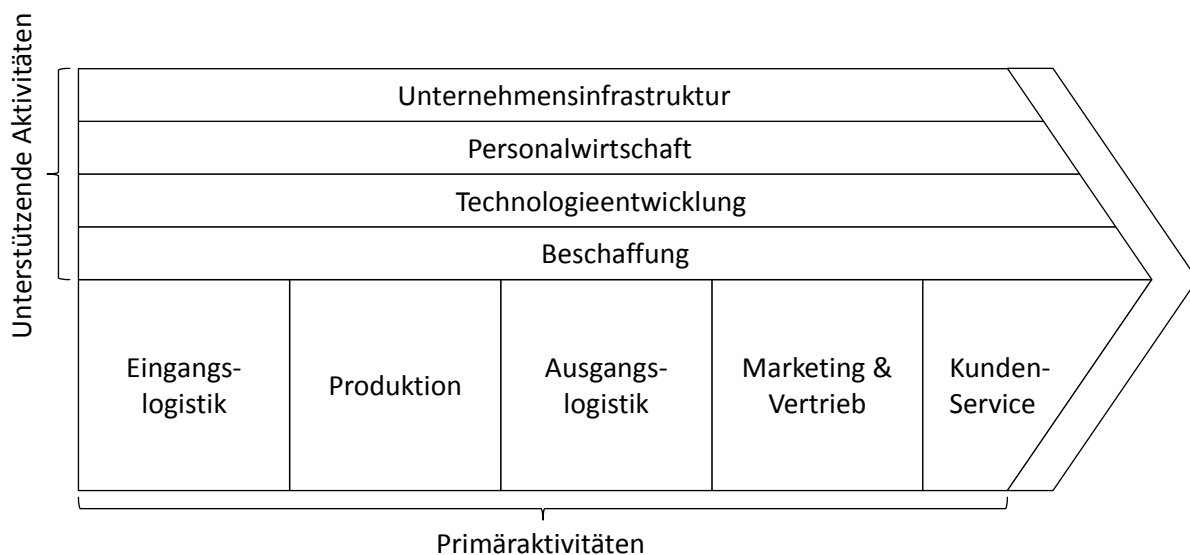


Abbildung 17: Wertschöpfungskette nach M. Porter [Por85]

Für die Darstellung der Ansatzpunkte und Auswirkungen der Anforderungen von Green BPM verwendet die vorliegende Arbeit die in Abbildung 17 dargestellte Wertschöpfungskette nach Porter [Por85]. Diese deckt alle Unternehmensbereiche ab und differenziert die klassischen

Aktivitäten eines Unternehmens in primäre und unterstützende Aktivitäten. Es ist jedoch zu beachten, dass die Aktivitäten der Wertschöpfungskette keinen Geschäftsprozess darstellen, sondern vielmehr die einzelnen Transformationsschritte eines Produkts oder einer Dienstleistung. Jede der gezeigten Aktivitäten wird durch verschiedene Geschäftsprozesse innerhalb des Unternehmens realisiert.

Zur Unterstützung von Entscheidungsträgern bei der Identifikation ökologisch-strategischer Ansatzpunkte wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit für jeden Bereich der Wertschöpfungskette verschiedenen *Anwendungsbereiche* und dazugehörige *Fragestellungen* identifiziert. Der Anwendungsbereich beschreibt die grundsätzlichen Ansatzpunkte, welche für die Definition strategischer Entscheidungen aus ökologischer Sicht relevant sein können. Die dazugehörigen Fragestellungen konkretisieren diese Ansatzpunkte durch das Aufzeigen von Beispielfragen, welche je nach Ausgangslage, d.h. strategischen Zielsetzungen, unterschiedlich ausgestaltet oder erweitert werden können.

3.2.4.1 Ökologische Erweiterung von Logistik und Produktion

Die Bereiche *Eingangslogistik*, *Produktion* und *Ausgangslogistik* bilden die Kernbereiche der Produkt- und Dienstleistungsbereitstellung. Sie sind damit für die Gestaltung der Kernprozesse eines Unternehmens verantwortlich. Auf Grund der strategischen Bedeutung sind diese Bereiche für die Definition von ökologisch nachhaltigen Prozessen besonders wichtig. Der Fokus aus ökologischer Sicht liegt dabei insbesondere auf den Prozessen und der davon verwendeten Ausführungsumgebung, d.h., *wie* werden *welche* Ressourcen einer Infrastruktur verwendet. Abbildung 18 zeigt die hierfür relevanten Aspekte in der Übersicht.

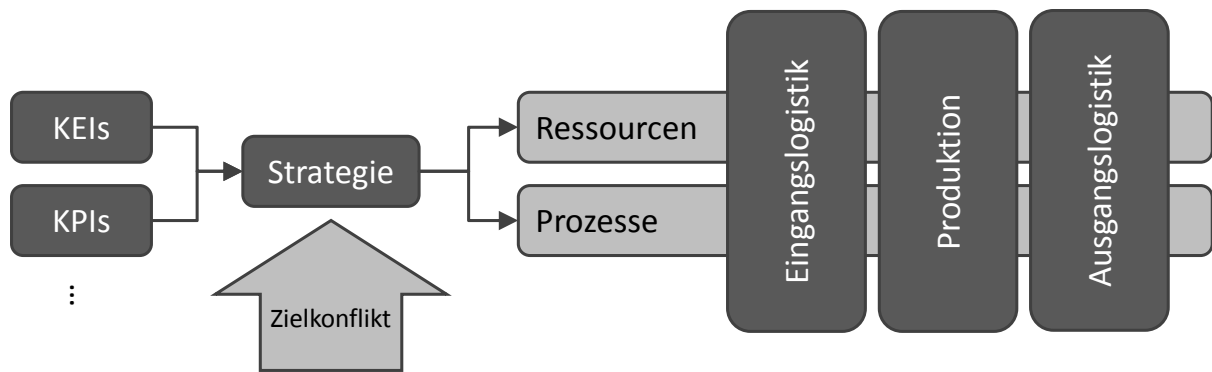


Abbildung 18: Auswirkungen des Zielkonflikts auf das Design von Prozessen und Ressourcen

Die Definition strategischer Entscheidungen hat das Ziel, den möglichen Zielkonflikt zwischen den Dimensionen Kosten, Zeit, Qualität, Flexibilität und Umwelt bestmöglich aufzulösen. Für die Prozessgestaltung müssen hierfür bereits erste Informationen zum Umwelteinfluss der geplanten oder der bereits existierenden Infrastruktur vorliegen. In Abhängigkeit der definierten KPIs und KEIs können unterschiedliche Ablaufschritte oder Infrastrukturkomponenten gewählt werden.

Die folgenden Tabellen zeigen für die Bereiche Eingangslogistik, Produktion und Ausgangslogistik verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 3: Strategische Fragestellungen im Bereich Eingangslogistik

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Eingangslogistik	Transport von Gütern	Erfolgt der Transport via Schiff, Flugzeug, Bahn, LKW, elektronisch, ...? Welche Standorte sind ökologisch sinnvoll?
	Bereitstellung von Gütern	Erfolgt die Bereitstellung just-in-time, täglich, wöchentlich, ...? Ist durch Verzögerungen in der Bereitstellung von Gütern ein Produktionsstillstand zu erwarten? Welche Mengen an Gütern müssen vorgehalten werden? Können Transporte konsolidiert werden?
	Auslastungsmuster von Ressourcen	Wie ist die Auslastung der Ressourcen über Tag und Nacht? Können Ressourcen zu bestimmten Zeitpunkten reduziert werden?
	Optimierung des Bereitstellungsprozesses	Kann der Bereitstellungsprozess gebündelt werden? Können mehrere Produkte vom selben Hersteller bezogen werden? Kann aus Zentrallagern beschafft werden?

Tabelle 4: Strategische Fragestellungen im Bereich Produktion

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Produktion	Anforderungen der internen und externen Kunden	Wie sind die SLAs definiert? Welche Qualität erwartet der Kunde in welcher Zeit? Gibt es verschiedene Prozessvarianten?
	Eingesetzte Services und Produkte	Von welchen Partnern werden die Services und Produkte bezogen? Woher kommen Produkte oder Dienstleistungen? Gibt es Zertifizierungen? Welche alternativen Services und Produkte gibt es?
	Produktions- und Verarbeitungsverfahren	Welche Abhängigkeiten bestehen zwischen verschiedenen Schritten? Gibt es alternative Verfahren oder Verfahrensschritte?
	Nutzung von Services und Ressourcen	Wie ist der Kontrollfluss der Prozesse definiert? Wie ist der Datenfluss der Prozesse definiert? Wie ist die Auslastung der verwendeten Ressourcen?
	Ökologisch effiziente Nutzung von Ressourcen	Wie können nicht effiziente Prozessschritte identifiziert werden? Kann die Auslastung der Ressourcen verbessert werden? Sind alternative Ressourcen effizienter? Verbessert ein alternatives Prozessmodell die Effizienz?

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
	Auslastungsmuster der eingesetzten Ressourcen	Werden alle Ressourcen zu jeder Zeit benötigt? Können Ressourcen hinzugefügt oder freigegeben (skaliert) werden?

Tabelle 5: Strategische Fragestellungen im Bereich Ausgangslogistik

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Ausgangslogistik	Bereitstellung von Produkten	Welche Vertriebswege sollen realisiert werden? Welche Transportmittel sollen eingesetzt werden? Welche SLAs werden definiert?
	Kunden SLAs	Gibt es verschiedene SLA Klassen? Können unterschiedliche Prozesse / Ressourcen eingesetzt werden?
	Zeitpunkt der Bereitstellung von Produkten	Jederzeit, werktags, am Wochenende etc.? Wie beeinflusst der Zeitpunkt den Vertriebsweg?
	Auslastungsmuster zur Optimierung der Ressourcenallokation	Wann erwarten die Kunden die Produkte? Können Transporte konsolidiert werden? Gibt es Leerfahrten? Wie ist die Auslastung der Ressourcen?

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
	Transport und Zustellung	Welche Transportwege sollen bedient werden (elektronisch, Schiff, Flugzeug,...)? Können Transporte gebündelt werden? Welche Partner werden ausgewählt? Wie zeitkritisch sind die Zustellungen der Produkte?

3.2.4.2 Ökologische Erweiterung von Marketing und Vertrieb

Das Marketing und der Vertrieb eines Unternehmens dienen der Gestaltung der öffentlichen Wahrnehmung, der Positionierung von Produkten und Dienstleistungen am Markt sowie der Betreuung von Kunden. Die Etablierung eines ökologisch orientierten Marketings kann die ökologische Ausrichtung und die Zielsetzungen eines Unternehmens positiv auf die Marktanforderungen übertragen und damit das Image des Unternehmens beeinflussen. Dies kann beispielsweise zur Akquise neuer Kunden, der Erschließung neuer Märkte oder der Einführung neuer Geschäftsmodelle führen. Die Möglichkeiten zur Gestaltung des Marketings sind sehr vielfältig und je nach Unternehmen und dessen strategischer Zielstellungen individuell festzulegen. Beispiele hierfür sind die Einführung alternativer, ökologischer Services oder neuer, ökologischer Produktlinien. Durch geeignete Marketingstrategien kann zudem die Öffentlichkeitswirkung auch durch die Propagierung der im Bereich *Logistik und Produktion* durchgeführten ökologisch getriebenen Restrukturierungsmaßnahmen verbessert werden.

Die folgende Tabelle zeigt für den Bereich Marketing & Vertrieb verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 6: Strategische Fragestellungen im Bereich Marketing und Vertrieb

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Marketing & Vertrieb	Kundeninteraktionen	Wann fragen Kunden Produkte und Services an? Wie hoch muss die Erreichbarkeit für Kunden sein? Welche Vertriebswege sollen bereitgestellt werden?
	Öffentlichkeitsrepräsentation	Welche Märkte sollen bedient werden? Welche Eigenschaften von Produkten oder Services sollen für verschiedene Märkte in den Vordergrund gestellt werden? Wie kann der Eindruck von „Greenwashing“ vermieden werden?
	Marktanforderungen	Was erwarten Kunden vom Unternehmen? Welche Vorteile/Nachteile bringen alternative, ökologische Services mit sich? Gibt es ökologisch effizientere Alternativen am Markt?
	Integration	Wie können ökologische Marktanforderungen in Produkte und Prozesse integriert werden?

3.2.4.3 Ökologische Erweiterung der Beschaffung

Dieser Bereich beschäftigt sich mit der Beschaffung aller Ressourcen, welche zur Erreichung der Geschäftsziele eines Unternehmens notwendig sind. Damit hat dieser Bereich signifikante Auswirkungen für den Umwelteinfluss, welcher von außen in das Unternehmen *importiert* wird

3.2 | Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements

und nicht im Unternehmen selbst entsteht. Entscheidungen für die Beschaffung von Ressourcen haben direkten Einfluss auf die Produkte, Services und Prozesse eines Unternehmens. Ein Unternehmen kann beispielsweise durch den Kauf von Waren und Dienstleistungen, welche durch ökologische Zertifizierungen deklariert sind, den eigenen Umwelteinfluss und gleichzeitig die Außenwirkung des Unternehmens verbessern. Für die Durchsetzung einer ökologischen Beschaffung müssen deshalb Richtlinien definiert werden, welche neben dem Preis auch den Umwelteinfluss von Produkten und Dienstleistungen als festen Bestandteil des Auswahlprozesses integrieren.

Die folgende Tabelle zeigt für den Bereich Beschaffung verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 7: Strategische Fragestellungen im Bereich Beschaffung

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Beschaffung	Anbieterinteraktionen	Welche ökologischen Ziele und Richtlinien verfolgt ein Anbieter? Welche Ressourcen werden im Herstellungs- und Bereitstellungsprozess verwendet? Welche ökologischen SLAs bietet der Anbieter?
	Zertifizierung	Welche Zertifizierungen sind für eine Branche verfügbar? Welche Zertifizierungen werden von Kunden wahrgenommen? Welche Zertifizierungen weisen die Anbieter vor?

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
	Ressourcen	Wo ist der Ursprungsort von Ressourcen? Gibt es alternative Ressourcen? Welche Ressourcen werden von Prozessaktivitäten zwingend gefordert?

3.2.4.4 Ökologische Erweiterung der Technologieentwicklung

Der Bereich Technologieentwicklung umfasst unter anderem Forschung und Entwicklung, Prozessautomatisierung und -optimierung sowie weitere Entwicklungen zur Realisierung der Wertschöpfungskette und der damit verbundenen Geschäftsprozesse. Ökologisch relevante Anforderungen müssen in diesem Entwicklungsprozess fest verankert werden. Im Bereich der kontinuierlichen Verbesserung sowie dem ökologischen Reengineering von Prozessen kann diese Verankerung durch die Erweiterung des Geschäftsprozesslebenszyklus erreicht werden. Siehe hierzu Kapitel 3.2.1. Im Bereich der Produkt- und Serviceentwicklungen müssen hingegen individuelle Anforderungen beachtet werden, welche je nach Anwendungsfall differenziert zu betrachten sind. Als Beispiel können hier die in der Produktentwicklung definierten Ressourcen, wie beispielsweise recycelte oder nachhaltige Rohstoffe und Materialien, der Einsatz erneuerbarer Energien, etc., genannt werden.

Die folgende Tabelle zeigt für den Bereich Technologieentwicklung verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 8: Strategische Fragestellungen im Bereich Technologieentwicklung

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Technologieentwicklung	Produktentwicklung	<p>Wird die ökologische Dimension bisher betrachtet?</p> <p>Wie können Produkte ökologisch verbessert werden, bspw. durch alternative Materialien, Design, etc.?</p> <p>Welche Auswirkungen hat die Produktentwicklung auf den Umwelteinfluss der Produkte?</p> <p>Welche Potentiale zur ökologischen Verbesserung hat ein Produkt?</p> <p>Welche Ressourcen können für Produkte und Dienstleistungen eingesetzt werden?</p> <p>Welche Einfluss haben alternative Ressourcen auf das Produkt?</p> <p>Können Quick-Wins erreicht werden?</p>
	Prozesse	<p>Welche Prozesse verursachen einen signifikanten negativen Umwelteinfluss?</p> <p>Welche Prozessschritte (Aktivitäten, Services,...) verursachen einen signifikanten negativen Umwelteinfluss?</p> <p>Wie kann die Adaption des Kontrollflusses eine effizientere Ressourcennutzung darstellen?</p> <p>Kann die Adaption des Kontrollflusses von Aktivitäten den Umwelteinfluss verbessern?</p> <p>Kann die Adaption von Ressourcen den Umwelteinfluss verbessern?</p>

3.2.4.5 Ökologische Erweiterung des Personalmanagements

Die Mitarbeiter eines Unternehmens sind ein nicht zu unterschätzender Faktor in der Bestimmung des Umwelteinflusses eines Unternehmens, insbesondere durch den Umgang mit Ressourcen bei der täglichen Arbeit. Interne Richtlinien und Programme können Mitarbeiter dazu anregen, eingefahrene Muster zu überdenken und neue Ideen für die positive Verbesserung der Ressourcennutzung einzubringen. In der Literatur und Praxis finden sich erste Ansätze zur Identifikation der CO₂-Emissionen von Mitarbeitern [Bad09]. Hierbei werden erste Verbesserungsansätze diskutiert, beispielsweise die Gegenüberstellung von Geschäftsreisen und Videokonferenzen, die Definition von Richtlinien zu Meetings, Trainings und operationalem Tagesgeschäft oder die Definition von Maßnahmen zum Energiesparen im Arbeitsumfeld.

Die folgende Tabelle zeigt für den Bereich Personalmanagement verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 9: Strategische Fragestellungen im Bereich Personalmanagement

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Personalmanagement	Operatives Tagesgeschäft	<p>Welche Ressourcen benötigen Mitarbeiter für ihre Arbeit?</p> <p>Wann müssen welche Ressourcen verfügbar sein?</p> <p>Können Ressourcen, wie IT-Systeme, zeitweise abgeschaltet werden?</p>
	Mitarbeiterinfrastruktur	<p>Welche Ressourcenverbräuche werden erfasst?</p> <p>Welche Ressourcenverbräuche werden zurechenbar durch Mitarbeiter induziert?</p> <p>Kann die Infrastruktur konsolidiert oder zentralisiert werden?</p>

3.2.4.6 Ökologische Erweiterung der Unternehmensinfrastruktur

Die Unternehmensinfrastruktur umfasst die Gesamtheit aller für die Erreichung der Geschäftsziele notwendigen Infrastrukturkomponenten. Im Sinne von Geschäftsprozessen ist hiermit insbesondere die Ausführungsumgebung der jeweiligen Prozesse und Dienste zu verstehen. Je nach Geschäftsprozess kann dabei die IT-Infrastruktur, die Gebäudeinfrastruktur, die Maschineninfrastruktur oder die Logistikinfrastruktur beteiligt sein. Jeder Infrastrukturtyp kann zur individuellen Reduzierung des Umwelteinflusses eines Unternehmens beitragen. Werden ökologische Aspekte bei der Definition der Infrastruktur betrachtet, stellen auch Outsourcing-Strategien eine Alternative zur Ergänzung oder Substituierung eigener Infrastrukturkomponenten dar. Unternehmen, welche sich auf die Bereitstellung bestimmter Services spezialisiert haben, erreichen in der Regel Skaleneffekte, welche durch einzelne Unternehmen nicht erreicht werden können. Anforderungen an die Entwicklung von Outsourcing-Strategien müssen demnach auch ökologische Aspekte, abgeleitet aus den strategischen Zielen eines Unternehmens, abdecken.

Die folgende Tabelle zeigt für den Bereich Unternehmensinfrastruktur verschiedene Aspekte, die bei der strategischen Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können.

Tabelle 10: Strategische Fragestellungen im Bereich Unternehmensinfrastruktur

	Anwendungsbereich	Fragestellungen
Unternehmensinfrastruktur	Topologie	<p>Welche Infrastrukturtypen sind vorhanden?</p> <p>Welche Infrastrukturkomponenten werden innerhalb dieser Typen eingesetzt?</p> <p>Welche Infrastrukturkomponenten müssen / sollen selbst bereitgestellt werden?</p> <p>Welche Infrastrukturkomponenten können von Drittanbietern bereitgestellt werden?</p> <p>Welche Produkte und Dienstleistungen können von Drittanbietern bezogen werden?</p> <p>Können Infrastrukturkomponenten konsolidiert werden, um die Effizienz zu verbessern und Skaleneffekte zu erzielen?</p>
	Monitoring der Infrastruktur	<p>Welche Ressourcenverbräuche werden überhaupt erfasst?</p> <p>Welche Kennzahlen können zur Repräsentation der strategischen Ziele definiert werden?</p> <p>Wie hoch sind der Energieverbrauch, die CO₂-Emissionen etc. der Bereiche IT, Gebäude, Logistik?</p>

3.2.4.7 Zusammenfassung: Strategische Aspekte des Green BPMs

Geschäftsprozessmanagement als umfassender Managementansatz adressiert nicht nur technische und funktionale Anforderungen, sondern auch organisatorische Aspekte wie die strategische Ausrichtung und Organisationskultur eines Unternehmens [Bad09]. Die strategischen

3.3 | Zusammenfassung Kapitel 3

Entscheidungen müssen daher neben den konventionellen Optimierungsdimensionen Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität auch geeignete Umweltaspekte betrachten. Die Betrachtung der Wertschöpfungskette nach Porter [Por85] hat gezeigt, dass für die positive Verbesserung des Umwelteinflusses eine durchgängige Integration in die verschiedenen Teilbereiche eines Unternehmens unerlässlich ist. Die Hauptansatzpunkte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Erweiterungen der strategischen Aspekte des Geschäftsprozessmanagements:

- Definition der *strategischen Ausrichtung* des Unternehmens anhand ökologischer Zielstellungen
- Überarbeitung und Anpassung von *Ressourcen und Prozessen*
- Einführung geeigneter *ökologischer Marketingstrategien*
- Definition von *Richtlinien für den Beschaffungsprozess*
- Investitionen in *Technologieentwicklungen* zur Verbesserung von Produkten und Prozessen
- Definition von *Richtlinien zur Motivation von Mitarbeitern*
- Analyse und Optimierung der bestehenden *Unternehmensinfrastruktur*

3.3 Zusammenfassung Kapitel 3

Die Entwicklung der globalisierten Märkte hat gezeigt, dass die Optimierung von Unternehmensabläufen heutzutage über die konventionellen Dimensionen Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität hinausgeht. Veränderungen der Marktsituation durch legislative Rahmenbedingungen oder sich verändernde Kundenanforderungen und Öffentlichkeitswahrnehmungen haben gezeigt, dass Unternehmen weitere

Dimensionen in ihr Management integrieren müssen. Nachhaltigkeitsaspekte, insbesondere ökologischer Natur, haben dabei eine zentrale Rolle eingenommen. Kapitel 3 der vorliegenden Arbeit adressiert Forschungsbeitrag 1 und beschreibt, wie eine Integration von ökologischen Aspekten im Rahmen des Geschäftsprozessmanagements erfolgen kann.

Kapitel 3.1 hat hierzu zunächst die Grundlagen der Erweiterung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements aufgezeigt. Dazu wurde beschrieben, wie sich ökologische Aspekte in das Rahmenwerk der Nachhaltigkeit eingliedern (Kapitel 3.1.1) und wie der Bezug zu Geschäftsprozessmanagement definiert werden kann (Kapitel 3.1.2). Die Analyse der Spannungsfelder zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten führte anschließend zu einer detaillierten Betrachtung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen einem konventionellen Geschäftsprozessmanagement und einem ökologisch nachhaltigen Geschäftsprozessmanagement (Kapitel 3.2). Innerhalb dieser Betrachtung wurden die folgenden Teilbereiche des Geschäftsprozessmanagements analysiert: (1) der Lebenszyklus eines Geschäftsprozesses (Kapitel 3.2.1), (2) Key Performance Indikatoren zur Quantifizierung der Prozessperformance (Kapitel 3.2.2), (3) serviceorientierte BPM Architekturen zur Ausführung und Unterstützung von Geschäftsprozessen (Kapitel 3.2.3) und (4) der Einfluss strategischer Aspekte bei der Unternehmensausrichtung (Kapitel 3.2.4). Im Rahmen dieser Analyse wurden Ansatzpunkte für eine Erweiterung des bestehenden Geschäftsprozessmanagements in diesen Bereichen identifiziert und ausgearbeitet. Eine Zusammenfassung der wesentlichen Erweiterungen steht am Ende der jeweiligen Kapitel zur Verfügung.

GREEN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT - METHODEN

Die Weiterentwicklung des konventionellen Geschäftsprozessmanagements spiegelt die veränderten Anforderungen der globalen Märkte an Unternehmen wider. Kunden ändern ihre Nachfragegewohnheiten, Produktlebenszyklen werden kürzer, Produkte individueller, oder es entstehen neue gesetzliche Richtlinien und Auflagen. Die Berücksichtigung dieser neuen Anforderungen und Richtlinien führt dazu, dass das Geschäftsprozessmanagement nicht nur konzeptionell, sondern auch methodisch weiterentwickelt werden muss. Dieses Kapitel beschreibt ein allgemeines Vorgehensmodell und entsprechende Methoden für die Umsetzung von *Green Business Process Management*. Aufgrund der vielseitigen Beziehungen zwischen Geschäftsprozessen und ihrer Implementierung sowie unterschiedlichen Organisationsstrukturen können die in dieses Vorgehensmodell eingebetteten Methoden nicht in jedem Anwendungsfall eingesetzt werden. Die spezifische Eignung bestimmter Methoden muss immer im jeweiligen Anwendungskontext geprüft werden. Deshalb sind die hier vorgestellten Methoden vielmehr als eine Auswahl möglicher Methoden für die Umsetzung von Green BPM zu verstehen.

Dieses Kapitel adressiert Forschungsbeitrag 2 und setzt diesen wie folgt um. Kapitel 4.1 führt ein allgemeines Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM ein, welches alle Typen von Geschäftsprozessen abdeckt und die grundlegenden Erweiterungen des in Kapitel 3.2.1 eingeführten Green BPM Lebenszyklus reflektiert. Aufgrund der Vielseitigkeit der Anforderungen an geeignete Methoden, beschränkt sich die vorliegende

Arbeit jedoch auf eine Auswahl dieser Methoden und stellt dabei automatisierte Geschäftsprozesse in den Mittelpunkt der Betrachtung. Die identifizierten Methoden zur Definition eines Ressourcenmodells in Kapitel 4.3, der Definition eines Monitoringmodells in Kapitel 4.4 und der ökologischen Analyse von Geschäftsprozessen in Kapitel 4.5 betrachten deshalb ausschließlich die Anwendung im Rahmen von automatisierten Geschäftsprozessen, d.h., die beteiligten IT-Systeme gehen in diese Analyse ein..

4.1 Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM

Die Umsetzung eines ökologischen Geschäftsprozessmanagements kann sehr vielseitig sein und je nach Art des Unternehmens, dessen Geschäftsprozessstruktur sowie der Unternehmensziele stark variieren. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen und Erweiterungen des Green BPM Lebenszyklus lässt sich ein abstraktes Vorgehensmodell für die Umsetzung von Green BPM ableiten. Das in Abbildung 19 dargestellte Vorgehensmodell zeigt die dazu notwendigen Phasen und Schritte, welche für die Integration ökologischer Aspekte in ein Unternehmensumfeld erforderlich sind.

Die *Prä-Analyse-Phase* beschreibt die notwendigen Schritte zur Erfassung aller für einen Prozess relevanten Umweltinformationen. Dazu gehören die folgenden Schritte: (1) Definition der KEIs anhand der strategischen Ziele des Unternehmens. (2) Identifikation der von einem Prozess verwendeten Ressourcen. Hierbei ist es wichtig, alle Ressourcen, welche als Input und Output der einzelnen Prozessaktivitäten auftreten, zu erfassen. (3) Definition eines Monitoringmodells. Je nach verwendeten Ressourcen können verschiedene KEIs herangezogen werden. Für jeden KEI müssen die benötigten Messwerte definiert und Messmethoden bereitgestellt werden. Das Ziel der Prä-Analyse-Phase ist es, aus den einzelnen Messwerten aggregierte Indikatoren zu ermitteln, welche Entscheidungsträger bei der Anpassung ihrer Geschäftsprozesse unterstützen. Ein

4.1 | Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM

weiterer Aspekt dieses Schrittes ist die Festlegung von Monitoring-informationen, welche persistiert werden müssen. Dies bildet die Grundlage für weitere Analysen. Sowohl die einzelnen Messwerte als auch die aggregierten Kennzahlen müssen deshalb dauerhaft gespeichert und zugänglich gemacht werden.

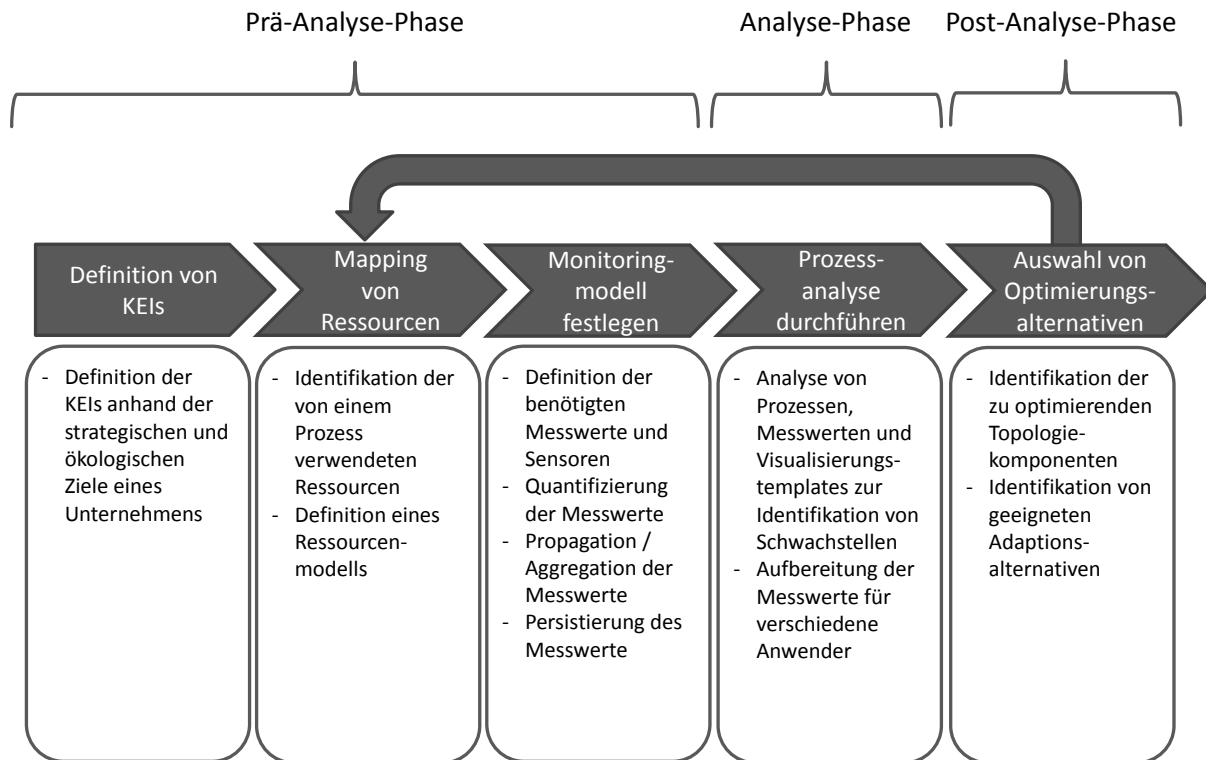


Abbildung 19: Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM

Die *Analysephase* umfasst im Wesentlichen die Verarbeitung der in der Prä-Analyse-Phase definierten und zur Laufzeit eines Prozesses entstehenden Informationen. Die Analyse dieser Informationen kann dabei auf verschiedene Arten erfolgen. Neben einer tabellarischen oder textuellen Aufbereitung können beispielsweise auch mathematische Modelle oder graphische Visualisierungen verwendet werden. Wichtig hierbei ist es, Schwachstellen beziehungsweise Abweichungen gegenüber definierten Zielwerten schnell zu erkennen, um entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Die *Post-Analyse-Phase* wird als *Feedback-Loop* verstanden und dient der Verarbeitung der in der Analyse gewonnenen Informationen im

bestehenden Prozessmodell. Durch die Nutzung von Best-Practices, Patterns oder bestehendem Erfahrungswissen können Veränderungen in der Prozessstruktur oder den verwendeten Ressourcen umgesetzt werden, wodurch das Prozessmodell verbessert werden kann.

Das Vorgehensmodell richtet sich in erster Linie an bereits existierende Geschäftsprozesse eines Unternehmens. In vielen Fällen sind die Abläufe bereits durch Prozessbeschreibungen in unterschiedlichen Granularitäten definiert. Diese können in einem Bereich zwischen formalen Prozessmodellen bis hin zu impliziten Prozessen variieren. Jedoch kann auch bei der Gestaltung neuer Geschäftsprozesse das gezeigte Vorgehensmodell eingesetzt werden. Hierbei ist es sinnvoll, zunächst Best-Practices, Patterns oder bestehendes Erfahrungswissen eingehend zu analysieren. Unter Berücksichtigung dieser Informationen kann ein bereits initial optimiertes Prozessmodell erstellt werden. Die Prä-Analyse-Phase sowie die Analyse-Phase werden anschließend zur Überprüfung der erwarteten Ergebnisse herangezogen. Im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung der Geschäftsprozesse kann anschließend ein erneutes Durchlaufen der Post-Analyse-Phase eine weitere Verbesserung des Prozessmodells ermöglichen.

Die folgenden Kapitel zeigen, welche Methoden zur Umsetzung der einzelnen Phasen und Schritte verwendet werden können. In Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4 werden zunächst allgemeine Vorgehensweisen beschrieben, welche sich auf manuelle, semi-automatisierte und automatisierte Geschäftsprozesse anwenden lassen. Im Anschluss daran werden konkrete Methoden für die Anwendung im Bereich automatisierter Geschäftsprozesse aufgezeigt. Es gilt zu beachten, dass die vorgestellten Methoden keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Je nach Einsatzgebiet müssen individuelle und angepasste Methoden zum Einsatz kommen.

4.2 Identifikation und Definition von Key Ecological Indicators

KEIs ermöglichen Entscheidungsträgern die Erfassung und Darstellung des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen. KEIs repräsentieren dabei den Umwelteinfluss eines Prozesses oder dessen Aktivitäten, sowie die Abweichungen von einem definierten Zielwert. Der gesamte Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses kann sich jedoch aus vielen verschiedenen Einzelteilen zusammensetzen. KEIs können eine hohe Bandbreite an quantitativen Indikatoren abdecken, wie beispielsweise Treibhausgase, Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Luftverschmutzung, Landverschmutzung, Papierverbrauch, Produktionsabfall oder die CPU-Auslastung einer IT-Ressource. In der Praxis häufig vorkommende KEIs beschreiben die verursachten CO₂-Emissionen oder darauf abgebildete CO₂-Äquivalente, den Energieverbrauch von Rechenzentren oder die konsumierte Menge an erneuerbaren Energien [SAG10].

Für die Verbesserung des Umwelteinflusses müssen jedoch nicht zwangsweise alle denkbaren KEIs zeitgleich berücksichtigt werden. Das Ziel ist vielmehr, eine Menge an Indikatoren zu identifizieren, welche die relevanten Informationen zur Struktur, Funktion und der Gestaltung der Geschäftsprozesse adäquat beschreiben [DB01]. Die Auswahl und Definition konkreter KEIs hängt von der anzuwendenden Domäne ab. Werden beispielsweise IT-Services, Human Services oder Commodity Services betrachtet, so können jeweils unterschiedliche KEIs zum Einsatz kommen. Für die Auswahl der KEIs gibt es für verschiedene Domänen bereits erste Richtlinien und Rahmenwerke. Singh et al. [SMG+09] beschreiben verschiedene Methoden, welche zur Erfassung des Umweltzustands und damit der entsprechenden Indikatoren bereits existieren. Weiter bieten unter anderem Hak et al. [HKW12] und Niemeijer et al. [NG08] verschiedene Ansätze für die Identifikation der Relevanz sowie für die Auswahl von Umweltindikatoren.

Neben der Definition von geeigneten KEIs müssen existierende, meist ökonomische, Zielvorgaben weiterhin im Fokus der Anpassungen bleiben,

um die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens sicherzustellen. Zudem ist zu beachten, dass der daraus resultierende Konflikt zwischen den verschiedenen Zielvorgaben sich meist nicht nur auf einen einzelnen Geschäftsprozess beschränkt. Die Auswirkungen ökologisch-orientierter Entscheidungen können beliebige weitere Prozesse betreffen. Ein Beispiel hierfür ist der Austausch von IT-Ressourcen, welche von verschiedenen Prozessen verwendet werden.

Die Auswahl von individuellen KEIs für die Überwachung und Optimierung eines Prozesses kann in unterschiedlichen Situationen zu verschiedenen Veränderungen des Umwelteinflusses führen. Beispiele für solche Situationen sind: Eine IT-Ressource benötigt weniger Energie als zuvor, eine Prozessaktivität wird von einer anderen Ressource ausgeführt oder ein Prozess wird in zwei domänenspezifische Prozesse aufgeteilt, welche sich besser in die ökologischen Anforderungen eines Unternehmens einfügen. Für die Identifikation und Definition geeigneter KEIs zeigt die vorliegende Arbeit in Tabelle 11 eine Auswahl der in Literatur und Praxis häufig auftretenden Indikatoren [HFC+11][LPF+09][TGG07][UM05][VE01]. Je nach Branche, Anwendungsdomäne und strategischen Zielen eines Unternehmens kann die jeweilige Eignung der Indikatoren unterschiedlich sein.

Tabelle 11: Übersicht gängiger Umweltindikatoren

Indikator-Kategorie	Indikator
Unternehmerische Nutzfläche	Geteerte Flächen
Energie	Energieverbrauch des Unternehmens Energieverbrauch der IT / Power Usage Effectiveness Energieverbrauch eines Geschäftsprozesses Energieverbrauch einer Prozessaktivität Anteil erneuerbarer Energien Power Efficiency

4.2 | Identifikation und Definition von Key Ecological Indicators

Indikator-Kategorie	Indikator
Forstwirtschaft	Anteil an Tropenhölzern Anteil an FSC zertifizierten Hölzern
Luft	Treibhausgase (u.a. als CO ₂ -Äquivalent) Anteil von SO ₂ (Schwefeldioxid) und NO _x (Stickstoff) Emissionen
Giftmüll	Anteil Giftmüll am gesamten Müllaufkommen Absolute Menge an Giftmüll
Deponiemüll	Anteil Deponiemüll am gesamten Müllaufkommen Absolute Menge an Deponiemüll
Wasser	Frischwasserverbrauch / Water usage effectiveness (WUE) Menge an recyceltem Wasser Menge an toxischem Wasser
Material	Gesamte Menge an Materialeinsatz Gesamte Menge an Materialausschuss Anteil erneuerbarer Materialien Anteil recycelter Produkte Anteil biologisch abbaubarer Verpackungsmaterialien Einsatz toxischer Chemikalien
Fossile Brennstoffe	Menge an verbrauchtem Öl Menge an verbrauchtem Diesel Menge an fossilen Brennstoffen der Fahrzeugflotte Menge an fossilen Brennstoffen für Transport und Logistik
Lärm	Lärmbelastung in x, y und z km Umkreis

4.3 Mapping von Ressourcen und Geschäftsprozessen

Geschäftsprozesse dienen der Beschreibung bestimmter Aufgaben, welche für die Erreichung von definierten Zielen erforderlich sind. Der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses wird durch die Auswahl der dazu verwendeten Ressourcen und durch die Gestaltung der Ausführungsreihenfolge bestimmt. Die folgenden Kapitel zeigen die relevanten Aspekte bei der Erfassung von Ressourcen, welche für die Ausführung eines Geschäftsprozesses verwendet werden. Zusätzlich wird am Beispiel von *Enterprise Topology Graphs* gezeigt, wie Ressourcen für automatisierte Geschäftsprozesse erfasst werden können.

4.3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Kapitel 3.1 hat aufgezeigt, dass die Nutzung von Ressourcen in Geschäftsprozessen auf zwei unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden kann. Primäre Ressourcen sind Ressourcen, welche im Rahmen der entsprechenden Aufgabe verarbeitet werden. Sekundäre Ressourcen sind Ressourcen, die zur Ausführung der entsprechenden Aufgabe, d.h. des Prozessschrittes, benötigt werden. Zudem unterscheidet man zwischen Ressourcen, welche als Input verwendet werden und Ressourcen, welche als Output einer Aktivität entstehen. Bei primären Ressourcen sind als Input insbesondere Rohmaterialien relevant. Auch Hilfs- und Betriebsstoffe können relevante Ressourcen darstellen. Der Output liefert Ressourcen im Sinne von Produkten oder Dienstleistungen, welche das Ziel des Geschäftsprozesses darstellen. Bei sekundären Ressourcen kann auf der Input Seite beispielsweise die Energie stehen, die zum Betrieb eines Servers oder einer Fertigungsanlage verwendet wird. Auf der Output Seite können beispielsweise Emissionen oder Abfälle, welche im Zuge der Abarbeitung einer Aufgabe entstanden sind, betrachtet werden.

Für die Erfassung und Zuweisung der verschiedenen Typen von Ressourcen zu einem Geschäftsprozess müssen verschiedene Schritte durchgeführt werden. In Schritt (1) müssen die einzelnen Aktivitäten eines Prozesses detailliert identifiziert und erfasst werden. Hierzu können

4.3 | Mapping von Ressourcen und Geschäftsprozessen

verschiedene Methoden zum Einsatz kommen, beispielsweise die Analyse von existierenden Dokumentationen, Interviews mit beteiligten Personen, Abfrage von implizitem Erfahrungswissen, Prozessbeobachtungen oder die Nutzung von geeigneten IT-Systemen. In Schritt (2) muss ein Ressourcenmodell erstellt werden, welches möglichst viele Unternehmensressourcen abdeckt. In Schritt (3) wird dieses Ressourcenmodell verfeinert und die identifizierten Ressourcen den einzelnen Aktivitäten des Geschäftsprozesses durch die Anwendung verschiedener Mapping-Regeln zugewiesen. Diese Zuweisung kann je nach Prozessmodell und eingesetzter Methode entweder manuell, semi-automatisiert oder vollständig automatisiert erfolgen. Das Resultat dieser Schritte ist die Definition eines Modells, welches alle für einen bestimmten Geschäftsprozess relevanten Ressourcen aufzeigt. Abbildung 20 zeigt die verschiedenen Schritte zur Erstellung eines Ressourcenmodells.

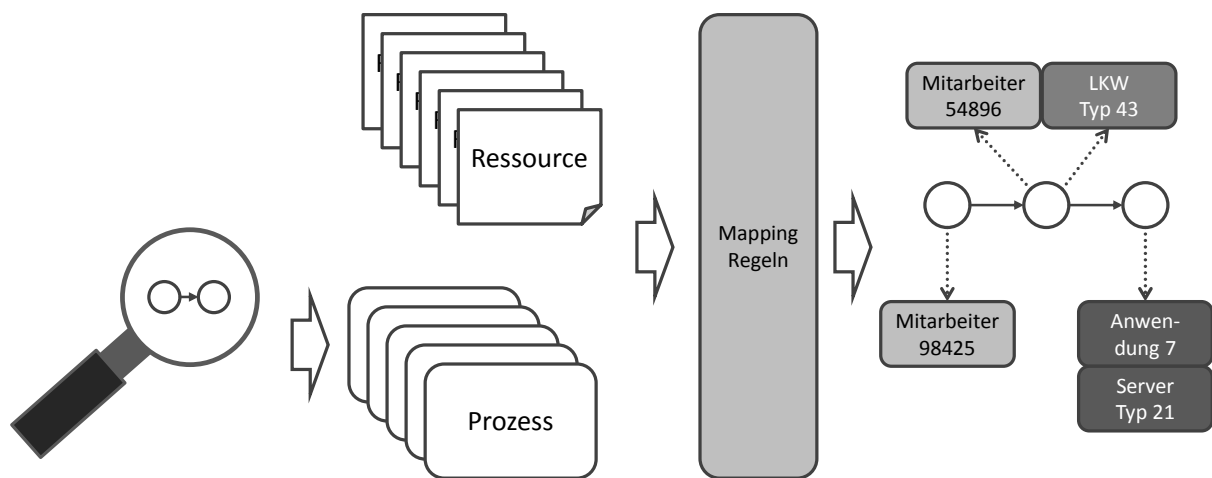


Abbildung 20: Schritte zur Definition eines Ressourcenmodells

Eine Menge $\mathcal{R} = \{\dots, r_i, \dots\}$ definiert die Menge aller Ressourcenmodelle. Ein Ressourcenmodell $r \in \mathcal{R}$ ist definiert als Tupel $r = (PM, PA, AR, MR)$, wobei gilt: PM ist eine Menge von Prozessmodellen, PA ist eine Menge von Aktivitäten, AR ist eine Menge von Ressourcen, welche für die Ausführung der Aktivitäten in PA benötigt werden und $MR \subseteq PA \times AR$ ist eine Menge von Mappings, welche Ressourcen aus AR auf Prozessaktivitäten PA abbilden.

4.3.2 Beispielumsetzung: Enterprise Topology Graphs

Im Rahmen von IT-gestützten Geschäftsprozessen wird unter einem Prozess die Orchestrierung verschiedener, in sich abgeschlossener Services verstanden, welche zur Erfüllung eines bestimmten Ziels beitragen [LR00]. Die hierbei relevanten Ressourcen beschränken sich in der Regel auf sekundäre Ressourcen, d.h. Ressourcen, welche zur Ausführung der Aufgabe verwendet werden. Um Services jedoch nutzen zu können, benötigen sie häufig eine Vielzahl weiterer IT-Ressourcen, wie beispielsweise unterschiedliche Hard- und Software Komponenten. Hier ist zu beachten, dass verschiedene IT-Services dieselbe Infrastruktur verwenden können. Um den Umwelteinfluss eines Prozesses zu bestimmen, ist es deshalb wichtig, möglichst alle beteiligten IT-Systeme zu identifizieren. Wie bereits in der Arbeit von Binz et al. [BFL+12] aufgezeigt, kann mit Hilfe von Enterprise Topology Graphs (ETGs) die IT-Topologie eines Unternehmens erfasst und als graphbasiertes Modell dargestellt werden. Dieses Modell ermöglicht es anschließend, Operationen aus der Graphentheorie zur Identifikation der relevanten Segmente einer Gesamtopologie zu identifizieren.

Ein ETG ist definiert als eine Momentaufnahme der in einem Unternehmen existierenden IT, welcher von der Infrastruktur bis zu den Beziehungen von Softwarekomponenten alle relevanten Ebenen der IT abdeckt. Diese ETGs können innerhalb eines Unternehmens auf verschiedene Weisen erstellt werden, unter anderem durch Extraktion von Informationen aus Dokumenten, durch Nutzung existierender Service Beschreibungen (inklusive deren Topologiebeschreibung), durch das automatisierte Durchsuchen der IT-Infrastruktur [BB+13a] oder durch eine manuelle Modellierung. Jede Entität eines Graphs wird als typisierter Knoten dargestellt, welcher durch typisierte und gerichtete Kanten mit weiteren Knoten in Beziehung stehen kann.

Die graphbasierte Darstellung der IT-Topologie hat den Vorteil, dass existierende und bewährte Graph-Algorithmen direkt zur Lösung

4.3 | Mapping von Ressourcen und Geschäftsprozessen

verschiedener IT-Managementprobleme angewendet werden können. Neben verschiedenen atomaren Operationen werden in Binz et al. [BLN+12] auch Möglichkeiten aufgezeigt, wie diese atomaren Operationen in komplexere Analysestrategien integriert werden können. Eine dieser Strategien ist der so genannten *Workflow Deepdive*, welcher auf Basis eines existierenden Prozessmodells alle relevanten Topologieentitäten, d.h. ein bestimmtes Segment aus der Gesamtopologie eines Unternehmens, identifizieren kann. Abbildung 21 zeigt exemplarisch das Topologiesegment eines automatisierten Geschäftsprozesses. Die Abbildung zeigt neben dem Workflowmanagementsystem, welches für die Ausführung des Prozessmodells zuständig ist, auch die vom Prozess aufgerufenen Services sowie deren Soft- und Hardwarekomponenten. Auf Netzwerk- und Speicherkomponenten (SAN, etc.) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Diese werden jedoch in gleichen Art und Weise wie die hier gezeigten Knoten behandelt.

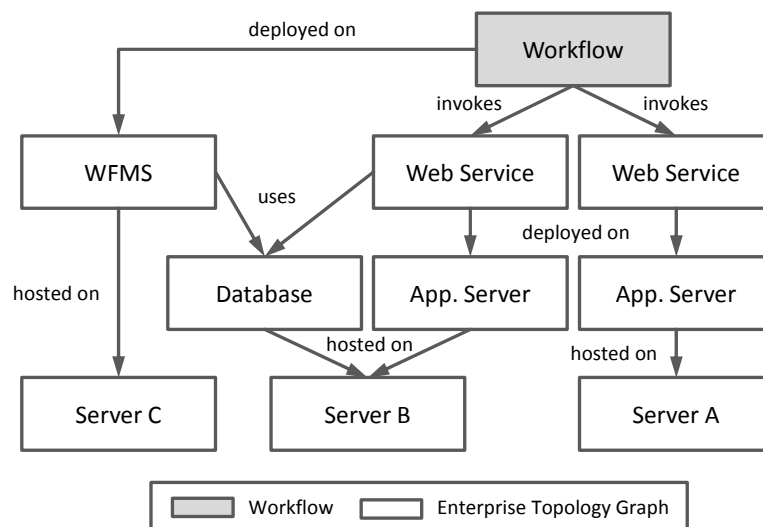


Abbildung 21: Beispiel eines ETG-Segments für einen Workflow

Die Nutzung eines solchen ETG-Segments erlaubt es, für die im Prozess spezifizierten KEIs die erforderlichen Metriken und Messeinheiten anhand der identifizierten Infrastruktur festzulegen. In Abhängigkeit der ausgewählten KEIs, der vorhandenen Messmöglichkeiten sowie der definierten Aggregationsalgorithmen sind die verschiedenen Knoten

individuell zu analysieren. Werden in einem Geschäftsprozess auch externe Services verwendet, ist dieser Ansatz dort rekursiv anzuwenden.

4.4 Definition eines Monitoringmodells

Das erstellte Ressourcenmodell erlaubt die Identifikation aller an einem Geschäftsprozess beteiligten Ressourcen. Der nächste Schritt nutzt diese Informationen und definiert ein geeignetes Monitoringmodell. Ein solches Monitoringmodell dient allgemein der Ermittlung und Übertragung von definierten KEIs auf Prozessmodelle und erlaubt somit die bedarfsorientierte Bereitstellung von umweltrelevanten Prozessinformationen. Das Monitoringmodell muss damit in der Lage sein, alle relevanten Informationen zur Ermittlung der definierten KEIs bereitzustellen. Aufgrund der Entkopplung von Prozessaktivitäten und Ressourcen können KEIs in der Regel nicht direkt auf Prozessmodelle übertragen werden. Deshalb werden in diesem Kapitel auch entsprechende Methoden zur Vorbereitung und Aggregation von KEIs vorgestellt.

4.4.1 Allgemeine Vorgehensweise

Abbildung 22 zeigt die allgemeine Vorgehensweise zur Definition eines Monitoringmodells, welches wie folgt definiert ist. Eine Menge $\mathfrak{M} = \{\dots, m_i, \dots\}$ definiert die Menge aller Monitoringmodelle. Ein Monitoringmodell $m \in \mathfrak{M}$ ist definiert als Tupel $m = (KEI, \mathcal{R}, MP, MPREL, TL, PR)$, mit KEI ist eine Menge von Key Ecological Indicators, \mathcal{R} ist eine Menge von Ressourcenmodellen, MP ist eine Menge von Messpunkten, $MPREL \subseteq \mathcal{R} \times MP$ ist eine Menge von Relationen zwischen Ressourcenmodellen und Messpunkten, TL ist eine Menge von typisierten Laufzeitinformationen und PR ist eine Menge von Regeln, welche die typisierten Laufzeitinformationen TL auf eine Menge von Prozessaktivitäten PA abbilden.

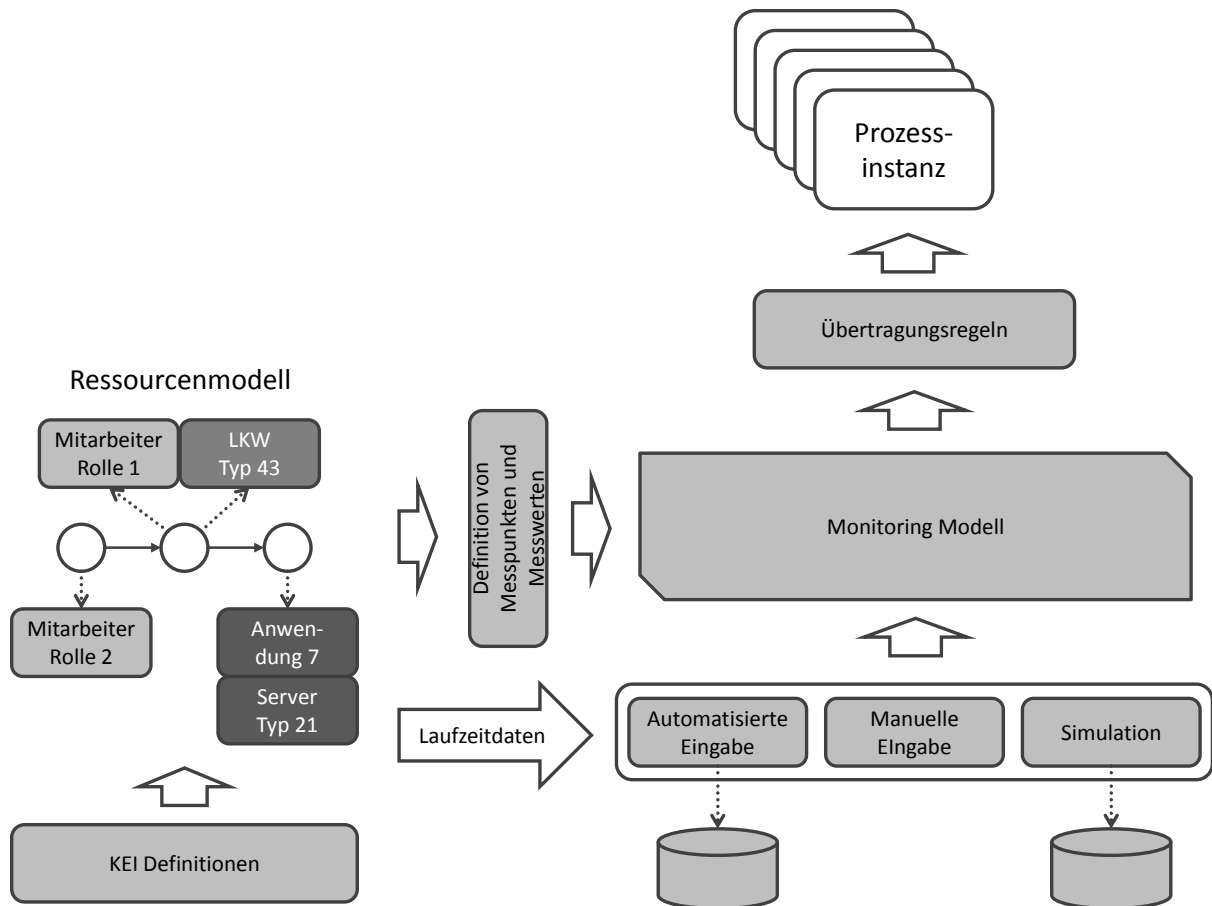


Abbildung 22: Allgemeines Vorgehen zur Definition von Monitoringmodellen

Die Ausgangsbasis für die Erstellung eines Monitoringmodells ist eine Menge von identifizierten Ressourcenmodellen $r \in \mathcal{R}$, sowie eine entsprechende Menge von definierten KEIs $kei \in KEI$ der jeweils betrachteten Prozessmodelle PM . Die Berücksichtigung von KEIs ist hierbei für die Definition von geeigneten Messpunkten relevant und zeigt, welche Eigenschaften einer Ressource überwacht werden müssen. Im nächsten Schritt müssen die jeweiligen individuellen Messpunkte MP definiert werden. Diese stellen sicher, dass die zur Überwachung der definierten KEIs benötigten Informationen bereitgestellt werden. Soll beispielsweise der Kraftstoffverbrauch einer Fahrzeugflotte reduziert werden, müssen der konsumierte Kraftstoff sowie die gefahrenen Kilometer erfasst werden. Soll der Energieverbrauch einer Computerressource reduziert werden, muss das Modell die Erfassung des Energieverbrauchs ermöglichen.

Die Erfassung der Laufzeitdaten TL kann in Abhängigkeit der definierten Messpunkte manuell oder automatisiert erfolgen. Diese Daten umfassen alle Informationen, welche zur Laufzeit eines Prozesses ermittelt oder einem Prozess für die Dauer seiner Laufzeit zugeordnet werden können. Eine manuelle Eingabe kann verwendet werden, wenn Messpunkte keine direkte Anbindung an ein IT oder Umweltmanagementsystem haben. Dies kann beispielsweise die Ausführung und Beendigung einer manuellen Aufgabe innerhalb eines Geschäftsprozesses sein. Die Arbeit von Herzberg et al. [HMW13] zeigt ein Beispiel, wie nicht IT-basierte Events in automatisierte Geschäftsprozesse integriert werden können. Die automatisierte Eingabe hingegen geht davon aus, dass Laufzeitdaten automatisiert in IT oder KEI Systemen verarbeitet werden können. Hierfür werden Laufzeitdaten in der Regel direkt von einer automatisierten Monitoringkomponente bezogen, wie beispielsweise einer zentralen Datenbank mit Messwerten der verschiedenen Komponenten. Eine weitere Möglichkeit zur Integration von Laufzeitdaten bietet die Simulation. Mit Hilfe von Simulationen können einzelne Messwerte von Aktivitäten auf Basis von Simulationsmodellen und Erfahrungswissen abgeschätzt werden. Die Genauigkeit hängt hierbei von der Qualität der Simulationsmodelle und der zugrunde gelegten Annahmen ab.

Eine weitere Aufgabe des Monitoringmodells ist die Definition der Beziehungen PR zwischen Laufzeitdaten und Prozessinstanzen. Insbesondere bei der Definition von *Übertragungsregeln* für Laufzeitinformationen muss sichergestellt werden, dass die erfassten Laufzeitdaten spezifisch den relevanten Prozess- und Aktivitätsinstanzen zugeordnet werden können. Hierbei ist zu beachten, dass die erfassten Messwerte je nach Anwendungsfall und Monitoringmodell unter Umständen nicht in der gewünschten Granularität vorliegen. In diesen Fällen müssen innerhalb der Übertragungsregeln zunächst weitere (De-) Aggregationsalgorithmen identifiziert und spezifiziert werden, um die ermittelten KEIs in einfacher und schnell verständlicher Weise den entsprechenden Entscheidungsträgern für eine Analyse bereitzustellen. Bei

dieser Übertragung der Messwerte können je nach Anwendungsfall auch weitere Methoden zur adäquaten Verteilung dieser Messwerte notwendig sein.

4.4.2 Beispielumsetzung: Energieverbrauch eines Geschäftsprozesses

Die in Kapitel 4.4.1 beschriebene allgemeine Vorgehensweise wird in dieser Beispielumsetzung modellhaft zur Identifikation des Energieverbrauchs von automatisierten Geschäftsprozessen angewendet. Kapitel 4.4.2.1 zeigt die Definition eines geeigneten Monitoringmodells, welches den Energieverbrauch einer Hardwareressource sowie eines auf dieser Ressource ausgeführten Web Services ermitteln kann. Kapitel 4.4.2.2 zeigt im Anschluss eine Methode zur Aggregation und Übertragung der ermittelten Energiewerte auf Prozessinstanzen und -modelle.

4.4.2.1 Definition eines Monitoringmodells

Für die Bereitstellung und den Aufruf eines Services innerhalb eines automatisierten Geschäftsprozesses müssen entsprechende Hardware-Ressourcen bereitgestellt werden. Der Betrieb und die Nutzung dieser Hardware-Ressourcen führen aus Umweltsicht zum Verbrauch von Energie. Der hierfür definierte KEI sei deshalb als Energieverbrauch einer Prozessinstanz spezifiziert. Die Verwendung des Energieverbrauchs einer Hardwareressource hat den Vorteil, dass der Energieverbrauch ohne Umrechnungen aus dem ermittelten Messwert erfasst werden kann. Die Definition der KEIs könnte jedoch auch abstrakter gefasst werden, beispielsweise als Reduktion der CO₂-Emissionen. In diesem Fall müssen die gegebenen Einflussfaktoren auf die CO₂-Emission ermittelt und Abbildungsfunktionen definiert werden. Das im Folgenden vorgestellte Modell hat das Ziel, den Energieverbrauch von Web Services zu ermitteln, welcher durch die Ausführung eines Prozesses verursacht werden.

Existierende Ansätze zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Computerressourcen basieren häufig auf speziellen Monitoring-

Umgebungen, d.h., sie benötigen spezielle Messgeräte oder modifizierte Software Komponenten [BB12] zur Ermittlung der Auslastung einer Ressource (*Performance Counters*). Die Verwendung von modifizierten Kernel Versionen eines Betriebssystems für die Ermittlung spezifischer Performance Counters oder spezielle Hardwarevoraussetzungen können zwar zu präzisen Ergebnisse führen, sind aber im operativen Geschäft nur schwer umzusetzen. Aus diesem Grund nutzt der hier vorgestellte Ansatz nur Performance Counter, welche ohne Anpassungen aus Betriebssystemen ausgelesen werden können. Neben einem konventionellen Strommessgerät zur Erfassung des gesamten Energieverbrauchs einer Hardwareressource wird keine weitere spezialisierte Hardware oder Software benötigt.

Für die Erfassung des Energieverbrauchs wird ein zweiphasiges Vorgehen angewendet:

Phase 1 dient als Trainingsphase und ermöglicht es, die verschiedenen Auslastungsgrade einer Computerressource mit dem dazugehörigen Energieverbrauch zu korrelieren.

Phase 2 ist die Anwendungsphase und nutzt die in Phase 1 erstellten Modelle, um den Energieverbrauch eines Web Services zu bestimmen, welcher auf dieser Ressource bereitgestellt und ausgeführt wird.

Phase 1: Identifikation des Energieverbrauchs anhand von Power Performance Modellen

Das Ziel dieser Phase ist die Definition eines Modells, welches es ermöglicht, den Energieverbrauch eines Systems im laufenden Betrieb anhand dessen Auslastung zu bestimmen. Innerhalb der Trainingsphase wird zwar ein physisches Messgerät benötigt, für die Anwendung des Modells hingegen nicht. Für die Definition eines solchen Modells muss die Auslastung des Servers über das gesamte Leistungsspektrum mit dem entsprechend gemessenen Energieverbrauch korreliert werden. Die

4.4 | Definition eines Monitoringmodells

Auslastung eines Systems wird dabei durch Auslastungsparameter, auch Performance Counter genannt, definiert. Diese können beispielsweise als CPU- oder Festplattenauslastung definiert sein. Tabelle 12 zeigt eine Übersicht gängiger Performance Counter. Je nach Grad der Auslastung hat das zugrunde liegende System einen variierenden Energieverbrauch. Dabei ist zu beachten, dass je diversifizierter die Auswahl der Performance Counter ist, d.h. desto mehr Komponenten eines Systems abgedeckt werden, desto besser kann der eigentliche Energieverbrauch des gesamten Systems widergespiegelt werden.

Tabelle 12: Hardware Performance Counter

Hardware-Komponenten	Performance Counter
CPU	Frequenz [MHz], CPU Zeit [%]
Festplatte	Lese- und Schreiboperationen [Pages/s]
Arbeitsspeicher	Lese- und Schreiboperationen [bytes/s]
Netzwerk	Transferierte Daten [bytes/s]

Für die Definition des hier vorgeschlagenen Modells werden verschiedene Trainingsläufe benötigt, welche eine Computerressource in unterschiedlicher Intensität und in unterschiedlicher Kombination auslasten. Dabei werden sowohl die definierten Performance Counter als auch der Energieverbrauch des Systems erfasst. Das Ergebnis ist eine Menge von Stichproben (engl. *Training Samples*) TS , welche sich aus den gemessenen Werten des Gesamtenergieverbrauchs eines Systems P_{system} und einem Vektor der ausgewählten Hardware Performance Counters x_i zusammensetzt.

Üblicherweise wird zur Modellbildung eine lineare Regression über die Menge der ermittelten Training Samples TS durchgeführt. Sowohl die Literatur [BBR11][DRG+11] als auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Experimente [NBL+13] haben jedoch gezeigt, dass der Energieverbrauch von Computersystemen nicht linear zur Auslastung

des Systems verläuft. Die vorliegende Arbeit nutzt deshalb ein gestaffeltes Regressionsmodell, welches sich aus verschiedenen Einzelmodellen zusammensetzt. Als Verteilungsschlüssel für diese Einzelmodelle kann beispielsweise die CPU Auslastung verwendet werden. Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass die CPU Auslastung einen signifikanten Einflussfaktor auf den Energieverbrauch darstellt. Für jede Teilmenge ts_k aus $TS = ts_1 \cup \dots \cup ts_k$ wird ein lineares Regressionsmodell M_k gebildet. Bei den Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit hat sich die Aufteilung der Modelle anhand der CPU Auslastung in folgenden Schritten als geeignet herausgestellt:

$$M = \begin{cases} M_1 & \text{for } 0 < x_{CPU} \leq 10 \\ M_2 & \text{for } 10 < x_{CPU} \leq 20 \\ M_3 & \text{for } 20 < x_{CPU} \leq 30 \\ M_4 & \text{for } 30 < x_{CPU} \leq 100 \end{cases} \quad (1)$$

Für jede Menge ts_k ist das entsprechende lineare Regressionsmodell wie folgt aufgebaut: Sei P_{system} der gemessene Gesamtenergieverbrauch eines Systems, n die Menge der Elemente in ts_k , x_i ein Vektor mit definierten Performance Countern, β_i ein Vektor für die Gewichtung von x_i , welcher durch die Trainingsläufe aus den Elementen von TS gewonnen werden soll, und sei C ein zusätzlicher konstanter Wert. Das Regressionsmodell ist dann definiert als:

$$P_{system} = C + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \quad (2)$$

Der Vorteil dieses Ansatzes ist zweigeteilt. Erstens wird der gesamte Energieverbrauch eines Systems inklusive aller seiner Komponenten gemessen. Dieser wird nur mit Hilfe eines konventionellen Strommessgeräts bestimmt. Dadurch kann zum einen der gesamte, reelle Energieverbrauch auf die Ebene des Geschäftsprozesses übertragen werden, zum anderen werden keine weiteren Hard- oder Softwareanpassungen benötigt. Zweitens wird der Energieverbrauch eines Systems zur Laufzeit ausschließlich auf Basis der Auslastungsparameter bestimmt,

d.h., es werden im operativen Betrieb keine physischen Messgeräte mehr benötigt. Dies vereinfacht die Ermittlung des Energieverbrauchs deutlich.

Phase 2: Bestimmung des Energieverbrauchs pro Service Aufruf

Die Definition des Monitoringmodells aus Phase 1 zeigt, dass der Energieverbrauch einer Computerressource von der jeweiligen Auslastung der Ressource abhängig ist. Die Auslastung von Computerressourcen, welche verschiedene Services bereitstellen, hängt dabei insbesondere von der Anzahl der Aufrufe eines Services ab. Um den Energieverbrauch einer Ressource zu bestimmen, müssen deshalb die Anzahl der Service Aufrufe verwendet werden. Dementsprechend ist es das Ziel dieser Phase, den Energieverbrauch für einen Service Aufruf zu ermitteln, und zwar sowohl bei einer alleinigen Ausführung eines Services als auch bei gleichzeitiger Ausführung verschiedener Services auf derselben Ressource.

Das technische Problem hierbei ist, dass sowohl die zur Verfügung stehenden Messgeräte als auch die erfassbaren Performance Counter keine fein-granularen, kontinuierlichen Messreihen aufzeichnen können. Dies führt zu einer Ungenauigkeit in der korrekten Zuordnung der Systemauslastung und des Energieverbrauchs während der Ausführung des Services. Daher verwendet dieser Ansatz als Approximation die von den Messreihen zur Verfügung gestellten Werte, welche dem durchschnittlichen Energieverbrauch eines Services über alle Ausführungen hinweg entsprechen. Der Energieverbrauch eines Service Aufrufs $P_{service}$ wird in mehreren Stufen ermittelt.

- (1) Messung des Energieverbrauchs P_{idle} und der Performance Counter x_i im Ruhezustand der Ressource ($P_{system} = P_{idle}$).
- (2) Messung des Energieverbrauchs P_{system} und der Performance Counter x_i während der alleinigen Ausführung des Services, für welchen der Energieverbrauch ermittelt werden soll.

(3) Messung des Energieverbrauchs P_{system} und der Performance Counter x_i während der Ausführung derjenigen Services, welche zusätzlich auf der Ressource ausgeführt werden. Es sei anzumerken, dass $P_{service}$ hierbei nicht zeitgleich auf der Maschine ausgeführt wird.

Der direkte Energieverbrauch eines einzelnen Services wird im Anschluss an die individuellen Messungen (2) und (3) wie folgt bestimmt: $P_{service} = P_{system} - P_{idle}$ beschreibt den Energieverbrauch des zu messenden Services $P_{service}$. Der Energieverbrauch der zeitgleich auf dem System ausgeführten Services, jedoch ohne $P_{service}$, wird durch $P_{otherServices} = P'_{system} - P'_{idle}$ bestimmt. Das Verhältnis des direkten Energieverbrauchs von $P_{service}$ und $P_{otherServices}$ aus den Messungen aus (2) und (3) wird weiter dazu verwendet, den gesamten Energieverbrauch der Ressource P_{system} proportional zwischen dem Service, für den der Energieverbrauch bestimmt werden soll, und den restlichen Services aufzuteilen. Im Ergebnis wird somit der gesamte Energieverbrauch des Systems, P_{system} , auf die einzelnen Services umgelegt. Dies hat den Vorteil, dass alle relevanten Komponenten, welche zum Betrieb des Systems erforderlich sind, auf die einzelnen Service-Aufrufe umgelegt werden. Dies beinhaltet beispielsweise neben der benötigten Middleware auch den Energieverbrauch, welchen das System im Ruhezustand generiert.

Die Ermittlung des Energieverbrauchs eines Service Aufrufs ist demnach wie folgt definiert: Sei $PCR_{service}$ der durchschnittliche Energieverbrauch eines Service Aufrufs und sei $|req_{service}|$ die Anzahl der Service Aufrufe im Messzeitraum. Unter Verwendung des Gesamtenergieverbrauchs P_{system} des Systems, welcher durch das Modell in Phase 1 ermittelt wird, sowie dem Verhältnis zwischen $P_{service}$ und $P_{otherServices}$ ist $PCR_{service}$ definiert als:

$$PCR_{service} = \frac{P_{system} * \frac{P_{service}}{P_{service} + P_{otherServices}}}{|req_{service}|} \quad (3)$$

4.4.2.2 Aggregation und Übertragung des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch pro Service Aufruf alleine genügt jedoch nicht, um den Gesamtenergieverbrauch eines Geschäftsprozesses zu ermitteln. Beispielsweise kann eine Aktivität eines Geschäftsprozesses innerhalb einer Instanz unterschiedlich oft ausgeführt werden. Für eine umfassende Analyse werden deshalb Aggregationsmechanismen benötigt, welche es ermöglichen, den Energieverbrauch sowohl für einzelne Instanzen als auch für eine Menge an Instanzen ermitteln zu können. Als Zuordnungsschlüssel für den Gesamtenergieverbrauch verwendet diese Arbeit die Anzahl der Service Aufrufe, welche einer Instanz des Prozessmodells zugeordnet sind. Hierbei muss grundlegend unterschieden werden, ob alle Laufzeitinformationen eines Prozesses bereits vorliegen, beispielsweise in Form von so genannten *Audit Trails*, oder nicht. Im Folgenden werden beide Szenarien beschrieben.

Fall 1: Laufzeitinformationen der Prozessinstanzen liegen vor

Sind alle für einen Prozess relevanten Laufzeitinformationen vorhanden, entweder durch ein definiertes Protokoll während der Ausführung oder durch die Analyse der Ausführungsprotokolle, können Informationen zum Energieverbrauch von Prozessinstanzen wie folgt ermittelt werden.

Sei $a \in PA$ eine Aktivität aus der Menge aller einem Prozessmodell zugeordneten Aktivitäten und sei $i \in I$ eine Prozessinstanz aus der Menge aller Instanzen eines Prozessmodells. Weiter sei $|req_a|$ die Anzahl der Service Aufrufe einer Aktivität a , PCR_a der durchschnittliche Energieverbrauch, welcher durch einen Service Aufruf von Aktivität a induziert wird, Ψ ein Funktion, welche es ermöglicht, einen variierenden Energieverbrauch pro Service Aufruf abzubilden, und t die Laufzeit einer Aktivität a . Der Energieverbrauch einer Aktivität a einer Prozessinstanz i ist dann definiert als:

$$PC_i^a = |req_a| * PCR_a * \Psi * t \quad (4)$$

Die Funktion Ψ kann beispielsweise eine Zufallszahl X im Intervall $\{X \in \mathbb{R} \mid 0.8 \leq X \leq 1.1\}$ zurückgeben. Für die Ermittlung des Energieverbrauchs PC_i einer Prozessinstanz $i \in I$ sei $|a|$ die Anzahl an Aktivitäten, welche einem Prozessmodell zugeordnet sind und E der Energieverbrauch der Ausführungsumgebung (*Process Engine*) des Prozessmodells. PC_i ist dann definiert als:

$$PC_i = \sum_{j=1}^{|a|} (|req_j| * PCR_j * \Psi * t) + E \quad (5)$$

Die Bestimmung des Energieverbrauchs E der Ausführungsumgebung kann sehr komplex werden. Wird ein Prozess exklusiv auf einer Process Engine ausgeführt, so kann deren Energieverbrauch direkt übertragen werden. Werden jedoch mehrere unabhängige Prozesse auf einer Process Engine ausgeführt, so muss der Gesamtenergieverbrauch auf die einzelnen Prozesse beziehungsweise deren Instanzen heruntergebrochen werden. Dasselbe gilt für verteilte Ausführungsumgebungen. Hierbei muss der einem Prozess zurechenbare Anteil des Energieverbrauchs je Ausführungsumgebung entsprechend aggregiert werden.

Für eine umfassende Analyse ist es darüber hinaus notwendig, Informationen bezüglich mehrerer Prozessinstanzen bereitzustellen. Daher ist es notwendig, aggregierte Informationen über eine Menge von Prozessinstanzen bereitzustellen.

Sei $ii \subseteq I$ eine Menge an Prozessinstanzen eines Prozessmodells, Φ eine Aggregationsfunktion und $|ii|$ die Anzahl der zu analysierenden Prozessinstanzen. Der aggregierte Energieverbrauch eines Prozessmodells PC_{total} über die Prozessinstanzen $ii \subseteq I$ ist dann definiert als

$$PC_{total} = \Phi\{PC_{ii(1)}, PC_{ii(2)}, \dots, PC_{ii(|ii|)}\} \quad (6)$$

Analog ist der über $ii \subseteq I$ aggregierte Energieverbrauch einer Aktivität eines Prozessmodells definiert als

$$PC_{total}^a = \Phi\{PC_{ii(1)}^a, PC_{ii(2)}^a, \dots, PC_{ii(|ii|)}^a\} \quad (7)$$

Die Aggregationsfunktion Φ kann dabei je nach Analyseziel verschiedene Ausprägungen annehmen. Soll der gesamte Energieverbrauch mehrerer Aktivitäts- oder Prozessinstanzen ermittelt werden, kann eine Summenfunktion angewendet werden. Auf dieselbe Art können Funktionen zur Bestimmung der Durchschnittswerte oder des Minimums / Maximums verwendet werden.

Fall 2: Laufzeitinformationen der Prozessinstanzen liegen nicht oder nur teilweise vor

Die in Fall 1 beschriebene Lösung ist nur anwendbar, sofern alle Laufzeitinformationen bereits vorliegen, d.h., wenn die zu analysierenden Prozessinstanzen bereits abgeschlossen sind. Im Rahmen von Optimierungsvorhaben kann es aber notwendig sein, auch Informationen zu einem modifizierten Prozessmodell bereitzustellen. Für die Abwägung von Alternativen kann es beispielsweise von Interesse sein, wie sich der Energieverbrauch eines Prozesses verändert, wenn alternative Services zur Abarbeitung einer Aufgabe eingesetzt werden. Hierfür müssen zunächst die modifizierten Stellen im Prozessmodell identifiziert werden. Für alle Teile des Prozessmodells, welche nicht modifiziert wurden, können die bereits vorliegenden Laufzeitinformationen weiter verwendet werden.

Um die in Fall 1 vorgeschlagene Lösung anzuwenden, muss die voraussichtliche Anzahl der entsprechenden Service Aufrufe abgeschätzt werden. Dazu müssen zunächst die Pfade des Prozessmodells näher untersucht werden. In [HGK09][Ros05] werden Ansätze einer solchen Pfadanalyse vorgestellt. Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Aktivität aufgerufen wird, ist relevant für die Abschätzung der gesamten Service Aufrufe. Daher sei p_f^a hier die prognostizierte Wahrscheinlichkeit, dass der Kontrollfluss an einer Verzweigung f in Richtung einer Aktivität a verläuft. $|f|$ sei die Anzahl der Verzweigungen, welche der Kontrollfluss vom Startknoten bis hin zu Aktivität a passieren muss. Die

prognostizierte Wahrscheinlichkeit p^a , dass der Kontrollfluss Aktivität a erreicht, ist dann definiert als:

$$p^a = \prod_{f=1}^{|f|} p_f^a \quad (8)$$

Die Funktion zur Ermittlung des durchschnittlichen Energieverbrauchs einer Aktivität a einer Prozessinstanz i muss damit wie folgt erweitert werden:

$$PC'_i{}^a = p^a (|req_a| * PCR_a * \Psi * t) \quad (9)$$

Analog wird der gesamte Energieverbrauch einer Prozessinstanz definiert als:

$$PC'_i = \sum_{j=1}^{|a|} (PC'_i{}^a(j)) + E \quad (10)$$

4.4.3 Persistierung der Umweltinformationen

Für die Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit von Analyseergebnissen ist es wichtig, alle relevanten Laufzeitinformationen der Prozessmodelle dauerhaft zu persistieren. Beispielhafte Anhaltspunkte für die Identifikation relevanter Informationen können unter anderem die folgenden Aspekte sein:

- Welche KEIs sind definiert und müssen auf welche Art ermittelt werden?
- Welches sind die verwendeten Quellsysteme für die Erfassung der Messwerte?
- Wie sind die Rohdaten (Messwerte) definiert?
- Welchen Input haben die verwendeten Ressourcen?
- Welchen Output generieren die verwendeten Ressourcen?
- Wie oft werden einzelne Ressourcen aufgerufen?

4.5 Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

Nach Abschluss der Prä-Analyse-Phase, welche die für eine Analyse relevanten Informationen definiert und bereitstellt, folgt mit der *Analyse-Phase* der nächste Schritt des allgemeinen Vorgehensmodells aus Abbildung 19. Das allgemeine Ziel dieser Phase ist der bedarfsgerechte Einsatz der zuvor erhobenen Daten. Hierzu müssen die vorhandenen Informationen aufbereitet, Aggregationsmethoden angewendet und geeignete Methoden zur Identifikation von Schwachstellen integriert werden. Die zu analysierenden Daten können dabei sehr heterogen sein und vielseitige KEIs und Geschäftsziele abdecken.

Neben den klassischen Ansätzen zur Informationsaufbereitung, wie beispielsweise mathematische Modelle oder automatisiert generierte Berichte in Form von Tabellen oder Texten, zeigen verschiedene Forschungsarbeiten [Moo09][VTM08] die Vorteilhaftigkeit von graphischen Repräsentationen und entsprechenden Analysetechniken auf. Larkin und Simon [LS87] postulieren in ihrer Arbeit beispielsweise, dass aufgrund des stark ausgeprägten menschlichen Visualisierungssystems bestimmte Problemstellungen durch eine gute visuelle Repräsentation besser erfasst werden können als mit einer textuellen Darstellung. Auch die Arbeiten von [Che04][Pet95] zeigen, dass visuelle Repräsentationen die Informationsaufnahme deutlich verbessern können.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus auf der Bereitstellung von Informationen bezüglich der ökologischen Performance von Geschäftsprozessen. Die zentrale Frage dieses ökologischen Teilbereichs befasst sich damit, wie die definierten KEIs in Prozessmodellen so dargestellt werden können, dass der Informationsgehalt durch Entscheidungsträger schnell und einfach aufgenommen werden kann. Der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Ansatz greift die Ansatzpunkte der Literatur auf und zeigt, wie Umweltinformation in Prozessvisualisierungen repräsentiert und flexibel an sich ändernde Anforderungen angepasst werden können.

4.5.1 Flexible visuelle Repräsentation von Geschäftsprozessen

Um die in der Literatur genannten Vorteile einer graphischen Analyse zu nutzen, wurden auch im Bereich des Geschäftsprozessmanagements bereits erste Ansätze hierfür entwickelt. Der Grundgedanke dabei ist, analytische und/oder semantische Informationen an Prozessmodelle zu annotieren und diese graphisch darzustellen [Bob08][SLS10]. Die Schwierigkeit bei diesen Ansätzen ist jedoch, dass der Entwickler einer Prozessvisualisierung Kenntnisse in vielen verschiedenen Bereichen vorweisen muss. Dazu gehören Kenntnisse bezüglich der graphischen Repräsentationen des Prozessmodells, der Struktur und Logik eines Geschäftsprozesses, der relevanten Daten und der individuellen Kompositionssprache, welche alle diese Elemente vereint. Damit ist die Erstellung und Evolution einer graphischen Prozessvisualisierung stark von existierendem Prozesswissen und den verwendeten Tools abhängig und kann von nicht-technischen Benutzern nur sehr schwer angepasst werden. Obwohl dies für einzelne, statische Anwendungsfälle nicht relevant ist, bieten diese Ansätze keine angemessene Lösung zur flexiblen und generischen Integration von sich ändernden Anforderungen oder Prozessstrukturen. Diese Komplexität führt zu einem Kommunikationsbruch zwischen Business und IT.

Dieses Kapitel zeigt einen Ansatz zur Lösung dieser Problemstellung. Durch die Einführung von *Variabilitätspunkten* in graphischen Visualisierungen trennt der hier vorgestellte Ansatz die einzelnen Aufgaben, welche zur Erstellung einer graphischen Prozessvisualisierung notwendig sind, voneinander ab. Damit ist es möglich, dass Entwickler und Anwender unabhängig voneinander Änderungen an der Visualisierung vornehmen können. Die Erstellung und Bereitstellung der einzelnen Elemente einer graphischen Visualisierung lässt sich in den in Kapitel 3.2.1.2 vorgestellten erweiterten Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements einordnen. Abbildung 23 zeigt eine Übersicht, in welche Phasen des Lebenszyklus die Elemente einer Visualisierung eingeordnet werden. Die Erstellung eines

4.5 | Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

Visualisierungstemplates ist typischerweise Bestandteil der Modellierungsphase. Ein Visualisierungstemplate beschreibt den allgemeinen Aufbau einer Visualisierung und ihrer Komponenten, jedoch ohne Bezug zu einem bestimmten Geschäftsprozess. Die Visualisierungskonfiguration beschreibt, wie ein Visualisierungstemplate auf einen konkreten Geschäftsprozess abgebildet wird. Die Definition einer Visualisierungskonfiguration kann deshalb sowohl zur Design Zeit (Modellierung und Konfiguration) als auch zur Laufzeit (Ausführung) eines Prozesses erfolgen. Für die Nutzung der daraus resultierenden Visualisierung müssen in der Analysephase zudem geeignete Tool-Unterstützungen bereitgestellt werden.

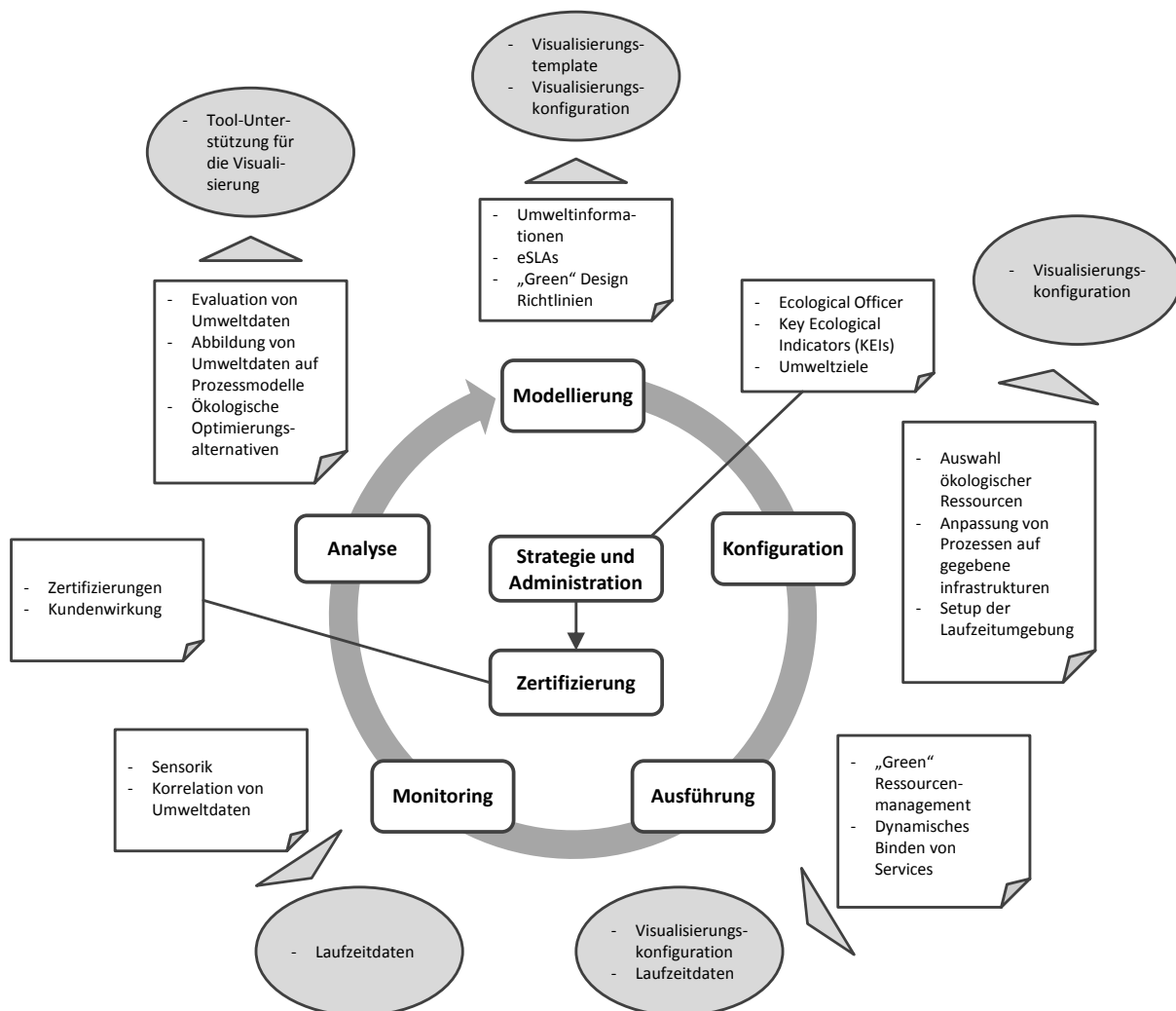


Abbildung 23: Einordnung der Visualisierungskomponenten in den erweiterten Geschäftsprozessmanagement Lebenszyklus

Die folgenden Kapitel beschreiben den methodischen Aufbau des entwickelten Ansatzes und zeigen, wie die einzelnen Perspektiven der Erstellung einer graphischen Prozessvisualisierung integriert werden können.

4.5.1.1 Übersicht der Vorgehensweise

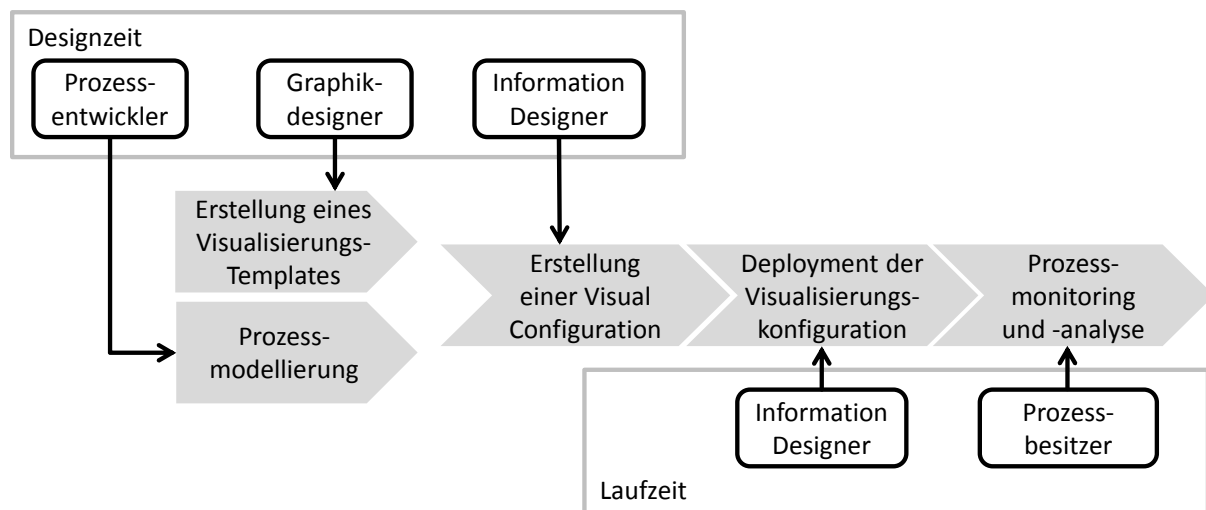


Abbildung 24: Übersicht der Aufgaben und Rollen zur Erstellung einer Prozessvisualisierung

Abbildung 24 zeigt die für diesen Ansatz relevanten Aufgaben sowie die assoziierten Rollen, welche zur Erstellung einer Prozessvisualisierung notwendig sind. Im ersten Schritt muss der Prozessentwickler ein Modell des Geschäftsprozesses bereitstellen. Dies kann entweder ein bereits existierendes Modell sein oder eine Modellierung des Prozesses anhand existierender Prozessbeschreibungen. Der Prozess muss dabei nicht zwangsweise automatisiert lauffähig sein. Das Modell kann auch ausschließlich für die graphische Repräsentation der Informationen dienen. Zusätzlich erstellt ein Grafikdesigner ein Visualisierungstemplate, welches sowohl kognitiven Anforderungen, als auch Anforderungen an die Vollständigkeit entspricht. Sind bereits geeignete Visualisierungstemplates vorhanden, können diese wiederverwendet werden. Je nach Gestaltung dieses Templates können verschiedene Elemente eines Prozessmodells abgebildet werden, beispielsweise Aktivitäten, Kontrollflusskanten und Datenobjekte. Die Integration von Variabilitätspunkten in Templates

ermöglicht, dass die entworfenen Templates in verschiedenen Analyseszenarien eingesetzt werden können. Der Grafikdesigner muss deshalb nicht über bestimmtes Wissen bezüglich des Prozessmodells oder der zu visualisierenden Daten verfügen.

Im nächsten Schritt erstellt der *Information Designer* [Sch11] eine sogenannte *Visualisierungskonfiguration*. Es handelt sich dabei um eine Konfiguration, welche individuell für jedes Analyseszenario entwickelt wird und die Anforderungen der verschiedenen Entscheidungsträger abdeckt. Die Konfiguration dient dazu, alle relevanten Komponenten einer Visualisierung zu integrieren (siehe Abbildung 25). Dazu gehören das Visualisierungstemplate, die Analysedaten sowie das entsprechende Prozessmodell. Die Konfiguration sowie die entsprechenden Artefakte werden im Anschluss auf einer Ausführungsumgebung bereitgestellt [NKL+12] und können für die Analyse konkreter Anwendungsszenarios, d.h. mit einem konkreten Prozess und den zugehörigen Analysedaten, angewendet werden.

4.5.1.2 Begriffsmodell

Das Begriffsmodell in Abbildung 25 beschreibt die einzelnen, für eine flexible Visualisierung notwendigen Elemente sowie ihre jeweiligen Abhängigkeiten. Die *Prozessvisualisierung* wird durch den *Monitoring- & Analyseservice* erstellt. Der *Monitoring- & Analyseservice* verwendet hierzu die bereitgestellte *Visualisierungskonfiguration* sowie die konkreten *Analysedaten*, welche Informationen zum Prozessablauf bereitstellen.

Die *Visualisierungskonfiguration* besteht aus drei weiteren Elementen: (1) dem *Datenformat der Analysedaten*, (2) dem *Prozessmodell*, welches visualisiert werden soll, sowie (3) dem *Visualisierungstemplate*, welches über eine beliebige Anzahl an *Variabilitätspunkten* verfügt. Diese *Variabilitätspunkte* dienen als Platzhalter für das dynamische Einfügen der eigentlichen Analysedaten. Die *Visualisierungskonfiguration* verfügt zudem über eine Zuordnungsliste, welche zum einen konkrete Prozessaktivitäten mit bestimmten Visualisierungstemplates und zum

anderen die *Variabilitätspunkte* des Visualisierungstemplates mit Datenelementen des Analysedaten-Formats verknüpft.

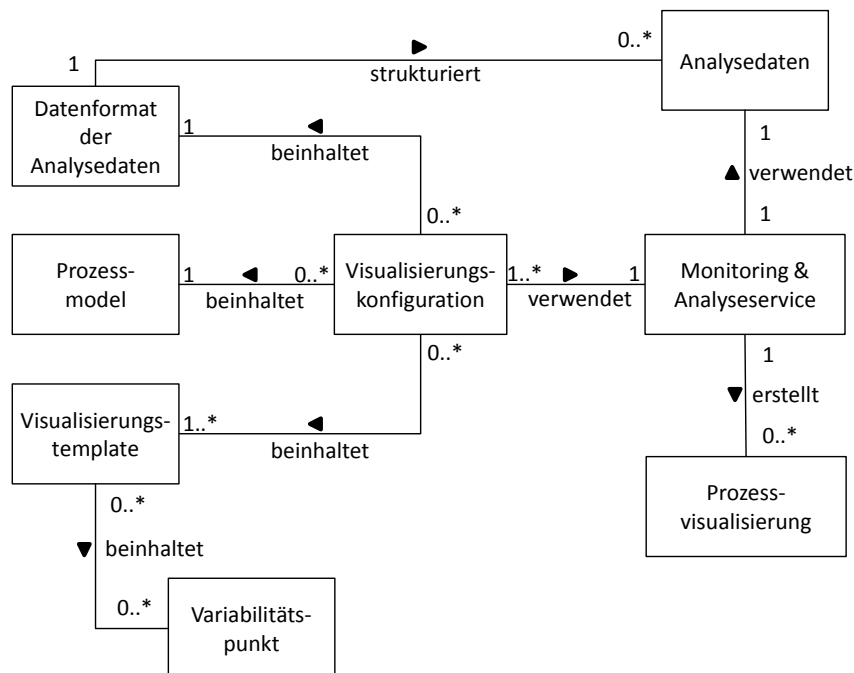


Abbildung 25: Begriffsmodell der Elemente einer lose gekoppelten Prozessvisualisierung

Das *Datenformat der Analysedaten* wird durch den Information Designer je nach Anforderungen an eine Visualisierung definiert, d.h. je nach Informationsgehalt, welcher visuell dargestellt werden soll (vergleiche Beispiel Abbildung 27). Je nach Datenquellen sind gegebenenfalls Transformationskomponenten vorzuschalten, welche die Analysedaten aus den verschiedenen Datenquellen in ein gemeinsames Format bringen. Weitere Vorgaben an das Datenformat bestehen nicht, wodurch die Verwendung eines individuellen Datenformats gestärkt wird.

4.5.1.3 Struktureller Aufbau eines Visualisierungstemplates am Beispiel von Scalable Vector Graphics

Die Separierung von Kenntnissen bezüglich der Erstellung von Visualisierungstemplates und Prozessmodellen ist ein entscheidender Aspekt dieses Ansatzes. Um diese Entkopplung zu realisieren, muss der Grafikdesigner zwei Hauptaufgaben adressieren: (1) Der Grafikdesigner entscheidet, wie die Prozesselemente in seinem Visualisierungstemplate

dargestellt werden. (2) Der Grafikdesigner erweitert seine Visualisierungstemplates um Variabilitätspunkte, welche eine dynamische Anpassung der Visualisierungselemente auf Basis der Analysedaten erlauben. Diese Anpassungspunkte erlauben nicht nur das dynamische Einfügen von Analysedaten, sondern auch die Anpassung der grafischen Elemente, wie beispielsweise Icons, in Abhängigkeit der Analysedaten.

Die definierten Variabilitätspunkte werden bei der Erstellung der Visualisierungskonfiguration auf die darzustellenden Analysedaten abgebildet. Innerhalb der Konfiguration wird jedoch nur auf das entsprechende Datenformat der Analysedaten verwiesen. Das dynamische Einfügen der konkreten Analysedaten erfolgt erst zur Ausführungszeit. Für die Unterstützung dieser Datenreferenzierung werden Visualisierungstemplates in der vorliegenden Arbeit beispielhaft als Scalable Vector Graphics (SVG) [W3C10] bereitgestellt. SVG Dateien bieten sich hierfür besonders an, da sie plattform- und geräteunabhängig sind und Elemente als hierarchisch strukturierte XML Datei repräsentiert werden. Durch Ihre Struktur ermöglichen SVG Dateien damit sowohl die Definition von beliebigen, skalierbaren Grafiken als auch die Möglichkeit, Erweiterungen zur Abbildung der Variabilitätspunkte einzufügen.

Um einen Variabilitätspunkt in ein Visualisierungstemplate zu integrieren, sind drei wesentliche Schritte notwendig: (1) Identifikation des Attributes oder des Knotens, welcher konfigurierbar gemacht werden soll, (2) Hinzufügen eines neuen Attributes oder Knotens, welcher die konfigurierbaren Eigenschaften abdeckt, und (3) die Definition der Eigenschaften des neuen Attributes oder Knotens. Die Identifikation des Attributes oder des Knotens, der konfigurierbar gemacht werden soll, hängt von der Gestaltung des Visualisierungstemplates ab, bspw. von den verwendeten Formen und Grafiken. Ein Namensattribut eines Elements in einem Visualisierungstemplate kann beispielsweise wie folgt aussehen: *name="Used 0 kWh in total"*. Die verbrauchten Kilowattstunden sollen hierbei anhand der Analysedaten dynamisch in die Visualisierung integriert werden. Die notwendige Strukturanpassung der SVG Datei, d.h.

die entsprechende Erweiterung eines Attributs oder Knotens sieht allgemein wie folgt aus:

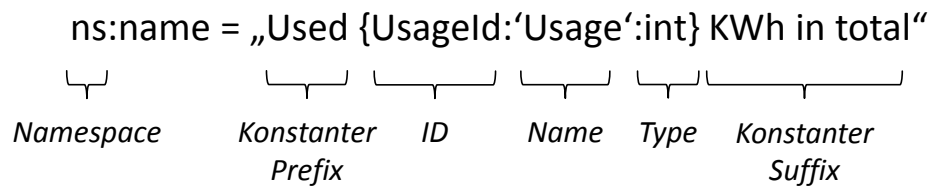


Abbildung 26: Struktur eines Variabilitätspunktes in einer SVG-Datei

Der linke Teil der Gleichung in Abbildung 26 spezifiziert den Namen des Elements sowie einen bestimmten Namensraum, welcher alle Variabilitätspunkte identifiziert. Dadurch sind auch die angepassten SVG-Dateien standardkonform und können von beliebigen SVG-Tools visualisiert werden. Der Wert des Elements lässt sich in drei Bereiche aufteilen: den Variabilitätspunkt sowie einen statischen Wert davor und danach. Der Variabilitätspunkt selbst besteht aus einer ID, welche zur Referenzierung des Variabilitätspunktes verwendet wird, dem Namen sowie einem Typ, welcher die für diesen Variabilitätspunkt erlaubten Werte definiert. Als Typ kann beispielsweise ein *string* oder *int* Wert definiert werden.

Listing 4.1 zeigt, wie durch einen Variabilitätspunkt der Wert eines Knotens, hier „*Title*“, variabel gemacht werden kann. Der Variabilitätspunkt besteht aus einer ID *NameId*, welche die Identifikation des Variabilitätspunktes ermöglicht, einem Beschreibungstext „*Title text*“, welcher beispielsweise die Erstellung der Konfiguration vereinfacht, sowie dem erwarteten Typ *string* der eingefügten Daten. Werden Variabilitätspunkte in der Konfiguration nicht auf konkrete Datenelemente abgebildet, wird der Standardwert [*Title*] verwendet.

4.5 | Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

```
1 <text id="text6658" y="0" x="50%"
2   ns:NodeValue="{NameId:'Title text':string}"
3   style="font-weight:bold;text-align:center;text-
4 anchor:middle;
5       fill:#000000;font-family:Tahoma;font-size:8pt;">
6   [Title]
7 </text>
```

Listing 4.1: Definition eines flexiblen NodeValues in einem Visualisierungstemplate

Listing 4.2 zeigt, wie durch einen Variabilitätspunkt der Wert eines Attributs, hier „*class*“, variabel gemacht werden kann. Die Hintergrundfarben des hier definierten Elements werden durch verschiedene *Cascading Style Sheets (CSS)* Klassen abgebildet. Der Variabilitätspunkt besteht aus einer ID *BackColorId*, welche die Identifikation des Variabilitätspunkt ermöglicht, einem Beschreibungstext „*Background Color (0 to 3)*“, welcher beispielsweise die Erstellung der Konfiguration vereinfacht, sowie eine Enumeration der erlaubten Werte. Wird der Variabilitätspunkt in der Konfiguration nicht auf ein konkretes Datenelement abgebildet, wird der Standardwert *colorlevel0* verwendet.

```
1 <rect id="rect6648" width="98%" height="93%"
2   style="stroke:#000000;stroke-width:2;"
3   class="colorlevel0"
4   ns:class="colorlevel{BackColorId:'Background
5       Color (0 to 3)':enum:0,1,2,3}" />
```

Listing 4.2: Definition eines flexiblen Attributes in einem Visualisierungstemplate

Abbildung 27 zeigt ein Beispiel eines Templates zur Visualisierung einer Prozessaktivität. Das Template auf der linken Seite verfügt dabei über fünf verschiedene Variabilitätspunkte. Der *Typ Icon* repräsentiert den Typ einer Aktivität. Diese Icons können direkt in das Template integriert werden und stehen beispielsweise durch eine Enumeration zur Auswahl. Der *Name der Aktivität* repräsentiert den Namen der Aktivität und wird als String-Wert angegeben. Das *Zustands-Icon* repräsentiert den aktuellen Ausführungszustand der Aktivität, beispielsweise, ob die Aktivität im

Moment noch aktiv ist oder bereits terminiert wurde. Die Darstellung des Zustands-Icon hängt jedoch von der Art der Visualisierung ab und kann nur bei einer Einzelbetrachtung von Instanzen sinnvoll angewendet werden. Der *Wert des Fortschrittsbalkens* sowie der *Füllstand des Fortschrittsbalkens* können ebenfalls dynamisch angepasst werden.

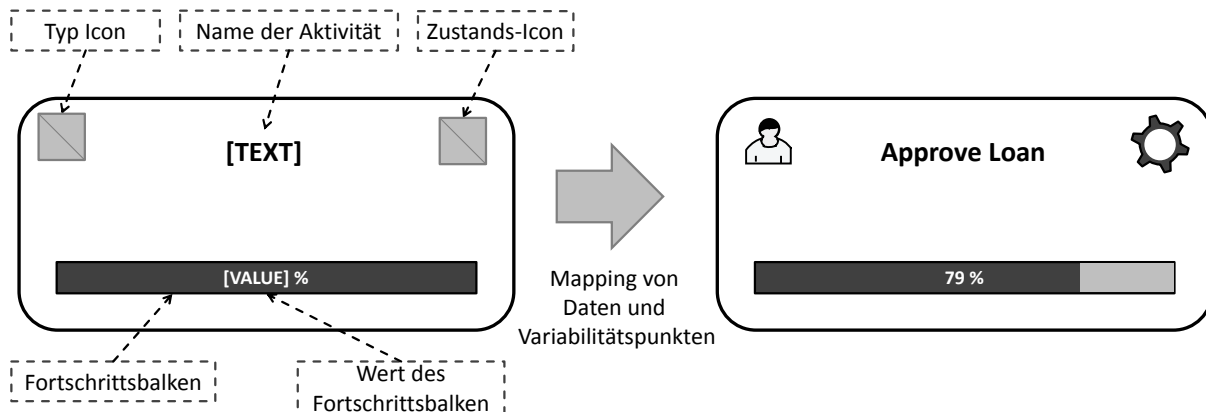


Abbildung 27: Visualisierungstemplate mit Variabilitätspunkten (links) und konkreten Analysedaten (rechts)

Der rechte Teil in Abbildung 27 zeigt das Visualisierungstemplate inklusive der integrierten Analysedaten. Die definierten Variabilitätspunkte werden durch den Monitoring & Analyseservice durch konkrete Werte der entsprechenden Analysedaten ersetzt. In diesem Beispiel sind dies die Werte (HUMAN_TASK / "Approve Loan" / RUNNING / „79“ / 79).

4.5.1.4 Definition einer Visualisierungskonfiguration

Eine Visualisierungskonfiguration ermöglicht es, die von unterschiedlichen Akteuren erstellten Artefakte zu integrieren. Sie beinhaltet die Strukturinformationen der Analysedaten, das Prozessmodell und Visualisierungstemplates. Zudem umfasst die Konfiguration die Abbildung einzelner Typen von Aktivitäten auf beliebige Visualisierungstemplates sowie die Abbildung von Variabilitätspunkten auf das entsprechende Datenformat der Analysedaten. Die eigentlichen Analysedaten werden zum Zeitpunkt der Erstellung der Konfiguration nicht benötigt. Diese werden erst zur Laufzeit, d.h. bei der Erstellung einer

4.5 | Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

konkreten Prozessvisualisierung, durch den *Monitoring- & Analyseservice* eingefügt.

Abbildung 28 zeigt den Aufbau einer Visualisierungskonfiguration. Diese besteht aus den *mappings*, *Metadaten (metadata)*, dem *Format der Analysedaten (format)* und dem *Prozessmodell*. Die Abbildung von Aktivitäten eines Prozesses auf Visualisierungstemplates wird durch *Mappings* definiert, welche eine beliebige Anzahl an *MappingTypes* referenziert. Ein *MappingType* umfasst einen *ActivityType* und einen *TemplateType*. Ein *ActivityType* referenziert eine Menge an Aktivitäten, welche entweder anhand des Aktivitätstyps oder der Attribute erfolgen kann. Diese Referenz wird durch die Attribute *attrName*, *attrValue*, und *nodeName* abgebildet. Ein *TemplateType* referenziert ein Template anhand dessen Namen und beinhaltet eine beliebige Anzahl an *ParameterTypes*, welche beschreiben, wie ein Template mit Analysedaten gefüllt werden muss. Ein *ParameterType* verfügt hierzu über drei Attribute: *paramid* identifiziert den Parameter, *cpid* identifiziert einen Variabilitätspunkt und *staticValue* kann für die Zuweisung eines statischen Werts verwendet werden, welcher für alle Visualisierungen gleich ist.

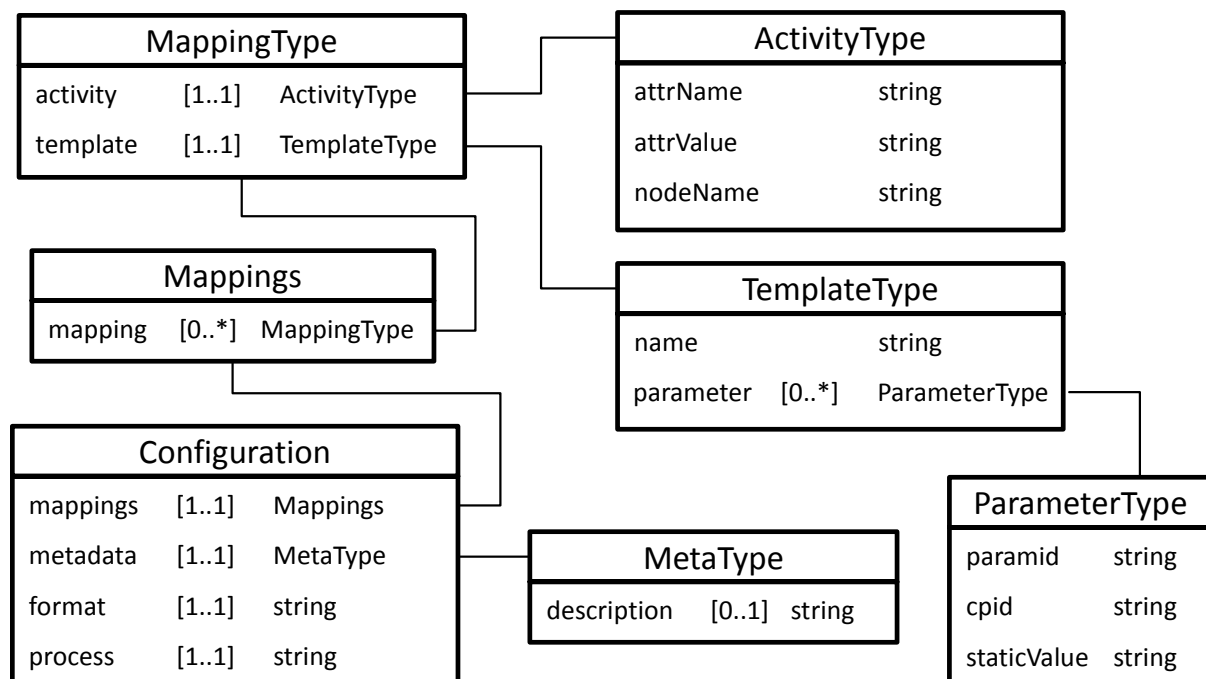


Abbildung 28: Innere Zusammenhänge einer Visualisierungskonfiguration

Das Listing 4.3 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt einer Konfiguration im XML-Format. Dieses Beispiel nutzt zwei verschiedene Visualisierungstemplates. Aktivitäten mit dem nodeName *invoke* wird das Template *template-color.svg* zugeordnet. Allen anderen Aktivitäten wird das Template *template-default.svg* zugeordnet. Das Template *template-color.svg* beinhaltet vier verschiedene Variabilitätspunkte. Die Hintergrundfarbe (*BackColorId*) sowie der Untertitel (*subtitle*) referenzieren zwei verschiedene Variabilitätspunkte, welche die analytischen Daten *Efficiency* und *UsedEquipment* darstellen. Zusätzlich werden zwei statische Werte integriert, welche durch die definierten Schlüsselwörter *type* und *name* direkt auf Informationen aus dem Prozessmodell zugreifen. Diese statischen Werte kommen auch im zweiten Template *template-default.svg* zum Einsatz.

```
1 <mappings>
2   <mapping>
3     <activity nodeName="invoke"/>
4     <template name="template-color.svg">
5       <parameter vpid="BackColorId" paramid="Efficiency"/>
6       <parameter staticValue="ns:type" vpid="IconId"/>
7       <parameter staticValue="ns:name" vpid="TitleId"/>
8       <parameter vpid="SubtitleId" paramid="UsedEquipment"/>
9     </template>
10  </mapping>
11  <mapping>
12    <activity nodeName=""/>
13    <template name="template-default.svg">
14      <parameter staticValue="ns:type" vpid="IconId"/>
15      <parameter staticValue="ns:name" vpid="NameId"/>
16    </template>
17  </mapping>
18 </mappings>
```

Listing 4.3: Beispiel für eine Konfiguration von Visualisierungstemplates

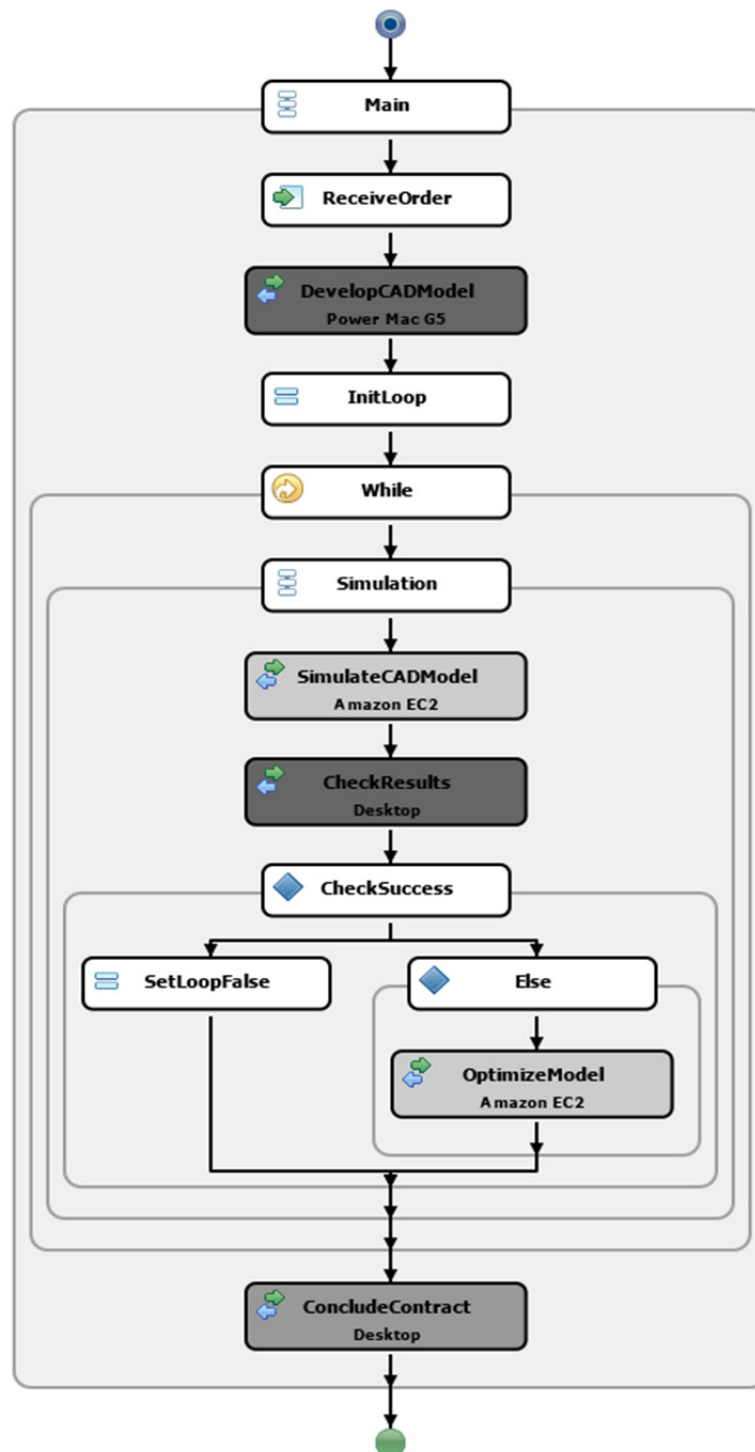


Abbildung 29: Prozessvisualisierung eines Beispielprozesses

Eine auf diese Weise erstellte Konfiguration kann anschließend verwendet werden, um eine mit Analysedaten angereicherte Prozessvisualisierung zu erstellen. Der *Monitoring- & Analyseservice* liest hierfür die erforderlichen Visualisierungskonfiguration ein, füllt die Variabilitätspunkte im Visualisierungstemplate anhand der zuvor definierten Struktur der

Analysedaten, berechnet das entsprechende Layout und erstellt letztlich eine integrierte SVG Datei. Abbildung 29 zeigt beispielhaft die visuelle Darstellung eines Prozessmodells unter Verwendung der zuvor gezeigten Konfiguration. Die in diesem BPEL Prozess verwendeten *Invoke* Aktivitäten werden entsprechend ihrer Effizienz in verschiedenen Hintergrundfarben angezeigt. Alle weiteren Aktivitäten (beispielsweise ein *Receive* oder *Assign*) werden mit weißer Hintergrundfarbe visualisiert.

4.5.1.5 Bestimmung der Visualisierungsinformationen

Die graphische Visualisierung von Geschäftsprozessen ermöglicht es, vorhandene Informationen so darzustellen, dass diese schnell und einfach aufgenommen, analysiert und verstanden werden. Problemstellen können in dieser Weise leichter identifiziert werden. Die Grundlage für diese Form der Informationsaufbereitung und Analyse ist die Bereitstellung von Informationen aus dem Monitoringmodell in geeigneter Granularität. Für eine fundierte Entscheidungsgrundlage reicht es jedoch nicht aus, nur bestimmte Messwerte zu visualisieren, sondern auch den jeweiligen Grad der Erfüllung der definierten Zielvorgaben. Für die Abbildung dieser Informationen bieten die in Kapitel 3.2.2 beschriebenen KEIs eine geeignete Ausgangsbasis, da diese nicht nur die entsprechenden Messwerte, sondern auch Funktionen zur Definition von Zielwerten beinhalten.

Die technische Definition eines Key Ecological Indicators aus Kapitel 3.2.2.3 lässt sich dafür weiter detaillieren. Ein *Ecological Characteristic Measure (ECM)* definiert eine Messgröße, welche aus den konkreten Messwerten $m \in \mathcal{M}$ abgeleitet wird. Es kann sich dabei um einen direkten Messwert oder aber um einen bereits aggregierten oder anderweitig aufbereiteten Wert handeln. Diese Werte werden durch das Monitoringmodell bereitgestellt. In bestimmten Fällen können diese Werte auch auf Basis externer Informationen, beispielsweise der Anteil erneuerbarer Energien, welche bei der Ausführung einer Prozessaktivität verwendet werden, bestimmt werden. Die Zielfunktion zf ist eine

Funktion, welche ein oder mehrere *ECMs* beinhaltet und dafür jeweils einen Grenzwert definiert, welcher den strategischen und ökologischen Zielen eines Unternehmens entspricht. Ein KEI kann sich somit auf einen gesamten Prozess oder auf einzelne Aktivitäten beziehen.

Die Aggregation der in \mathcal{M} befindlichen Messwerte m erfolgt auf Basis einer Aggregationsfunktionen Φ , welche anhand der individuellen Visualisierungsanforderungen definiert wird. Sei $ii \subseteq I$ eine Menge von Prozessinstanzen, $\mathcal{A} \subseteq PA$ eine Menge von Aktivitäten und T die Menge der Typen der Messwerte m , dann gilt:

$$\Phi_{\mathcal{A},ii}: \left(ii \rightarrow \left(\mathcal{A} \rightarrow 2^{\mathcal{M}} \right) \right) \times T \rightarrow \mathbb{R} \quad (11)$$

Für die graphische Visualisierung sowie die schnelle Identifikation von Problemstellen ist es relevant, ob eine definierte Zielfunktion zf eingehalten wird. Diese ist definiert als

$$zf_{gesamt} = \bigwedge_{i=1..n} zf_i \quad (12)$$

Ein Beispiel hierfür ist: „ $zf_{Prozess1} = (\text{regenerativer Strom} \wedge \text{durchschnittlicher Energieverbrauch pro Prozessinstanz} < 1\text{Wh})$ “. In diesem Beispiel müssen demnach die *ECMs* *Energieverbrauch* und *regenerativer Strom* identifiziert und eingehalten werden. Bei der visuellen Analyse der Geschäftsprozesse kann damit schnell erkannt werden, ob definierte Zielvorgaben verletzt werden.

4.5.2 Identifikation geeigneter Visualisierungen für Prozessaktivitäten

Die Art der visuellen Darstellung von Informationen hat weitreichende Auswirkungen auf die Interpretation der dargestellten Informationen [Che04][LS87][Pet95][Sia04]. Schon kleine Änderungen der verwendeten Symbole und Schaubilder kann zu einer unterschiedlichen Auffassung der Informationen führen. Dieses Kapitel zeigt die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Visualisierungstemplates. Sie basieren auf den in der Literatur [Moo09] identifizierten Prinzipien für die Erstellung von Visualisierungen. Diese Prinzipien beziehen sich nicht nur

auf die Visualisierung von Geschäftsprozessen, sondern allgemein auf die graphische Repräsentation von Informationen. Im Folgenden sei nur eine kurze Übersicht der identifizierten Prinzipien gegeben. Weitere Informationen für die Erstellung konkreter Visualisierungen kann den einzelnen Literaturreferenzen entnommen werden.

Prinzip der semiotischen Klarheit: Ein graphisches Symbol muss eine eins-zu-eins Beziehung zu seinen semantischen Konstrukten gewährleisten [Goo76].

Prinzip der perzeptiven Unterscheidbarkeit: Graphische Symbole müssen so gestaltet werden, dass ein konkretes Symbol durch die unbewusste Wahrnehmung eindeutig von anderen Symbolen abgegrenzt werden kann [Win90].

Prinzip der semantischen Transparenz: Die semantische Bedeutung eines Symbols sollte direkt aus dem entsprechenden Symbol abgeleitet werden können [Pet95].

Prinzip des Komplexitätsmanagements: Die Komplexität einer visuellen Darstellung sollte so gewählt werden, dass eine schnelle und direkte Erfassung der Informationen gewährleistet ist [Moo09].

Prinzip der kognitiven Integration: Werden zur Repräsentation von komplexen Sachverhalten verschiedene Typen von Schaubildern verwendet, ist sicherzustellen, dass der Betrachter stets erkennt, welche Informationen in welchem Schaubild enkodiert sind [Sia04].

Prinzip der visuellen Ausdrucksfähigkeit: Die visuelle Ausdrucksfähigkeit definiert die Anzahl möglicher Varianten zur Darstellung bestimmter Sachverhalte, d.h., wie Informationen durch die verfügbaren Variablen einer Visualisierung abgedeckt werden können [Moo09].

Prinzip der dualen Kodierung: In bestimmten Anwendungsfällen kann es hilfreich sein, neben graphischen auch textuelle Elemente zu verwenden,

4.5 | Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

um die Ausdrucksfähigkeit der Informationen gegenüber ihrer Einzelanwendung zu steigern [Pai90].

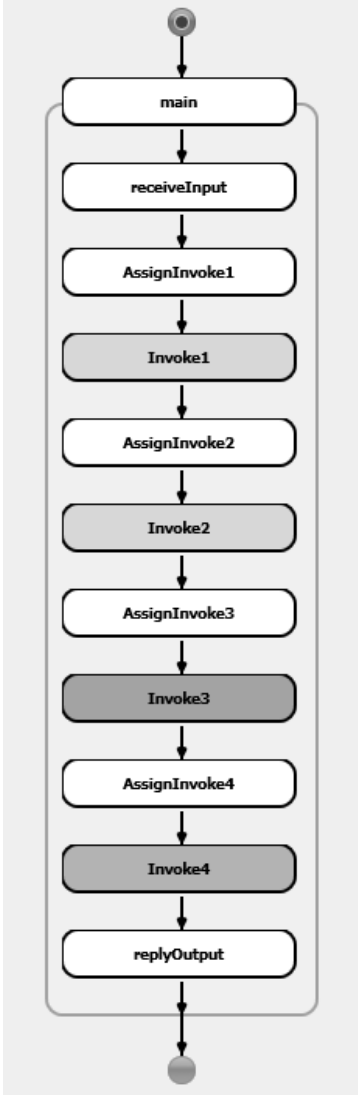
Prinzip der Graphen-Ökonomie: Die Anzahl der graphischen Elemente einer Notation sollte die kognitive Erfassbarkeit nicht übersteigen [NC99].

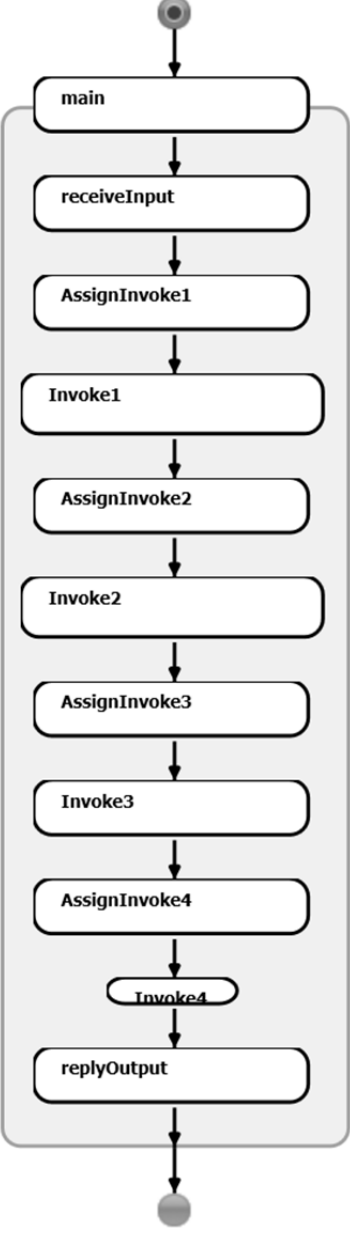

Prinzip der kognitiven Eignung: Die Auswahl bestimmter visueller Darstellungsformen zur Repräsentation von Informationen sollte so gewählt werden, dass die Zielgruppe bestmöglich adressiert wird [SV06].

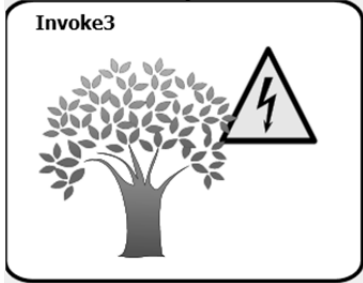
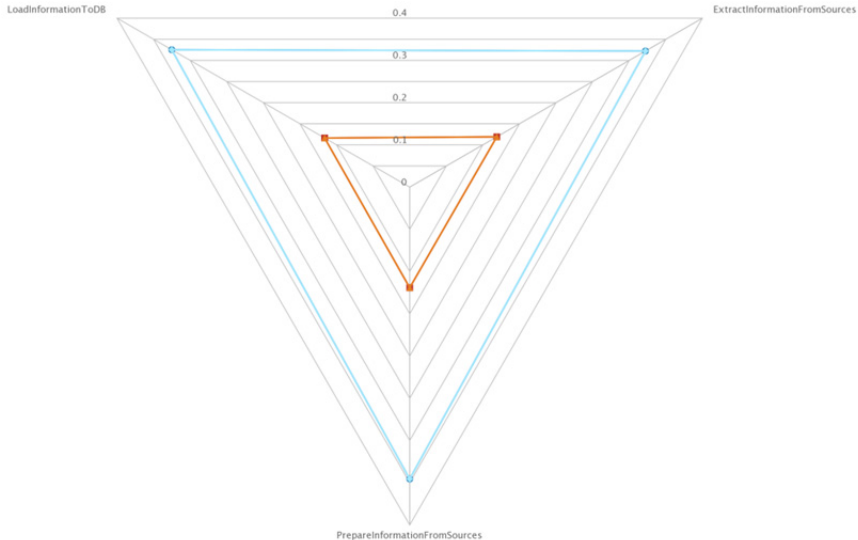
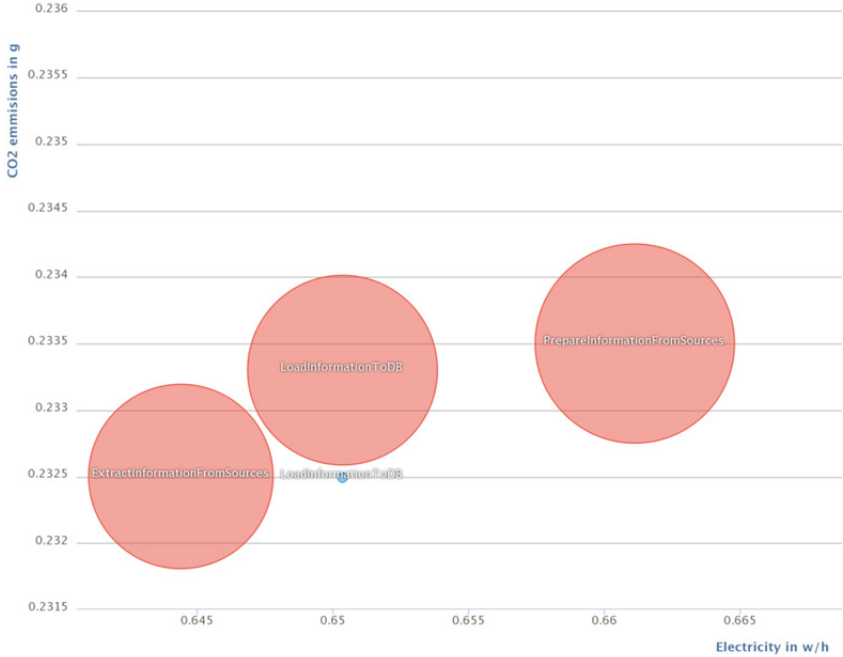
Je nach Anwendungsbereich und kulturellem Umfeld müssen die einzelnen Prinzipien verschiedenartig ausgestaltet werden. Farblichen Enkodierungen beispielsweise werden in unterschiedlichen Kulturkreisen unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet.

Unter Berücksichtigung der vorgestellten Prinzipien wurden für den in Kapitel 4.5.1 vorgestellten flexiblen Visualisierungsansatz verschiedene Beispieltemplates entwickelt. Diese beschreiben einen ersten Anhaltspunkt für die Darstellung von Prozessmodellen und dessen Aktivitäten, sollen jedoch nicht als vollständig angesehen werden. Tabelle 13 zeigt eine Auswahl der exemplarischen Visualisierungstemplates.

Tabelle 13: Beispiele für Visualisierungstemplates

Name und Beschreibung	Beispiel-visualisierung
<p>ColorMap: Ein KEI-Wert einer Aktivität kann in Abhängigkeit des Zielwerts durch bestimmte Hintergrundfarben dargestellt werden.</p>	 <pre> graph TD Start(()) --> main([main]) main --> receiveInput([receiveInput]) receiveInput --> AssignInvoke1([AssignInvoke1]) AssignInvoke1 --> Invoke1([Invoke1]) Invoke1 --> AssignInvoke2([AssignInvoke2]) AssignInvoke2 --> Invoke2([Invoke2]) Invoke2 --> AssignInvoke3([AssignInvoke3]) AssignInvoke3 --> Invoke3([Invoke3]) Invoke3 --> AssignInvoke4([AssignInvoke4]) AssignInvoke4 --> Invoke4([Invoke4]) Invoke4 --> replyOutput([replyOutput]) replyOutput --> End(()) </pre>

Name und Beschreibung	Beispiel-visualisierung
<p>SizeMap: Ein KEI-Wert einer Aktivität kann in Abhängigkeit des Zielwerts durch die Größe einer Aktivität dargestellt werden.</p>	 <pre> graph TD Start(()) --> main subgraph Container main --> receiveInput receiveInput --> AssignInvoke1 AssignInvoke1 --> Invoke1 Invoke1 --> AssignInvoke2 AssignInvoke2 --> Invoke2 Invoke2 --> AssignInvoke3 AssignInvoke3 --> Invoke3 Invoke3 --> AssignInvoke4 AssignInvoke4 --> Invoke4 Invoke4 --> replyOutput end replyOutput --> End(()) </pre>
<p>MultiColorMap: Bis zu drei verschiedene KEI-Werte einer Aktivität können in Abhängigkeit des Zielwerts als Farb-Code dargestellt werden.</p>	 <pre> graph TD subgraph Invoke1 co2[co2] el[el] NoData[No Data] end </pre>

Name und Beschreibung	Beispiel-visualisierung
<p>IconMap: Bis zu drei verschiedene KEI-Werte einer Aktivität können als Icons in unterschiedlichen Größen angezeigt werden.</p>	
<p>RadarChart: Bis zu sechs verschiedene KEI-Werte einer Aktivität können als Spinnennetz dargestellt werden.</p>	
<p>Portfolio: Drei verschiedene KEI-Werte einer Aktivität können als Portfolio angezeigt werden, wobei sowohl beide Achsen als auch die Größe der Markierungen im Quadranten als Variablen gestaltet sind.</p>	

4.5 | Ökologische Analyse von Geschäftsprozessen

Um die kognitive Wahrnehmung der Beispielformulierungen zu untersuchen, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine empirische Studie durchgeführt. Anhand eines definierten Fragebogens wurden $n = 15$ Personen verschiedene Fragen zu Referenzprozessen und den unter Verwendung der vorgestellten Beispielformulierungen erzeugten Prozessvisualisierungen gestellt. Für die Referenzprozesse wurden KEIs als textuelle Informationen dargestellt. Die Auswertung der Ergebnisse hierbei hat gezeigt, dass die Einfachheit der Erfassung sowie die Erkennbarkeit von Schwachstellen als eher negativ eingestuft wurden. Hingegen wurden Lesbarkeit und Verständlichkeit als eher positiv eingestuft.

Bei der visuellen Darstellung der KEIs hingegen wurde die Einfachheit der Erfassung sowie die Lesbarkeit der KEIs und die Erkennbarkeit von Schwachstellen eher positiv eingestuft. Allerdings wurden Klarheit und Verständlichkeit der Schaubilder im Durchschnitt eher negativ eingestuft. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt damit, dass die hier verwendeten visuellen Repräsentationen im Wesentlichen die Erfassbarkeit und schnelle Aufnahme von Informationen begünstigen. Jedoch ist hierbei wieder zu beachten, dass die Studie im Rahmen einer bestimmten Zielgruppe (BPM Experten) durchgeführt wurde. Eine Untersuchung des Prinzips der kognitiven Eignung für eine heterogene Menge an Probanden wurde nicht durchgeführt. Zudem führt die geringe Anzahl an Stichproben zu nicht signifikanten Aussagen. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse kann deshalb nicht stattfinden, jedoch kann aus den Ergebnissen ein allgemeiner Trend abgeleitet werden.

4.5.3 Weiterführende Arbeiten zur visuellen Analyse von Geschäftsprozessen

Die in Kapitel 4.5.1 vorgestellte Methode zur flexiblen Visualisierung von Geschäftsprozessen betrachtet bisher ausschließlich die visuelle Darstellung von einzelnen Aktivitäten eines Prozessmodells. Da Aktivitäten und die für die Ausführung von Aktivitäten benötigten

Ressourcen einen großen Teil des Umwelteinflusses abdecken, deckt diese Art der Visualisierung eine Vielzahl der Analyseanforderungen ab. In bestimmten Domänen, beispielsweise dem produzierenden Gewerbe, können jedoch auch Informationen bezüglich der Kanten zwischen zwei Aktivitäten relevant sein. Die Transportwege von Waren oder Werkzeugen zwischen zwei Aktivitäten sind ein Beispiel hierfür. Auch können Dokumente, welche zwischen zwei Aktivitäten ausgetauscht werden, relevante Informationen für einen Entscheidungsträger darstellen. Weitere Informationen bezüglich verschiedener Anwendungsbeispiele aus dem produzierenden Gewerbe sind in Zor et al. zu finden [ZSL11]. Weiterführende Arbeiten umfassen deshalb die Definition weiterer Visualisierungstemplates, welche Informationen für bestimmte Zielgruppen noch besser darstellen können.

4.6 Identifikation und Auswahl von Optimierungsalternativen

Die Analyse der einem Geschäftsprozess zugeordneten KEIs dient der Identifikation von Schwachstellen und zeigt Potenziale für Verbesserungen. Das Ziel eines umfassenden Geschäftsprozessmanagements ist es, diese Erkenntnisse in Verbesserungsalternativen einzuarbeiten und dadurch die Einhaltung der Zielvorgaben einer Organisation zu verbessern. Für die Optimierung von Prozessen und der unterliegenden Infrastruktur gibt es verschiedene Möglichkeiten. Entscheidungsträger können beispielsweise auf Basisliteratur [HC94] zurückgreifen oder eigenes Erfahrungswissen und Best-Practices aus Ihrer jeweiligen Domäne einfließen lassen.

Durch die stetige Weiterentwicklung des Geschäftsprozessmanagements und der damit verbundenen Lösungsansätze bietet die Anwendung von Patterns eine gute Ausgangsposition. Allgemein beschreiben Patterns erfolgreiche Lösungen für bestimmte Problemstellungen innerhalb einer Domäne und können auf konkrete Anwendungsfälle angepasst werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die resultierenden Lösungen auch den

Zielvorgaben und -anforderungen des jeweiligen Unternehmens entsprechen.

Kapitel 5 greift diesen Pattern-basierten Ansatz auf und beschreibt verschiedene Typen von Patterns, welche die Anpassung von Geschäftsprozessen und deren Infrastruktur unter Berücksichtigung ihres Umwelteinflusses unterstützen. Darüber hinaus beschreibt Kapitel 5.5 eine Methode zur Entscheidungsunterstützung, welche die Auswahl geeigneter Patterns durch Entscheidungsträger vereinfacht.

4.7 Zusammenfassung Kapitel 4

Die Erweiterung des Geschäftsprozessmanagements um ökologische Aspekte hat weitreichende Auswirkungen auf verschiedene Bereiche eines Unternehmens. Konkrete Methoden und Lösungsansätze müssen in der Regel spezifisch auf die eigenen Zielvorgaben und Rahmenbedingungen angepasst werden. In Kapitel 3 wurden die für eine ökologisch nachhaltige Erweiterung des Geschäftsprozessmanagements erforderlichen, allgemeinen Aspekte diskutiert. Dieses Kapitel greift die grundlegenden Aspekte auf und adressiert konkrete Methoden zur Umsetzung eines *Green Business Process Managements*. Die identifizierten Methoden decken Forschungsbeitrag 2 dabei wie folgt ab:

Kapitel 4.1 beschreibt zunächst eine allgemeine Vorgehensweise zur Integration von Green BPM in ein Unternehmen. Die einzelnen Schritte dieses Vorgehensmodells sind von dem aus ökologischer Sicht erweiterten Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements abgeleitet. Die einzelnen Schritte gliedern sich in drei Hauptphasen: Die Prä-Analyse-Phase, die Analyse-Phase und die Post-Analyse-Phase. Die Prä-Analyse-Phase umfasst zunächst die in Kapitel 4.2 beschriebene Identifikation und Definition von Key Ecological Indicators (KEI). Hierbei wird auch eine Übersicht heutzutage gängiger Umweltindikatoren präsentiert. Kapitel 4.3 befasst sich anschließend mit dem Mapping von Geschäftsprozessen und

Ressourcen, welche zur Determinierung der definierten KEIs relevant sind. Das spezifizierte Ressourcenmodell bildet zusammen mit der Definition der KEIs die Ausgangsbasis für die Definition eines entsprechenden Monitoringmodells (Kapitel 4.4). Das Ziel dieses Monitoringmodells ist die Identifikation der zur Bestimmung der definierten KEIs erforderlichen Messwerte. Neben dem allgemeinen methodischen Vorgehen in Kapitel 4.4.1 zeigt Kapitel 4.4.2 eine konkrete Methode zur Definition eines Monitoringmodells für die Bestimmung des Energieverbrauchs von automatisierten Geschäftsprozessen.

Kapitel 4.5 adressiert im Anschluss die Analysephase und beschreibt eine Methode zur ökologischen Analyse von Geschäftsprozessen. Die vorgestellte Methode verwendet den Ansatz der graphischen Visualisierung und basiert auf einer Trennung der typischerweise an der Erstellung einer Prozessvisualisierung beteiligten Rollen: Prozessentwickler, Grafikdesigner und Prozesseigentümer. Durch die Einführung einer neuen Rolle, der des Information Designer, sowie der losen Kopplung von Prozess- und Visualisierungsinformationen können flexible und wiederverwendbare Visualisierungen spezifiziert werden. Die Verarbeitung der in der Analyse-Phase bereitgestellten Informationen findet in der Post-Analyse-Phase statt. Kapitel 4.6 beschreibt hierzu mögliche Ansätze in der Übersicht und verweist auf den in Kapitel 5 detailliert beschriebenen Pattern-basierten Ansatz.

PATTERN-BASIERTE OPTIMIERUNG VON GESCHÄFTSPROZESSEN

Die Optimierung von Geschäftsprozessen ist nach der Analyse eines Geschäftsprozesses der nächste Schritt und führt die gewonnenen Erkenntnisse wieder der Modellierung und Ausführung des Prozessmodells zu. In der heutigen Literatur werden für diesen Zyklus verschiedene Ansätze vorgestellt. Das klassische *Business Process Reengineering* [HC94] sowie der *kontinuierliche Verbesserungsprozess* [KK13] zählen dabei zu den bekanntesten Vertretern. Für die konkrete Umsetzung hingegen stehen eine Vielzahl verschiedener Methoden und Verfahren zur Verfügung, welche je nach Problemstellung auf ihre Eignung analysiert und spezifisch ausgewählt werden müssen. Eine Möglichkeit für die Realisierung dieser Ansätze ist die Verwendung von sogenannten Patterns (deutsch: Muster). In der Literatur wird die Arbeit von Alexander [AIS77] oft als Grundstein und Inspiration der Pattern-Bewegung gesehen. Alexander beschreibt ein Pattern als „*a problem which occurs over and over again in our environment, and then describes the core of the solution to that problem, in such a way that you can use this solution a million times over, without ever doing it the same way twice*“ [AIS77]. Obwohl sich diese Definition von Patterns auf die Architektur von Gebäuden bezieht, lässt sie sich auch auf andere Domänen anwenden. Anfang der 1990er Jahre wurden auf Basis der Arbeit von Alexander verschiedene Patterns im Bereich der (objektorientierten) Softwareentwicklung sowie im Bereich von Anwendungsarchitekturen identifiziert und dokumentiert. Zu den prägendsten Arbeiten dieser Entwicklung ge-

hören unter anderem Gamma et al. [GHJ+95], Coplien [Cop95], Hay [Hay96], sowie Riehle und Züllighoven [RZ96], später gefolgt von Fowler [Fow97][Fow03], Hohpe und Woolf [HW03] und Buschmann [BHS07].

Die zentralen Bestandteile eines Patterns sind dabei immer sehr ähnlich. Jedes Pattern verfügt über eine Problemstellung in einem bestimmten Kontext und entsprechende Herausforderungen für die Umsetzung, sowie über eine abstrakte Beschreibung eines Lösungsvorschlags, welcher für eine Vielzahl ähnlicher Anwendungsfälle angewendet werden kann. Ein Lösungsvorschlag wird dabei häufig aus Lösungen der Praxis abstrahiert. Damit stehen sie als Ratgeber mit bereits bewährten Lösungen zur Seite. Darüber hinaus ist es wichtig zu verstehen, dass ein Pattern durch seine abstrakte Beschreibung nicht einfach eins-zu-eins in jedem Anwendungsszenario angewendet werden kann. Jede Anwendung muss individuell eingeschätzt und überprüft werden, geeignete Methoden und Implementierungen müssen analysiert und entsprechend umgesetzt werden. Fowler [Fow03] beschreibt Patterns deshalb als „half-baked“ Lösungen, welche im „oven of your own project“ fertig gebacken werden müssen.

Eine Menge an Patterns, welche zur Lösung von Problemen einer bestimmten Domäne eingesetzt werden, wird auch als *Pattern Language* bezeichnet [Han12]. Die Patterns einer Patternsprache sind dabei so strukturiert, dass Anwender durch die gesamte Menge an Patterns navigieren, geeignete Patterns auswählen und die Beziehungen zwischen den verschiedenen Patterns verstehen können, um weitere, größere Problemstellungen zu lösen. Zur Unterstützung dieser Strukturierung und zur Verbesserung der Handhabung der Patterns werden diese typischerweise in einer einheitlichen Beschreibungssprache dokumentiert. Die von Alexander [AIS77] erstmals definierte Anwendung einer einheitlichen Sprache zur Beschreibung von Patterns zieht sich bis heute durch die gesamte Pattern Literatur, wenn auch in unterschiedlich starken Ausprägungen. Die einheitliche Struktur hat zwei wesentliche Vorteile: Zum einen können nicht nur die Patterns selbst, sondern auch ihre

Beziehungen zueinander dargestellt werden. Dies ermöglicht es dem Anwender, die ganze Vielfalt einer Domäne von Patterns zu erfassen und für seinen Anwendungsfall sinnvolle Kombinationen zu erstellen. Die Sprache formt damit eine Art Netzwerk, welches von einem bestimmten Startpunkt aus erforscht wird. Zum anderen vereinfacht die einheitliche Struktur das Verständnis der Patterns und erlaubt den Anwendern, sich schnell ein erstes Urteil bezüglich der Anwendbarkeit in bestimmten Szenarien zu bilden [AIS77]. Die Abhängigkeiten zwischen Patterns verdeutlicht auch, dass diese keinesfalls als Insellösungen betrachtet werden sollen. Es gibt Patterns, insbesondere in den oben genannten Bereichen, welche besonders gut zusammen eingesetzt werden können, Patterns, die unter keinen Umständen zusammen angewendet werden sollten, oder Patterns, welche in der Regel sogar nur zusammen auftreten.

Durch die Einführung verschiedener *Green Business Process Patterns* adressieren die folgenden Kapitel Forschungsbeitrag 3 und zeigen, wie diese verwendet werden können, um Geschäftsprozesse sowohl hinsichtlich der konventionellen Optimierungsdimensionen als auch hinsichtlich ihres Umwelteinflusses zu optimieren. Kapitel 5.1 führt hierzu den Begriff *Pattern* zunächst im Bereich von Geschäftsprozessen ein. Kapitel 5.2 beschreibt im Anschluss eine Methode, welche zur Identifikation der hier vorgestellten *Green Business Process Patterns* angewendet wurde. Die identifizierten Patterns werden in einer einheitlichen Beschreibungssprache dokumentiert, welche in Kapitel 5.3 beschrieben wird. Kapitel 5.4 zeigt unter Verwendung der einheitlichen Beschreibungssprache eine (unvollständige) Patternsprache für die Domäne ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse. Kapitel 5.5 zeigt anschließend, wie auf Basis der vorgestellten Patternsprache Optimierungsalternativen für Geschäftsprozesse identifiziert werden können.

5.1 Patterns und Geschäftsprozesse

Das Design und Management von Geschäftsprozessen konzentriert sich bisher weitgehend auf die Optimierungsdimensionen Kosten, Zeit, Qualität

und Flexibilität [DAH05]. Durch die langjährige Anwendung von etablierten Methoden aus der Literatur sind Unternehmen heute in der Lage, auf ein weitreichendes Erfahrungswissen innerhalb dieser Dimensionen zurückzugreifen sowie bestehende Optimierungsmethoden kontinuierlich weiterzuentwickeln. Diese wachsende Wissensbasis hat dazu geführt, dass im Bereich automatisierter Geschäftsprozesse bereits im Jahr 2000 eine erste Form von Patterns für die Gestaltung von Geschäftsprozessen identifiziert und dokumentiert wurde. Erste Arbeiten wurden von Aalst et al. vorgestellt und beschreiben Patterns für die Gestaltung des Kontrollflusses von Workflows [AHK+03]. An dieser Stelle sei erwähnt, dass diese Patterns keine Patterns im allgemeinen Sinne der Literatur darstellen. Sie beschreiben lediglich bestimmte Kontrollflusskonstrukte, ohne jedoch explizit auf den Kontext, das Problem, sowie die Herausforderungen der Anwendung eines Patterns einzugehen. Dies ist insbesondere auf den Fokus der Arbeit von Aalst et al. zurückzuführen, welcher auf der Evaluation des Funktionsumfangs existierender Workflow-Engines liegt. In weiterführenden Arbeiten folgten Patterns, welche die Daten- und Ressourcenperspektive von Workflows adressierten. Die Datenperspektive beschreibt den Umgang mit Dokumenten und Objekten, welche zwischen Aktivitäten ausgetauscht werden [Fow03][GHJ+95][RHE+05]. Die Ressourcenperspektive hingegen beschäftigt sich mit der Integration menschlicher Ressourcen in Workflows [RHE05]. Auch Casati et al. [CCF+00] verwenden Patterns, um Regeln für das Design des Kontrollflusses von Geschäftsprozessen abstrakt zu beschreiben.

In Ergänzung zum strukturellen Design von Geschäftsprozessen stellen die verwendeten Anwendungsarchitekturen sowie die eingesetzten Infrastrukturen einen weiteren signifikanten Einflussfaktor auf den Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen dar. Je ineffizienter Services und Infrastrukturen betrieben werden, desto höher ist der negative Einfluss auf die definierten ökologischen Zielvorgaben des Geschäftsprozesses. Für ein, aus funktionaler Sicht, gutes Design von Softwareartefakten und

Anwendungsarchitekturen, sind in den vergangenen Jahren bereits geeignete Patterns vorgestellt worden. Eine Auswahl dieser Patterns zeigen die Arbeiten von Fowler [Fow03], Buschmann et al. [BHS07] und Gamma et al. [GHJ+95]. Die verschiedenen Arbeiten beschreiben Patterns, welche Programmierer, Designer und Softwarearchitekten bei der Erstellung von Unternehmensanwendungen unterstützen. Die Arbeit von Hohpe und Woolf [HW03] präsentiert darüber hinaus verschiedene Patterns, welche Problemstellungen bei der Integration verschiedener Unternehmensanwendungen adressieren.

Die in der Literatur dokumentierten Patterns wurden bisher lediglich für das Design und die Optimierung von Geschäftsprozessen hinsichtlich der konventionellen Optimierungsdimensionen Kosten, Zeit, Flexibilität und Kosten angewendet. Die Konzepte und Methoden aus Kapitel 3 und Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit haben jedoch gezeigt, dass die Gestaltung von Geschäftsprozessen und der sie unterstützenden Infrastruktur auch positiven Einfluss auf die ökologische Optimierungsdimension eines Prozesses haben kann. Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten *Green Business Process Patterns* zeigen deshalb Möglichkeiten und Wege, den Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen durch die gezielte Anwendung der Patterns sowohl explizit als auch implizit zu verbessern.

Implizite *Green Business Process Patterns* beschreiben eine Erweiterung existierende Patterns, welche ursprünglich funktionalen Anforderungen an ein Prozessmodell adressierten, jedoch auch auf ökologische Problemstellungen angewendet werden können. Dies bedeutet, dass sich die Auswahl geeigneter Designansätze und -methoden positiv auf den Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses und dessen Infrastruktur einwirken kann. Wird beispielsweise die Durchlaufzeit einer Aktivität verbessert, kann auch die Nutzungsdauer der Hardwareressource reduziert werden. Damit reduziert sich zum einen der auf diese Aktivität anfallende Anteil der verbrauchten Ressourcen und zum anderen kann diese Ressource für weitere Aktivitäten freigegeben oder sogar komplett

abgeschaltet werden. Eine positive Verbesserung des Umwelteinflusses ist deshalb implizit, d.h. ohne spezifische Berücksichtigung des Umwelteinflusses.

Explizite *Green Business Process Patterns* hingegen adressieren Ansätze zur expliziten ökologischen Verbesserung von bestehenden Geschäftsprozessen und deren Infrastruktur. Explizit bedeutet in diesem Fall, dass das Design von Geschäftsprozessen nicht nur auf funktionale Kriterien und den konventionellen Optimierungskriterien ausgerichtet ist, sondern zugunsten eines verbesserten Umwelteinflusses auch davon abweichen kann. Die explizite Optimierung des Umwelteinflusses muss deshalb primär die Frage „*Wie nutze ich welche Ressourcen zu welchem Zeitpunkt?*“ adressieren. Diese Ressourcen können jedoch sehr vielfältig sein. Im produzierenden Gewerbe können dies u.a. Rohstoffe, Werkzeuge oder sonstige Hilfsmittel sein. Im Bereich der automatisierten Geschäftsprozesse können Ressourcen u.a. komplette Rechnersysteme, Festplatten oder die Elektrizität zum Betrieb der Systeme sein. Damit sind die vorgestellten *Green Business Process Patterns* immer als Querschnittsfunktion zu verstehen, welche die verschiedenen Perspektiven von Geschäftsprozessen in unterschiedlicher Intensität adressieren.

5.2 Identifikation von Green Business Process Patterns

Die Identifikation von Patterns erfolgt in der Regel durch Beobachtung und Abstraktion von bewährten Lösungsansätzen aus der Praxis. Zur Unterstützung dieses Identifikationsprozesses präsentiert Kapitel 5.2.1 ein Vorgehensmodell, welches domänenübergreifend eingesetzt werden kann. Die Anwendungsdomäne der vorliegenden Arbeit beschränkt sich jedoch auf den Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen. Innerhalb dieser Domäne ermöglicht das Vorgehensmodell die Identifikation sowohl expliziter als auch impliziter Patterns. Das Vorgehensmodell nutzt hierfür domänenspezifische Charakteristika, welche die Auswirkungen auf Geschäftsprozesse bei der Anwendung von Patterns näher spezifizieren.

5.2.1 Übersicht des Vorgehensmodells

Abbildung 30 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells. Im Gegensatz zu den aus der Literatur bekannten Ansätzen zur Identifikation von Patterns [Han12][II12][MD97][WF11], unterstützt dieses Modell nicht nur die Identifikation von expliziten Patterns (siehe durchgezogene Pfeile), sondern auch von impliziten Patterns (siehe Erweiterung durch gestrichelte Pfeile). Explizite Patterns adressieren dediziert Lösungsansätze für bestimmte Problemstellungen. Unter impliziten Patterns hingegen versteht man die Übertragung von existierenden Lösungsansätzen (d.h. existierenden Patterns) auf eine neue Domäne, für welche die Anwendung der Patterns nicht vorgesehen war. Für beide Arten von Patterns muss zunächst die Domäne ausgewählt und *Domänenwissen* aufbereitet und extrahiert werden. Dies kann entweder auf Basis eigener Erfahrungen, externer Arbeiten und Projekte oder auch auf Basis der verfügbaren Literatur erfolgen. Sind in dieser Domäne bereits existierende Patterns vorhanden, so können auch diese einen wertvollen Beitrag zum Domänenwissen leisten.

Auf Basis des gegebenen *Domänenwissens* sowie der *existierenden Patterns* einer bestimmten Domäne können verschiedene spezifische Charakteristika identifiziert werden (*Identifikation von spezifischen Charakteristika*), welche die typischen Eigenschaften einer Domäne detailliert beschreiben. Das Ziel der Anwendung dieser Eigenschaften ist es, Patterns zu identifizieren, welche eine Verbesserung dieser spezifischen Charakteristika erzielen können. Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingeführten Green Business Process Patterns muss demnach ermittelt werden, wie der Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen abgebildet werden kann und welche Komponenten, beispielsweise die Prozessstruktur oder die unterstützenden Ressourcen, beeinflusst werden können. Weitere Informationen zu den für diese Arbeit identifizierten und verwendeten Charakteristika werden in Kapitel 5.2.2 beschrieben.

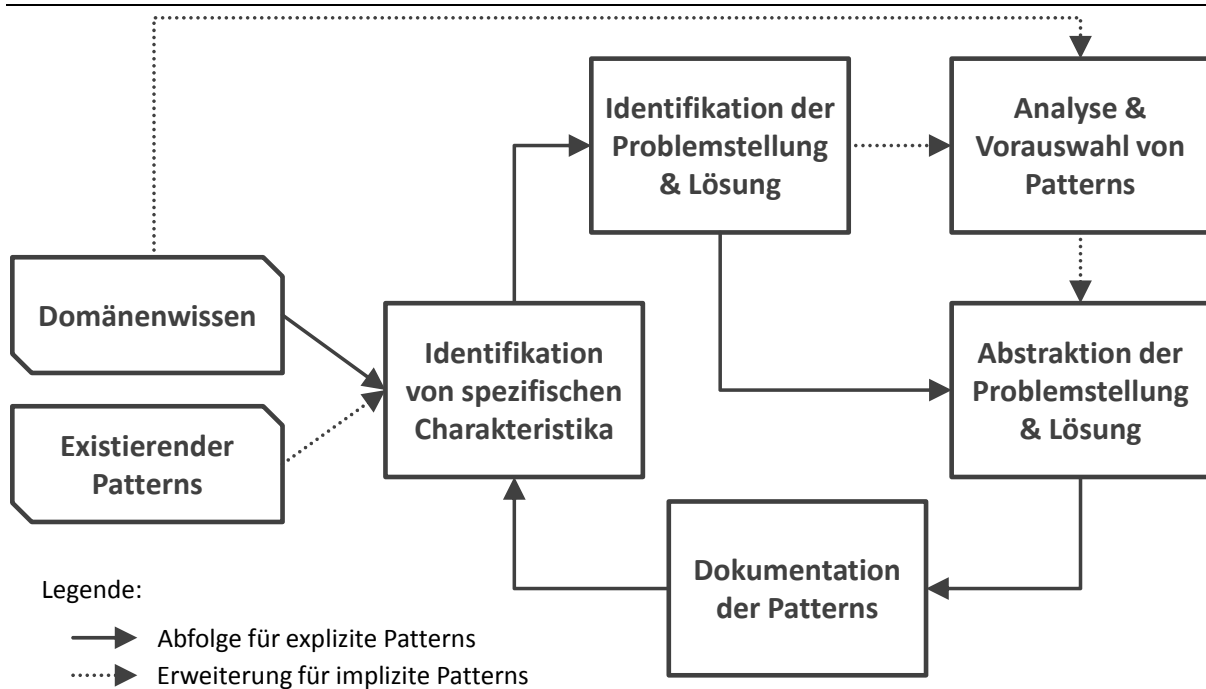


Abbildung 30: Vorgehensmodell zur Identifikation von Patterns

In der nächsten Phase *Identifikation der Problemstellung & Lösung* werden die identifizierten Charakteristika dazu verwendet, konkrete Problemstellungen und Lösungsansätze innerhalb der betrachteten Domäne zu erfassen. Dazu sollten stets die Auswirkungen auf die erarbeiteten Charakteristika betrachtet werden, um möglichst zielorientierte Lösungsansätze zu identifizieren. Bei der Identifikation von impliziten Patterns muss innerhalb der definierten Domäne zusätzlich eine Menge potentiell geeigneter Patterns ausgewählt werden (*Analyse und Vorauswahl von Patterns*). Das Ergebnis kann eine heterogene Menge an Patterns sein, welche ursprünglich für eine Vielzahl verschiedener Domänen beschrieben wurden. Die Auswahl dieser Patterns muss an dieser Stelle noch nicht sehr detailliert oder final sein. Vielmehr ist es wichtig, eine möglichst große Menge potentieller Patterns zu identifizieren, um verschiedene Lösungsansätze vergleichbar zu machen.

Die anschließende Abstraktion der Problemstellungen und Lösungsansätze ist Teil der Phase *Abstraktion der Problemstellung & Lösung*. Für die Beschreibung von expliziten Patterns erfolgt die Abstraktion auf Basis der ermittelten Problemstellungen und Lösungsansätze dieser Domäne. Im

5.2 | Identifikation von Green Business Process Patterns

Fälle von impliziten Patterns werden zusätzlich die Informationen aus der Vorauswahl existierender Patterns herangezogen. Das Ergebnis der Abstraktion kann entweder eine Variante eines existierenden Patterns oder aber neue Patterns hervorbringen. Das Ziel der identifizierten Patterns ist es, die definierten Charakteristika möglichst optimal durch entsprechende Lösungsansätze abzudecken.

Die letzte Phase *Dokumentation der Patterns* des Vorgehensmodells umfasst die Dokumentation der identifizierten Patterns oder der Patternvarianten. Hierzu muss zunächst eine geeignete Beschreibungssprache definiert werden. Diese kann allgemein auf den Ausführungen der existierenden Pattern Literatur basieren oder sich an der Beschreibungssprache der ursprünglich untersuchten Patterns orientieren. Insbesondere bei der Erfassung impliziter Patterns ist darauf zu achten, dass der Kontext des Patterns, die Problemstellungen und die mit der Anwendung verbundenen Herausforderungen sowie der Lösungsansatz auf die neue Domäne angepasst oder erweitert werden. Ein Beispiel für eine einheitliche Beschreibungssprache für Patterns ist in Kapitel 5.3 dargestellt.

Abbildung 30 zeigt zudem eine Rückkopplungsschleife zwischen den Phasen *Dokumentation der Patterns* und *Identifikation von spezifischen Charakteristika*. Die Intention dieser Schleife basiert auf zwei Aspekten: (1) Die identifizierten Patterns stellen Lösungswissen bereit, welches wiederum bei der Identifikation neuer Patterns, auch in verschiedenen Domänen, angewendet werden kann. (2) Die identifizierten Patterns sowie neue Erkenntnisse innerhalb eines Domänenwissens können zu verbesserten spezifischen Charakteristika führen, welche die Auswirkungen der Patterns innerhalb einer Domäne besser beschreiben. Dies erlaubt insbesondere bei der Identifikation von impliziten Patterns die Berücksichtigung neuer Domänen oder Patternsprachen, welche zu neuen Patterns oder Patternvarianten einer Domäne führen können.

5.2.2 Charakteristika aus der Domäne ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse

Geschäftsprozesse in Unternehmen werden durch spezifische Prozessmodelle definiert, welche die Ausführungsreihenfolge der beinhaltenden Aktivitäten anhand der strategischen Ziele des Unternehmens festlegen. Jede dieser Aktivitäten greift bei der Ausführung auf verschiedene Ressourcen zu, welche die korrekte Ausführung der jeweiligen Aktivität sicherstellen. Die von einem Prozess verwendeten Ressourcen können dabei sehr vielfältig sein und umfassen beispielsweise Rohstoffe, Hilfs- und Betriebsstoffe, Festplatten, Elektrizität oder aber weitere Prozesse und Services. Um eine umfangreiche Ausgangsbasis für die Identifikation spezifischer Charakteristika aus der Domäne Green Business Processes zu schaffen, müssen zwei Aspekte betrachtet werden: (1) Welche Ressourcen können aus unternehmens- und umweltpolitischer Sicht für die Erreichung der Zielvorgaben einer Aktivität verwendet werden und (2) auf welche Art und Weise können diese Ressourcen verwendet werden, um eine möglichst effiziente Nutzung sicherzustellen.

Um diese Aspekte möglichst umfangreich abzudecken, verwendet diese Arbeit die von Jablonski und Bussler [JB96] eingeführten Perspektiven des Workflow Managements. Dabei wird insbesondere der Einfluss dieser Perspektiven auf ihren möglichen Umwelteinfluss betrachtet. Die angewendeten Perspektiven werden im Folgenden beschrieben.

Prozessperspektive: Die Prozessperspektive beschreibt den Kontrollfluss eines Geschäftsprozesses, d.h., sie definiert die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Aktivitäten ausgeführt werden. Typischerweise wird diese durch eine graphische Repräsentation des Prozessmodells abgebildet, beispielsweise in BPMN [OMG13]. Je nach Definition des Kontrollflusses können Prozesse einen aus ökologischer Sicht unterschiedlichen Umwelteinfluss aufweisen. Beispielsweise weisen Prozessmodelle, welche viele verschiedenen Rollen und Akteure und einen entsprechend häufigen Kontextwechsel beinhalten, einen höheren negativen Umwelteinfluss auf

als Geschäftsprozesse mit wenigen Rollen und beteiligten Akteuren. Dies liegt daran, dass Informationen mehrfach übertragen, zwischengespeichert und gegebenenfalls auf unterschiedlichen Ressourcen verarbeitet werden müssen. Zudem kann es vorteilhaft sein, den Kontrollfluss eines Prozessmodells so zu strukturieren, dass auf bestimmte Ressourcen nur gebündelt zugegriffen wird. Dadurch können Ressourcen effizienter genutzt werden, da diese für eine kürzere Dauer allokiert oder länger im Stand-by verbleiben können.

Datenperspektive: Die Datenperspektive beschreibt die Struktur der Datenobjekte eines Geschäftsprozesses sowie die Art, wie diese Datenobjekte mit dem Prozessmodell assoziiert sind. Beide Aspekte können Auswirkungen auf den Umwelteinfluss des entsprechenden Geschäftsprozesses haben. Die Struktur eines Datenobjekts beeinflusst beispielsweise, welche Daten einem Prozess in welchem Umfang bereitgestellt werden, d.h., ob unnötigerweise zu viele Daten, ob ein angemessener Umfang an Daten oder ob zu wenige Daten bereitgestellt werden, welche während der Prozessausführung nachgefordert werden müssen. Auch die Art der Assoziation von Datenobjekten an Geschäftsprozesse kann Auswirkungen auf den Umwelteinfluss herbeiführen. Beispielsweise kann ein automatisierter Geschäftsprozess eine Aktivität des Prozessmodells innerhalb einer Ausführungsinstanz mehrmals aufrufen. Ist die Aktivität zustandslos implementiert, muss der gesamte Ausführungskontext (beziehungsweise das den Kontext repräsentierende Datenobjekt) der Aktivität bei jedem Aufruf explizit übergeben werden. Ist die Aktivität hingegen zustandsbehaftet, muss unter Umständen nicht das gesamte Datenobjekt bei jedem Aufruf übergeben werden. Dies vermindert den Datentransfer und führt damit zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs.

Organisationsperspektive: Die Organisationsperspektive beschreibt die Rollen und organisatorischen Einheiten eines Geschäftsprozesses. Dies umfasst sowohl externe Rollen, d.h. außerhalb der Organisation, als auch interne Rollen. Die Anzahl der in einem Geschäftsprozess beteiligten

Akteure hat Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit von Prozessen. Bei der Ausführung von Geschäftsprozessen kann ein häufiger Wechsel der Rollen oder der organisatorischen Einheiten beispielsweise zu einem negativen Einfluss auf die ökologische Nachhaltigkeit des Prozesses führen. Ähnlich wie in der Datenperspektive muss der Kontext (Daten, Waren, Rohstoffe, etc.) bei jedem Wechsel der Rolle oder organisatorischen Einheit entsprechend bereitgestellt werden. Aus einer ökologischen Perspektive bedeutet dies, dass die Auswahl der Rollen und Kollaborationspartner sowie deren Integration einen noch zentraleren Aspekt als beim Design konventioneller Geschäftsprozesse einnimmt.

Ressourcenperspektive: Die Ressourcenperspektive beschreibt, welche Arten von Ressourcen für die Ausführung eines Geschäftsprozesses verwendet werden. Da der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses stark auf den verwendeten Ressourcen basiert, ist diese Perspektive auch aus ökologischer Sicht relevant. Ressourcen sind beispielsweise Menschen, Maschinen, Rohstoffe, Hilfsstoffe, Wasser, Elektrizität, etc. In Abhängigkeit der verwendeten Ressourcen können unterschiedliche Grade von Umweltbelastungen eines Geschäftsprozesses erreicht werden. Innerhalb der IT kann es beispielsweise vorteilhaft sein, in bestimmten Szenarien Thin-Clients oder erneuerbare Energien zu verwenden. Ein weiteres Beispiel ist die Zentralisierung von Ressourcen. Durch Ausnutzung von Skaleneffekten oder der gebündelten Ausführung von Aktivitäten eines Geschäftsprozesses kann verhindert werden, dass Ressourcen unnötig allokiert werden oder Server ihren Zustand zu oft ändern müssen.

Ausführungsperspektive: Die Ausführungsperspektive beschreibt, wie die einzelnen Bestandteile eines Geschäftsprozesses bei der Ausführung verwendet werden. Diese Verwendung kann beispielsweise durch eine Skriptsprache repräsentiert werden und definiert, wie externe Anwendungen aufgerufen werden. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Ausführungsperspektive stark von der Daten- und Ressourcenperspektive abhängig ist. Beispielsweise kann eine ökologische

5.2 | Identifikation von Green Business Process Patterns

Kompensationsaktivität als Teil des Aufrufs einer bestimmten Aktivität eines Geschäftsprozesses implementiert werden (siehe Green Compensation Pattern). Dadurch wird bei jedem Aufruf ein bestimmter Anteil des negativen Umwelteinflusses durch diese ökologische Kompensationsaktivität neutralisiert.

Integrationsperspektive: Die Integrationsperspektive beschreibt, wie die verschiedenen Perspektiven zusammengeführt werden können. Typischerweise ist das Ergebnis dieser Integration eine hierarchische Anordnung von Prozessen und Aktivitäten. Für die Optimierung des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen kann diese explizite Darstellung der Abhängigkeiten zu weiteren Informationen über das Zusammenspiel von Prozessen und Aktivitäten (und der entsprechenden Ressourcen) führen. Beispielsweise können Prozessverantwortliche die Ausführung von Geschäftsprozessen unter dem Gesichtspunkt einer optimalen Verteilung, sowie einer gemeinsamen Nutzung von Ressourcen koordinieren.

Die Betrachtung der verschiedenen Perspektiven zeigt, dass jede Perspektive einen individuellen Einfluss auf den Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses hat. Für die Identifikation geeigneter Patterns folgt diese Arbeit deshalb der Annahme, dass Patterns welche diese Dimensionen aus ökologischer Sicht adressieren auch eine Relevanz in der Verbesserung des negativen Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen haben. Die Abstraktionen in der Beschreibung von Patterns führen jedoch dazu, dass die Auswirkungen auf diese Perspektiven bei der Anwendung eines Patterns stark vom Anwendungsszenario abhängen und individuell analysiert werden müssen.

Im Rahmen der Identifikation der in Kapitel 5.4 vorgestellten *Green Business Process Patterns* wurde sowohl das entsprechende Domänenwissen ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse als auch Patterns aus weiteren Domänen vor dem Hintergrund ihres umweltrelevanten Einflusses auf die vorgestellten Perspektiven untersucht.

Jedes Pattern adressiert jeweils eine oder mehrere der Perspektiven. Dadurch wird sichergestellt, dass die Anwendung der Patterns eine zielgerichtete Verbesserung des negativen Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen sicherstellen kann.

5.3 Ein Beschreibungsformat für Green Business Process Patterns

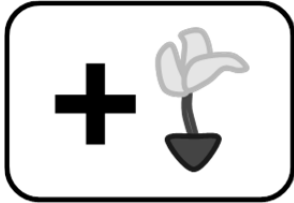
Green Business Process Patterns dienen in erster Linie dem nachhaltigen Design von Geschäftsprozessen. Um die Patterns in möglichst vielen Anwendungsszenarien einsetzen zu können, werden diese in einer abstrakten Form dokumentiert. Um eine gute Lesbarkeit und eine Verbesserung des Verständnisses über verschiedene Anwendergruppen hinweg sicherzustellen, wird zur Beschreibung der Patterns ein einheitliches Format definiert. Dieses Format erlaubt nicht nur die einheitliche Strukturierung der einzelnen Aspekte eines Patterns, sondern ermöglicht auch, Beziehungen zwischen verschiedenen Patterns darzustellen. Diese Relationen zwischen Patterns ermöglichen Anwendern, durch eine Menge von Patterns zu navigieren und die für einen bestimmten Anwendungsfall geeigneten Patterns zu identifizieren. Die Relationen beschreiben beispielsweise, welche Patterns in Kombination miteinander angewendet werden können, ob es weitere Alternativen zu einem bestimmten Pattern gibt, oder ob sich Patterns gegenseitig ausschließen.

Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Beschreibungssprache basiert auf der Struktur verschiedener Patternsprachen aus der Literatur [AIS77][GHJ+95][MD97][RZ96] und setzt sich aus einer Kombination dieser Ansätze zusammen. Sie wird im Folgenden vorgestellt:

Pattern Name: Jedes Pattern verfügt über einen Namen, welcher das Pattern innerhalb seiner Sprache eindeutig identifiziert.

Ziel: Das Ziel beschreibt in stark verkürzter Weise, welche Problemstellung durch dieses Pattern adressiert wird. Dadurch lässt sich

schnell feststellen, ob ein Pattern für einen bestimmten Anwendungsfall relevant ist.



Piktogramm: Das Piktogramm stellt eine einfache graphische Repräsentation eines Patterns dar. Die Intention des Piktogramms ist die Verbesserung der Wiedererkennbarkeit eines Patterns sowie die einfache Identifikation und Referenzierung eines Patterns in Diskussionen und Anwendermeetings.

Kontext: Der Kontext beschreibt in übersichtlicher Form das vorgesehene Anwendungsgebiet eines Patterns und dient damit der allgemeinen Einordnung des Patterns in eine Problemstellung.

Problemstellung: Die Problemstellung beschreibt die zentralen Probleme, welche durch die Anwendung des Patterns adressiert werden, und dient der Verfeinerung des allgemeinen Kontexts. Zudem werden die Herausforderungen aufgezeigt, welche durch die unterschiedlichen inneren und äußeren Einflüsse bei der Anwendung von Lösungsvorschlägen relevant sein können. Es wird auch gezeigt, warum bestimmte Lösungsvorschläge unter Umständen nicht ausreichend sind oder direkt angewendet werden können.

Lösung: Der Lösungsabschnitt beschreibt den abstrakten Lösungsansatz eines Patterns innerhalb des gegebenen Kontexts und zeigt, wie die einzelnen Herausforderungen adressiert werden. Die Lösung beschreibt dabei nur das allgemeine Vorgehen, ohne jedoch auf konkrete Realisierungs- und Implementierungsdetails zu verweisen. Die Umsetzung muss daher individuell auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden.

Lösungsskizze: Durch ihre graphische Repräsentation dient die Lösungsskizze hauptsächlich der schnellen Erfassung der vorgestellten Lösung. Innerhalb einer Lösungsskizze werden zur Darstellung der Lösung die in Abbildung 31 dargestellten Symbole verwendet. Basierend

auf dieser Notation werden Geschäftsprozesse wie folgt dargestellt: Aktivitäten werden durch eine einfache Kreisform dargestellt. Sollen bestimmte Typen von Aktivitäten hervorgehoben werden, so wird diese Standardform in der oberen linken Ecke durch weitere kleine Symbole ergänzt. Der Kontrollfluss zwischen zwei Aktivitäten wird durch eine einfache, gerichtete Kante dargestellt.



Abbildung 31: Graphische Symbole der Lösungsskizzen

In einigen Fällen sind nicht nur die Aktivitäten eines Geschäftsprozesses, sondern auch dessen verwendete Ressourcen von Interesse. Hardware-Ressourcen werden beispielhaft durch Computersymbole, Software-Ressourcen durch Anwendungskomponenten dargestellt. Diese sind durch gestrichelte, ungerichtete Kanten mit Aktivitäten assoziiert. Eine Ausnahme der Ressourcendarstellungen sind Datenbanken, Datenobjekte und Queues, welche durch dedizierte Symbole dargestellt werden.

Um auch die potentiellen Verbesserungen des negativen Umwelteinflusses innerhalb der Lösungsskizzen darzustellen, werden kleine Baum-Symbole verwendet, welche an Aktivitäten oder Ressourcen annotiert werden. Zudem wird die Linienfarbe dieser Elemente auf Grün geändert. Dadurch lassen sich die optimierten Bereiche schnell und einfach erkennen.

Ergebnis: Das Ergebnis der Anwendung eines Patterns wird in diesem Abschnitt beschrieben. Das Ergebnis zeigt auf der einen Seite, welche strukturellen Änderung die Anwendung eines Patterns mit sich bringt und auf der anderen Seite, wie sich ein Geschäftsprozess nach der Anwendung verhält.

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Beispiele: Der Abschnitt Beispiele beschreibt verschiedene Anwendungsszenarien des in einem Pattern beschriebenen Lösungsansatzes. Dabei kann es sich entweder um konkrete Beispiele aus der Praxis oder aus der Fachliteratur handeln.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieser Abschnitt zeigt die Beziehungen, welche zwischen verschiedenen Patterns auftreten können. Damit wird definiert, welche Patterns in Kombination miteinander angewendet werden können, ob es weitere Alternativen zu einem bestimmten Pattern gibt oder ob sich Patterns gegenseitig ausschließen.

Betrachtet man die referenzierte Literatur existierender Patternsprachen, so stellt man fest, dass ein Pattern neben der Problemskizze teilweise auch einen expliziten *Treiber* beinhaltet. Dieser Treiber beschreibt verschiedene Metainformationen bezüglich des Sachverhalts und des Problembereichs von Anwendern und warum für diese Anwendergruppe der Einsatz eines bestimmten Patterns sinnvoll ist. Da die hier vorgestellten Patterns alle dasselbe Ziel, die Verbesserung des negativen Umwelteinflusses eines Geschäftsprozesses, adressieren, werden diese expliziten Treiber in der vorliegenden Arbeit lediglich zusammengefasst dargestellt. Die Analyse verschiedener Anwendungsszenarien der in den Patterns beschriebenen Lösungsansätze hat gezeigt, dass es sich dabei schwerpunktmäßig um folgende Punkte handelt: (1) steigende Kosten für Energie und Rohmaterial, (2) gesetzliche Auflagen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und (3) das öffentliche Erscheinungsbild eines Unternehmens gegenüber den Kunden.

5.4 Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Eine Patternsprache bezeichnet eine Menge von Patterns und ihre Beziehungen zueinander, welche zur Lösung eines Problems innerhalb einer bestimmten Domäne eingesetzt werden [Han12]. Die Patterns innerhalb einer Sprache sind durch ihre Beziehungen so strukturiert, dass potentielle Anwender durch die in der Sprache definierte Menge an Patterns navigieren können. Dies ermöglicht die Auswahl der für einen

Anwendungsfall passenden Patterns sowie die Verbesserung des Verständnisses der Relationen zwischen Patterns.

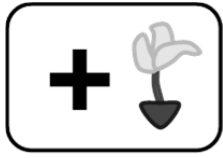

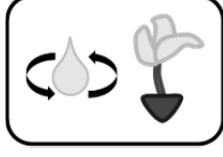

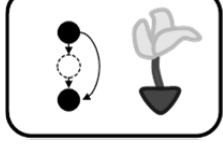
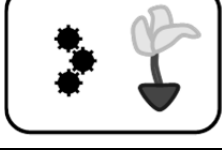
Die in diesem Kapitel vorgestellten *Green Business Process Patterns* wurden anhand des in Kapitel 5.2 beschriebenen Vorgehensmodells identifiziert und folgen dem Beschreibungsformat aus Kapitel 5.3. Die verschiedenen Patterns umfassen sowohl explizite als auch implizite Anwendungsbeispielen (siehe Kapitel 5.1). Explizite Patterns basieren auf Lösungsansätzen, welche von den analysierten Unternehmen auf ihre jeweiligen Geschäftsprozesse angewendet werden, um Produkte oder Services bewusst nachhaltiger zu gestalten. Zusätzlich zu dieser expliziten Form des nachhaltigen Geschäftsprozessdesigns wurden auch konventionelle Optimierungs- und Designansätze von Geschäftsprozessen und Anwendungsarchitekturen hinsichtlich ihrer Eignung für eine ökologisch nachhaltige Optimierung von Geschäftsprozessen untersucht. Die Eignung wurde auf Basis der in Kapitel 5.2.2 identifizierten Prozesscharakteristika bestimmt.

Die Dokumentation der Patterns folgt dem in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungsformat. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die in diesem Kapitel vorgestellte Patternsprache nicht als vollständig angesehen wird. Die Patterns repräsentieren das Ergebnis einer initialen Analyse und Abstraktion der untersuchten Produkte und Services verschiedener Unternehmen (u.a. [Bas14][DHL13][DB13][Fen14][Fir14][Swi14][Tch14]), der Literatur im Bereich des allgemeinen [HC94][LR00][Wes07] und des nachhaltigen Geschäftsprozessmanagements [ACL+08][CFF+2011][HGL10], eigener Forschungsergebnisse im Themengebiet Green IT und der Analyse von Geschäftsprozessen [NLM10][SLS10][SAL+10a] sowie existierender Patterns aus den Bereichen Workflow Management [AHK+03], Enterprise Application Architecture [Fow03] und Cloud Computing [FLR+13].

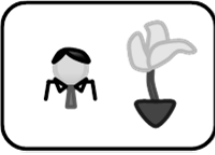

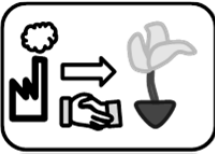
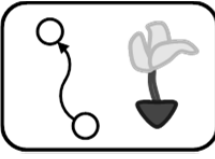
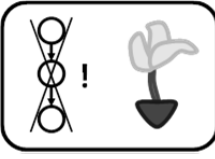
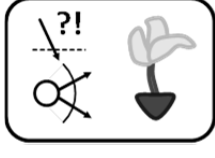
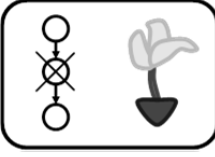
5.4.1 Übersicht und Kategorisierung

Tabelle 14 zeigt eine Übersicht der identifizierten *Green Business Process Patterns*. Die Übersicht beinhaltet das Piktogramm, den Pattern Namen sowie das Ziel des Patterns und ermöglicht dadurch eine schnelle Übersicht und einen Einstieg in die Patternsprache.

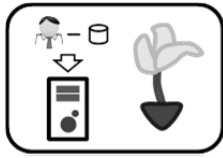
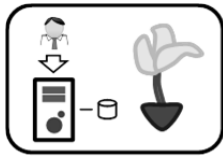
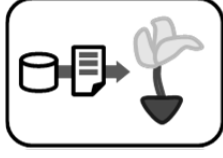

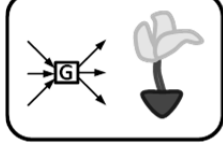

Tabelle 14: Übersicht der Green Business Process Patterns

Piktogramm	Name	Ziel
Explizite Green Business Process Patterns		
	Green Compensation	Kompensierung des negativen Umwelteinflusses ohne Anpassung der Prozessstruktur, der verwendeten Ressourcen und des Verhaltens eines Prozesses.
	Green Variant	Einführung einer alternativen Prozessvariante ohne Anpassung des originalen Prozessmodells.
	Green Resource Change	Substitution der von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur.
	Green Feature	Anpassung der Erscheinungsform eines Produkts oder Services durch die Einführung ökologisch sichtbarer Merkmale.
	Common Process Improvement for Environmental Aspects	Anwendung konventioneller Optimierungsmethoden zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeitsperspektive.
	Process Automation	Optimierung des Umwelteinflusses durch die Automatisierung von Aktivitäten.

5 | Pattern-basierte Optimierung von Geschäftsprozessen

Piktogramm	Name	Ziel
	Human Process Performance	Optimierung des Umwelteinflusses durch die manuelle Ausführung von Aktivitäten.
	Insourcing	Reduzierung des Kommunikationsaufwands von Prozessen und Aktivitäten durch Zentralisierung der einzelnen Komponenten.
	Outsourcing	Reduzierung des Umwelteinflusses durch Anpassungen der Kollaborationsbeziehungen sowie der Ausnutzung von Skaleneffekten.
Implizite Green Business Process Patterns: Workflow Patterns		
	Green Control Flow	Einsatz von geeigneten Kontrollflusskonstrukten zur Verbesserung der Effizienz der Ressourcennutzung während der Ausführung eines existierenden Prozesses.
	Green Explicit Termination	Explizite Terminierung von Subprozessen während der Ausführungszeit, sobald diese nicht mehr benötigt werden, zur Reduktion der Menge allozierter Ressourcen.
	Green External Choice	Nutzung externer Umweltinformationen zur Steuerung eines Prozesses.
	Green Cancel Activity	Terminierung von Aktivitätsinstanzen, welche nicht länger für die Ausführung des Prozesses relevant sind, um Ressourcen einzusparen.

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Piktogramm	Name	Ziel
Implizite Green Business Process Patterns: Enterprise Application Architecture		
	Green Client Session State	Vorhalten von Kontextinformationen auf Client Seite und Nutzung zustandsloser Ressourcen zur Optimierung der Anzahl von Ressourcen und ihrer Effizienz.
	Green Database Session State	Vorhalten von Kontextinformationen in einer Datenbank zur Reduktion der Kommunikation zwischen Client und Server sowie zur Nutzung zustandsloser Ressourcen.
	Green Data Transfer Object	Definition von spezifischen Datenobjekten zur Optimierung von Systemaufrufen und Reduzierung der Last von Ressourcen.
	Green Lazy Load	Vermeidung des Ladens von möglicherweise nicht benötigten Daten im Voraus.
	Green Gateway	Zentrale Verwaltung der Zugriffe auf externe Systeme oder Ressourcen, um die Gesamtanzahl der Zugriffe zu minimieren und die Ressourcenauslastung zu verbessern.
Implizite Green Business Process Patterns: Cloud Computing		
	Green Public Cloud	Verwendung von externen Cloud Computing Ressourcen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz.

5 | Pattern-basierte Optimierung von Geschäftsprozessen

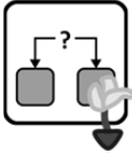
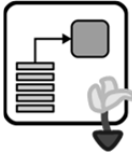


Piktogramm	Name	Ziel
	Green Loose Coupling	Minimierung der Beziehungen zwischen verschiedenen Komponenten, um Abhängigkeiten zu spezifischen Ressourcen zu minimieren.
	Green Batch Processing Component	Verzögerung und Bündelung der Verarbeitung von Anfragen, basierend auf internen und externen Anforderungen, um die Bereitstellung und Auslastung von Ressourcen zu optimieren.
	Green Eventual Consistency	Reduzierung des Synchronisationsaufwands bei der Verteilung von Daten auf mehrere Komponenten.
	Green Shared Component	Gleichzeitige Nutzung von Anwendungskomponenten für mehrere Kunden zur Verbesserung der Ressourceneffizienz.

Tabelle 15 zeigt zudem eine Übersicht der Beziehungen zwischen den einzelnen Patterns.

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Tabelle 15: Allgemeine Beziehungen zwischen Green Business Process Patterns

	Green Control Flow	Green Explicit Termination	Green External Choice	Green Cancel Activity	Green Client Session State	Green Database Session State	Green Data Transfer Object	Green Lazy Load	Green Gateway	Green Public Cloud	Green Loose Coupling	Green Batch Processing	Green Eventual Consistency	Green Shared Component	Green Compensation	Green Variant	Green Resource Change	Green Feature	Common Process Improvement	Process Automation	Human Process Performance	Insourcing	Outsourcing
Green Control Flow																							
Green Explicit Termination	X																						
Green External Choice	X																						
Green Cancel Activity	X	X	X																				
Green Client Session State																							
Green Database Session State					X																		
Green Data Transfer Object	X																						
Green Lazy Load			X			X																	
Green Gateway	X	X			X	X																	
Green Public Cloud		X		X	X	X																	
Green Loose Coupling	X	X	X	X				X	X														
Green Batch Processing			X					X	X	X													
Green Eventual Consistency						X			X		X												
Green Shared Component	X					X			X														
Green Compensation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Green Variant	X	X		X	X					X					X								
Green Resource Change				X	X				X	X	X	X	X	X	X	X							
Green Feature								X							X	X							
Common Process Improvement	X	X	X	X			X								X	X							
Process Automation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Human Process Performance	X	X	X	X											X	X	X	X	X				
Insourcing	X		X		X	X	X								X	X	X		X	X	X		
Outsourcing	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X			

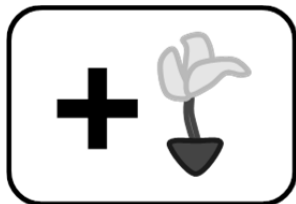
Jedes „X“ deutet an, dass die entsprechenden Patterns in Beziehung zueinander stehen und entweder in Kombination, als Alternative oder Ergänzung angewendet werden können. Die jeweilige Ausprägung der Beziehung hängt vom konkreten Anwendungsfall ab und kann nicht verallgemeinert werden. Deshalb ist Tabelle 15 auch nicht als vollständig anzusehen und weitere Beziehungen können je nach Anwendungsfall ergänzt werden. Dadurch ist auch zu beachten, dass es sich nicht um eine vollständige Patternsprache handelt. Die Angabe der verschiedenen Beziehungen ist zudem bidirektional und gibt damit nicht explizit vor, in

welcher zeitlichen Reihenfolge eine Menge von Patterns angewendet werden muss. Aufgrund der Abstraktion konkreter Problemstellungen muss diese Entscheidung für jeden Anwendungsfall individuell getroffen werden.

5.4.2 Explizite Green Business Process Patterns

Dieses Kapitel beschreibt verschiedene explizite Green Business Process Patterns, welche aus Lösungsansätzen zur direkten Adressierung der Verbesserung des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen abstrahiert wurden. Die beschriebenen Patterns werden in der in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungssprache dokumentiert und berücksichtigen die in Kapitel 5.2.2 aufgezeigten Charakteristika von ökologischen Geschäftsprozessen.

EP1: Green Compensation



Verbesserung des negativen Umwelteinflusses ohne Anpassung der Prozessstruktur, der verwendeten Ressourcen und des Verhaltens eines Prozesses.

Kontext: Ein Unternehmen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern, ohne die Struktur, die Services oder die Infrastruktur dieser Prozesse zu verändern.

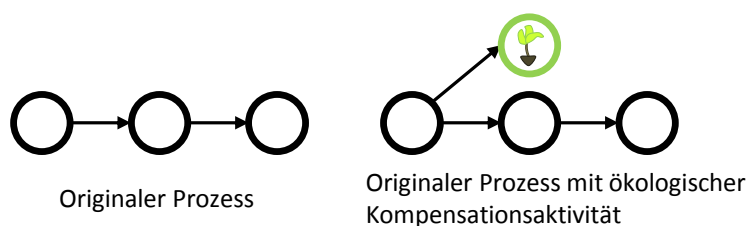
Problemstellung: Unternehmen beschreiben ihre Prozesse hinsichtlich verschiedener funktionaler Zielvorgaben und evaluieren alternative Prozessstrukturen, um potentielle Optimierungsstrategien zu identifizieren. Diese funktionale Ausrichtung stellt die Erreichung der Unternehmensziele sicher. Bei der Integration ökologischer Zielvorgaben kann es jedoch Prozesse geben, welche aufgrund interner Unternehmensrichtlinien, gesetzlicher Regulierungen oder sonstigen Beschränkungen nicht angepasst oder geändert werden dürfen. Die

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Herausforderung hierbei ist es, eine Lösung zu finden, welche den Umwelteinfluss dieser Geschäftsprozesse verbessert, ohne jedoch den eigentlichen Prozess zu verändern. Ohne eine nach außen sichtbare Veränderung des Geschäftsprozesses können die Auswirkungen der Optimierung auf Kunden und andere Akteure jedoch sehr limitiert sein.

Lösung: Wird ein Prozess oder eine spezifische Aktivität eines Prozesses, welcher nicht verändert werden kann oder soll, instanziiert, so wird auch ein ökologischer Kompensationsprozess oder eine ökologische Kompensationsaktivität instanziiert. Der Kompensationsprozess oder die Kompensationsaktivität wird verwendet, um interne oder externe Services aufzurufen, welche den Umwelteinfluss des originalen Prozesses ganz oder teilweise kompensieren. Hierzu muss der Umwelteinfluss entsprechend quantifiziert werden, beispielsweise durch Definition der entsprechenden CO₂ Äquivalente. Um die Sichtbarkeit nach außen zu verbessern und gegenüber Kunden eine vertrauenswürdige Kompensationsstrategie bereitzustellen, können für die Kompensation zudem geeignete Zertifikate, beispielsweise von Umweltorganisationen, verwendet werden.

Lösungsskizze:



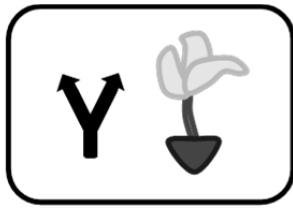
Ergebnis: Obwohl der originale Prozess nicht verändert wurde, wird der Umwelteinfluss durch die Anwendung dieses Patterns aus globaler Sicht verbessert. Die negativen Einflüsse des Ausgangsprozesses werden zwar nicht beseitigt, jedoch durch positive Einflüsse eines anderen Prozesses oder einer Aktivität kompensiert. Durch die geeignete Nutzung von Umweltzertifikaten kann diese Wirkung sogar noch verstärkt werden.

Beispiele: Ein Beispiel ist die Kompensation der CO₂-Emissionen, welche durch Verbrennungsmotoren in Automobilen entstehen. Der Mineralölkonzern JET bietet seinen Kunden deshalb ein entsprechendes Nachhaltigkeitsprogramm an. Dieses Programm kompensiert die CO₂-Emissionen, welche durch den Treibstoff jeder Tankung verursacht werden, beispielsweise durch Investitionen in erneuerbare Energien [Jet14]. Die Deutsche Bahn [DB13] nutzt ebenfalls ein Nachhaltigkeitsprogramm, bei welchem die CO₂-Emissionen ihrer Kunden durch Umweltprojekte kompensiert werden. Jedes Unternehmen kann hierfür auf unterschiedliche Dienstleistungen, wie beispielsweise von MyClimate [Swi14], zurückgreifen.

Auch spezialisierte Produktionsunternehmen können diese Services nutzen. Ihre Produktionsprozesse benötigen oft spezielle Maschinen, welche hohe Anfangsinvestitionen mit sich bringen und individuell auf diese Prozesse angepasst sind. Änderungen können oft nicht ohne weitere Investition in neue Maschinen oder Teile durchgeführt werden. Obwohl also der in den einzelnen Produktionsschritten anfallende Abfall nicht einfach reduziert werden kann, kann die Zahlung an eine Umweltorganisation, welche beispielsweise Bäume pflanzt oder Regenwald kauft, helfen, den Umwelteinfluss auf globaler Ebene zu verbessern.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann als Multiplikator in Kombination mit allen anderen Green Business Process Patterns angewendet werden. In Abhängigkeit des Typs eines Geschäftsprozesses kann es auch sinnvoll sein, alternativ eine Variante (*Green Variant*) eines Prozesses einzuführen. Während der Originalprozess dabei wie gewohnt instanziiert werden kann, können einige Instanzen auch auf einem alternativen Prozessmodell basieren, welches einen geringeren Umwelteinfluss aufweist.

EP2: Green Variant



Einführung einer alternativen Prozessvariante ohne Anpassung des originalen Prozessmodells.

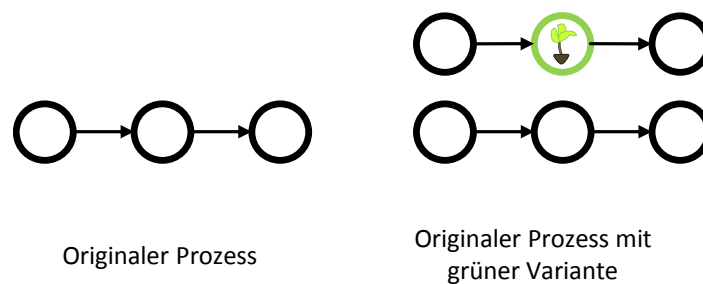
Kontext: Ein Unternehmen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern, ohne den bisherigen Prozess aufzugeben.

Problemstellung: Das Design und die Optimierung von Geschäftsprozessen orientieren sich für gewöhnlich an den funktionalen Anforderungen. Die Optimierung des Umwelteinflusses steht jedoch häufig im Zielkonflikt zu den konventionellen Optimierungskriterien. Durch eine Umstrukturierung können beispielsweise die Prozesskosten steigen oder interne/externe Richtlinien verletzt werden. Unternehmen müssen deshalb Möglichkeiten identifizieren, wie neben dem originalen Geschäftsprozess ein weiterer Alternativprozess angeboten werden kann, welcher einen geringeren Umwelteinfluss hat als der des originalen Prozesses. Dabei ist sicherzustellen, dass das Prozessergebnis funktionell dem des Originalprozesses entspricht.

Lösung: Das Unternehmen führt eine neue Variante eines bestehenden Geschäftsprozess oder Sub-Prozesses ein, welche zu einem mit dem Originalprozess vergleichbaren Prozessergebnis führt, jedoch einem verbesserten negativen Umwelteinflusses aufweist. Die Optimierung eines Prozesses muss demnach die Zielstellungen des Originalprozesses detailliert analysieren und auf die entsprechende alternative Variante übertragen. Die Variante kann hierzu eine unterschiedliche Sequenz der Ausführungsreihenfolge von Aktivitäten, alternative Ressourcen oder auch alternative Partner zur Ausführung der Services eines Prozesses verwenden. Weiter muss definiert werden, wer für eventuell anfallende Mehrkosten durch die Ausführung der alternativen Prozessvariante aufkommt. Dies können entweder das Unternehmen, der Kunde, öffentliche Subventionen oder eine Kombination aus diesen Alternativen

sein. Es besteht auch die Möglichkeit, den Kunden die Entscheidung für die Auswahl der verschiedenen Varianten zu übertragen. Entscheidet sich der Kunde für die nachhaltige Variante, so muss dieser gegebenenfalls einen erhöhten Preis für ein Produkt oder eine Dienstleistung bezahlen.

Lösungsskizze:



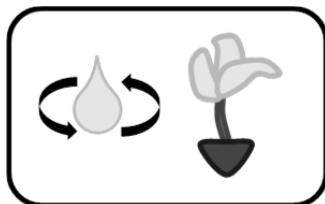
Ergebnis: Basierend auf unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise die Entscheidung eines Kunden bei der Initiierung eines Prozesses, werden unterschiedliche Varianten eines Geschäftsprozesses ausgeführt. Je nach Auswahl der auszuführenden Variante können unterschiedliche Key Performance und Key Ecological Indicators gelten. Dadurch verändert sich auch der Umwelteinfluss einer Prozessinstanz.

Beispiele: DHL [DHL13], UPS [UPS14] und Fedex [Fed14] bieten ihren Kunden die Möglichkeit, Briefe und Pakete neben dem Standard Versand auch CO₂-neutral zu versenden. Supermärkte wie Albert Heijn [FPla13] oder Safeway [Saf14] bieten ihren Kunden die Möglichkeit, anstelle von Verpackungen aus herkömmlichen Kunststofffolien und Styropor auch Verpackungsmaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen, zum Beispiel Mais, zu wählen.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Zudem eignen sich die Patterns *Green Resource Change*, *Common Process Improvement for Environmental Aspects* und *Process Automation* für die Unterstützung des Designs einer *Green Variant*. Die Umsetzung dieser Patterns kann weiter durch folgende Patterns unterstützt werden: *Green External Choice* zur Bestimmung der

Auswahlkriterien einer Variante, *Green Control Flow* zur Restrukturierung des Kontrollflusses, sowie *Green Client Session State*, *Green Database Session State* und *Green Loose Coupling* zum Design der unterliegenden Anwendungsinfrastruktur in IT-Szenarien. Je nach Anwendungsfall kann eine nachhaltige Prozessvariante auch durch die Einführung einer umweltbewussteren Prozesschoreographie entstehen. Hierzu können die Pattern *Insourcing* und *Outsourcing* verwendet werden.

EP3: Green Resource Change



Substitution der von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur.

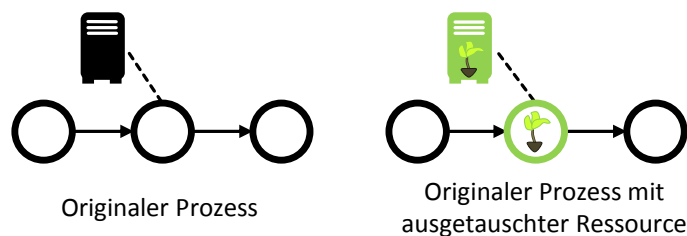
Kontext: Ein Unternehmen möchte durch die Auswahl geeigneter Ressourcen den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verringern.

Problemstellung: Das Design und die Ausführung von Geschäftsprozessen basieren auf einer Vielzahl funktionaler Anforderungen und Zielvorgaben. Die gewählten Ressourcen sichern dabei die korrekte und erwünschte Ausführung unter Berücksichtigung gegebener Kostenstrukturen zu. Die Auswahl funktional geeigneter Ressourcen kann jedoch dazu führen, dass der negative Umwelteinfluss verhältnismäßig hoch ausfällt. Zudem kann die Berücksichtigung von umweltrelevanten Anforderungen und Kriterien auch die Anforderungen an das Prozessdesign erweitern. Aufgrund interner Unternehmensrichtlinien, gesetzlichen Regulierungen oder sonstigen Beschränkungen kann es jedoch Prozessmodelle geben, welche nicht angepasst oder geändert werden dürfen.

Lösung: Der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses wird signifikant durch die eingesetzten Ressourcen bestimmt, welche von den einzelnen Aktivitäten eines Geschäftsprozesses verwendet werden. Die Substitution

einzelner Ressourcen kann zu einer Verringerung des negativen Umwelteinflusses eines Prozesses führen. Um Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl neuer Ressourcen zu schaffen, müssen verfügbare Ressourcen analysiert und gegebenenfalls neue Metriken (vgl. Key Ecological Indicators) definiert und eingeführt werden, um das Verhalten neuer Ressourcen adäquat zu überwachen. Durch den Einsatz alternativer Ressourcen müssen auch die jeweiligen Schnittstellen zwischen Prozess und Ressourcen, sowie zwischen Ressourcen untereinander analysiert und gegebenenfalls angepasst werden. Dabei ist auch zu beachten, dass die geforderten Key Performance Indikatoren weiter eingehalten werden.

Lösungsskizze:



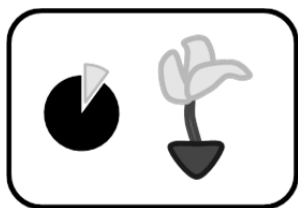
Ergebnis: Das Ergebnis der Substitution von Ressourcen zeigt sich in der Reduktion des negativen Umwelteinflusses eines Geschäftsprozesses. Der gezielte Austausch von Ressourcen beeinflusst dabei in der Regel nicht die generelle Struktur eines Prozessmodells. Dies führt dazu, dass die Semantik des Prozessmodells erhalten bleibt.

Beispiele: Die Verwendung von Ressourcen in Unternehmen ist sehr vielfältig. Daraus ergeben sich auch vielfältige Anwendungsgebiete. Unternehmen wie beispielsweise Lego, Motorola oder PWC haben sich dazu entschieden, einen Teil ihrer Energieressourcen durch erneuerbare Energien auszutauschen [Win14]. Ein anderes Beispiel aus dem IT-Umfeld ist die Nutzung von Cloud Computing. Symantec hat sich beispielsweise bei der Optimierung seiner Ressourcen für den Einsatz einer Cloud Software im Bereich Personal entschieden [WUL14]. Die Anzahl der Computerressourcen, welche Unternehmen für Spitzenlasten vorhalten müssen, können reduziert und neue Kapazitäten bedarfsgerecht

hinzugenommen werden. Das hierbei angewendete Prinzip der Skaleneffekte kann selbstverständlich auch auf weitere Arten von Ressourcen angewendet werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Alternativ zur Substitution einer Ressource kann auch das Pattern *Green Variant* oder *Outsourcing* zur Ausnutzung von Skaleneffekten eingeführt werden. Das Pattern *Green Feature* kann darüber hinaus für eine verbesserte äußere Erscheinungsform eingesetzt werden. Bei der Auswahl und Integration alternativer Ressourcen im IT-Umfeld können auch die Patterns *Green Public Cloud*, *Green Loose Coupling* und *Green Batch Processing* relevant sein. Die Integration neuer Ressourcen kann zudem unter Berücksichtigung der Patterns *Green Client Session State* und *Green Database Session State* erfolgen, welche den negativen Umwelteinfluss durch das ökologische Design der Kontextinformationen weiter senken können.

EP4: Green Feature



Anpassung der Erscheinungsform eines Produkts oder Services durch die Einführung ökologisch sichtbarer Merkmale.

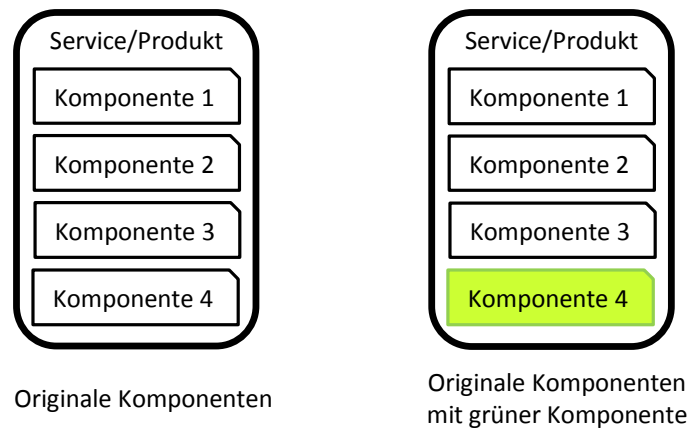
Kontext: Ein Unternehmen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse in kleinen, nach außen sichtbaren Schritten verbessern.

Problemstellung: Die Adaption eines kompletten Prozesses schafft den größten positiven Effekt auf den existierenden Umwelteinfluss eines Prozesses. Die Reduktion des negativen Umwelteinflusses ist jedoch ein komplexer Vorgang. Es bedarf einer Reihe von Anpassungen auf technischer und organisatorischer Ebene. Um keine Marktanteile, beispielsweise durch höhere Preise zu verlieren, ist es ideal, wenn

Optimierungen für Kunden und Partner sichtbar sind. Daher müssen (kleine) Merkmale identifiziert werden, welche für Kunden und Partner gut sichtbar sind, jedoch durch ihre inhärente Struktur den gesamten Umwelteinfluss eines Prozesses verbessern. Die Kombination verschiedener Merkmale zur Minimierung des gesamten negativen Umwelteinflusses kann durch die verschiedenen Wirkungsebenen ebenfalls sehr herausfordernd sein.

Lösung: Um die Komplexität bei der Einführung von Green Features zu reduzieren, können ein oder mehrere nachhaltige Eigenschaften in kleinen Schritten eingeführt werden. Im ersten Schritt müssen der Prozess und seine entsprechenden Services und Produkte analysiert und optimierungsfähige Eigenschaften identifiziert werden. Im Anschluss an die Identifikation aus ökologischer Sicht geeigneter Alternativen können die optimierungsfähigen Eigenschaften ersetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass mindestens eines der neu eingeführten Merkmale einfach und verständlich gegenüber Kunden und Partnern kommuniziert werden kann. Dieses *Green Feature* kann sich dabei zunächst auch nur marginal auf den gesamten Umwelteinfluss des Unternehmens auswirken. Das Hauptaugenmerk der Kunden und Partner sollte auf diesem Merkmal liegen und diejenigen Bereiche, die noch nicht optimiert wurden, sollten in den Hintergrund treten. Besteht die Möglichkeit, verschiedene *Green Features* zu kombinieren, kann dies die positive Wahrnehmung bei Kunden und Partnern erhöhen und den gesamten Umwelteinfluss verbessern.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Das Ergebnis der Anwendung dieses Patterns ist ein Prozess, ein Produkt oder ein Service, welche aus Sicht der Kunden als umweltfreundlich wahrgenommen werden. Das eigentliche Verbesserungspotential des Umwelteinflusses kann dabei auch nur marginal sein.

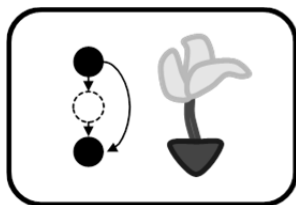
Beispiel: Ein Beispiel für ein Green Feature ist die Produktion von Outdoor-Kleidung. Fjällraven [Fen14] hat seinen Herstellungsprozess für Shell-Material verändert und setzt keine umweltgefährdenden Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) mehr ein. Die Veränderung des Herstellungsprozesses auf ein FKW-freies Verfahren kann damit als sichtbarer Wettbewerbsvorteil eingesetzt werden. Auch in der Lebensmittelindustrie finden sich Beispiele. Hier werden immer mehr Getränke in Polyethylen-Terephthalat (PET)-haltigen Flaschen verkauft. Zur Reduzierung des PET-Anteils ihrer Flaschen ersetzen unter anderem Danone Waters [Dan14] oder Coca-Cola [TCC14] einen Teil des PETs ihrer Flaschen durch Sirup, welcher bei der Zuckerproduktion als Abfallprodukt anfällt.

Auch Produktionsprozesse werden von Unternehmen beworben, um Kunden von diesen und den daraus resultierenden Produkt zu überzeugen. Diese Produktionsprozesse beinhalten oft Green Features, welche durch die Kunden sehr gut wahrgenommen werden können, wie beispielsweise bestimmte Aktivitäten, die auf umweltfreundlichen Maschinen ausgeführt

werden. Die restlichen, gegenüber dem Kunden nicht besonders gut sichtbaren Aktivitäten werden in der Regel jedoch in konventionellen Verfahren ohne Berücksichtigung des Umwelteinflusses durchgeführt.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Das Pattern *Green Resource Change* kann ebenfalls als Multiplikator für die Wahrnehmung der Kunden dienen und durch die Patterns *Green Public Cloud* und *Outsourcing* unterstützt werden. Für die Umsetzung eines Green Features können zudem folgende Patterns unterstützend sein: *Green Gateway* adressiert die Integration eines Green Features und *Process Automation* stellt eine Möglichkeit eines Green Features dar.

EP5: Common Process Improvement for Environmental Aspects



Anwendung konventioneller Optimierungsmethoden zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeitsperspektive.

Kontext: Ein Unternehmen möchte durch konventionelle Methoden des Geschäftsprozessmanagements den negativen Umwelteinfluss seiner Prozesse verbessern.

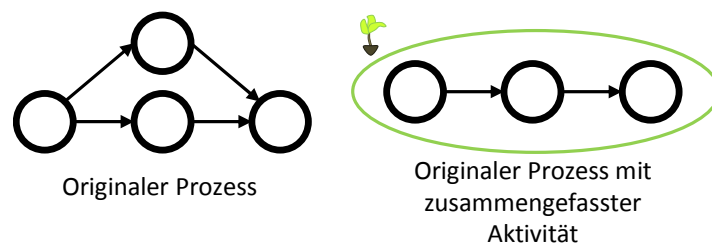
Problemstellung: Moderne Unternehmen haben in der Regel für das Management und die Optimierung ihrer Abläufe bereits geeignete Prozessmanagementtechniken im Einsatz. Durch den hohen Verbreitungsgrad dieser Techniken sind bereits eine Vielzahl an bewährten Methoden und Vorgehensweisen zur Optimierung der konventionellen Dimensionen Zeit, Qualität, Kosten und Flexibilität verfügbar. Die Einführung einer ökologischen Dimension erhöht die Komplexität des existierenden und entstehenden Zielkonflikts in vielen Fällen deutlich, da die Kriterien des Umwelteinflusses die Kriterien

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität sowohl positiv als auch negativ stark beeinflussen können.

Lösung: Die Anwendung dieses Patterns nutzt bestehende Optimierungstechniken, wie beispielsweise die Parallelisierung von Aktivitäten oder das Zusammenfassen einzelner Teilaufgaben, und wendet diese auf ökologische Problemstellungen an. Hierfür müssen Unternehmen ihre Prozesse zunächst hinsichtlich möglicher Optimierungsalternativen unter Berücksichtigung der definierten Key Performance Indicators analysieren. Im weiteren Verlauf werden die identifizierten Optimierungsalternativen hinsichtlich ihres Umwelteinflusses bewertet und mit den strategischen Zielen des Unternehmens bezüglich ihrer Einsatzfähigkeit verglichen. Das Ergebnis dieser Analyse bestimmt im weiteren Verlauf die Auswahl der Optimierungsalternativen.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Das Ergebnis der Anwendung dieses Patterns ist ein konventionell optimierter Geschäftsprozess, welcher sowohl die gegebenen Key Performance Indicators als auch den Umwelteinfluss des Prozesses verbessert.

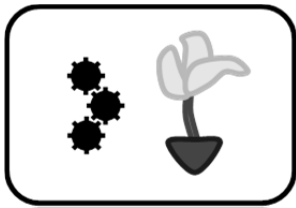
Beispiele: Das Unternehmen Optris [OGmb14] bietet Prozessoptimierungen durch Temperaturüberwachungen an. Dadurch kann insbesondere in Fertigungsprozessen die Qualität von Produkten gesteigert werden. Darüber hinaus bietet das Verfahren die Möglichkeit, Temperaturen nur so hoch wie nötig zu erzeugen, was aus ökologischer Sicht den Einsatz von Ressourcen optimiert. Ein ähnliches Beispiel beschreibt das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik [Sch13] mit der Prozessoptimierung in Ersatzteillagern durch die Einführung von

Barcodes. Durch die präzisere Zuordnung von Produkten ermöglicht dieses Verfahren neben einer Optimierung der Dimensionen Zeit, Qualität und Kosten auch eine Verminderung des Ressourceneinsatzes.

Ein weiteres Beispiel ist die Durchführung von Gehaltsabrechnungen in einem Unternehmen. Es sei davon auszugehen, dass ein Unternehmen hierfür zwei verschiedene Services nutzt. Der erste Service liefert die Anwesenheitsstunden, der zweite generiert daraus die Gehaltsabrechnung der Mitarbeiter. Die gesamten Mitarbeiterdaten werden hierbei von beiden Services genutzt. Ersetzt das Unternehmen diese separaten Services durch einen gemeinsamen Service, wird der Datenaustausch deutlich reduziert und dadurch einerseits die Auslastung erhöht und andererseits der zugrunde liegende Ressourcenverbrauch reduziert.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Alternativ kann auch die Einführung einer *Green Variant* des Prozessmodells sowie das *Outsourcing* und *Insourcing* von Teilen des Prozessmodells durch die Realisierung von Skaleneffekten den negativen Umwelteinfluss verbessern. Für die ökologisch orientierte Restrukturierung eines Prozessmodells können auch die folgenden Patterns hilfreich sein: Je nach Anwendungsfall *Process Automation* oder *Human Process Performance* und *Green Control Flow* zur Verbesserung des Kontrollflusses, *Green Explicit Termination* und *Green Cancel Activity* zur explizierten Freigabe von Ressourcen, wenn diese nicht mehr von einem Prozess benötigt werden, und *Green External Choice* zur Integration von externen Umweltinformationen in den Kontrollfluss eines Prozesses.

EP6: Process Automation



Optimierung des Umwelteinflusses durch die Automatisierung von Aktivitäten.

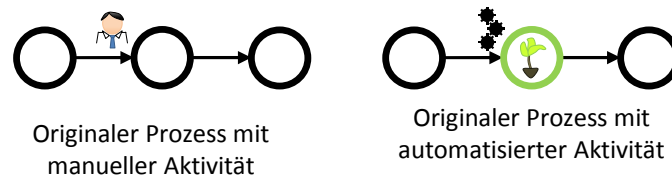
Kontext: Ein Unternehmen mit manuell ausgeführten Aktivitäten möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Die Ausführung von Aktivitäten eines Geschäftsprozesses kann sowohl manuell als auch (teil-)automatisiert durchgeführt werden. Die Ausführungsart richtet sich hierbei nach den strategischen Zielen und den technischen Voraussetzungen eines Unternehmens und dient in erster Linie der Gewinnmaximierung. Die Automatisierung einzelner Aktivitäten kann die Effizienz der Aufgabenausführung verbessern und trägt so zur Verbesserung des Umwelteinflusses dieser Aktivitäten bei. Die Identifikation von Aktivitäten, welche automatisiert werden können, ist in Unternehmen jedoch nicht trivial. Die automatisierten Aktivitäten müssen die ihnen gestellte Aufgabe entweder mit einem mindestens gleichbleibenden Ergebnis abschließen oder signifikante Kosteneinsparungen bieten. Hierbei muss insbesondere der Zielkonflikt zwischen Umwelt, Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität individuell betrachtet werden. Zudem muss die Integration in die existierenden Prozesse und Systeme des Unternehmens sichergestellt werden.

Lösung: Der erste Schritt besteht aus der Identifikation von Aktivitäten, welche prinzipiell automatisierbar sind und dabei die strategischen Ziele des Unternehmens berücksichtigen. Dieser Schritt setzt zunächst die Identifikation geeigneter automatisierbarer Services und deren Ressourcen voraus. Der zweite Schritt umfasst die Adaption des bestehenden Prozessmodells beziehungsweise der verwendeten Ressourcen. Dabei sind gegebenenfalls geeignete Integrationsstrategien, wie beispielsweise Enterprise Application Integration Patterns [Fow03], zur Adaption der

existierenden Ausführungsumgebung zu identifizieren. Diese sind je nach Anwendungsfall auszuwählen.

Lösungsskizze:



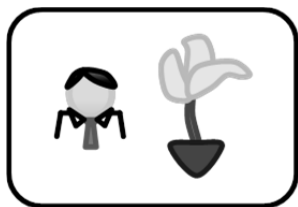
Ergebnis: Existierende Geschäftsprozesse werden in zunehmendem Maß automatisiert ausgeführt. Diese strukturelle Anpassung bietet die Möglichkeit, durch die effizientere Nutzung von Ressourcen sowohl die strategischen Key Performance Indicators als auch den Umwelteinfluss des Prozesses zu verbessern.

Beispiele: Rationalisierungen, welche den Kern dieses Patterns beschreiben, sind heute in nahezu allen unternehmerischen Abläufen zu finden. Ziel ist hier in der Regel die Kostenreduktion durch eine Verbesserung der Effizienz bestimmter Aufgaben. Ein Beispiel hierfür sind Telefongesellschaften, welche gesetzlich dazu verpflichtet sind, ihren Kunden für die in Anspruch genommenen Leistungen in regelmäßigen Abständen eine Rechnung zukommen zu lassen. Häufig werden diese Rechnungen den Kunden postalisch zugestellt. Unter Berücksichtigung dieses Patterns könnte ein Unternehmen die Rechnungen auch direkt und automatisiert per E-Mail bereitstellen. Diese Art der Restrukturierung des Prozesses hat zur Folge, dass neben der Reduzierung von Kosten sowie der Zustelldauer auch der Umwelteinfluss durch die Reduzierung der Anzahl von Druckern und entsprechender Transportressourcen verbessert wird.

Beziehungen zu anderen Patterns: Die Automatisierung von Geschäftsprozessen kann in Kombination mit nahezu allen anderen Green Business Process Patterns verwendet werden. Die Patterns *Green Compensation*, *Green Variant*, *Green Resource Change*, *Green Feature*, *Common Process Improvement*, *Insourcing* und *Outsourcing* stellen

allesamt weitere Multiplikatoren zur Minderung des negativen Umwelteinflusses dar. Im Rahmen der Prozessrestrukturierung können folgende Patterns hilfreich sein, um die automatisierten Aktivitäten zu integrieren: *Green Control Flow*, *Green Explicit Termination*, *Green External Choice*, *Green Cancel Activity*, *Green Client Session State*, *Green Database Session State*, *Green Data Transfer Object*, *Green Lazy Load*, *Green Gateway*, *Green Public Cloud*, *Green Loose Coupling*, *Green Batch Processing*, *Green Eventual Consistency* und *Green Shared Component*.

EP7: Human Process Performance



Optimierung des Umwelteinflusses durch die manuelle Ausführung von Aktivitäten.

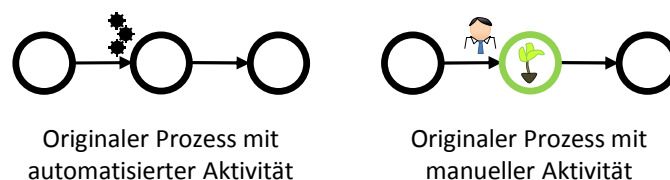
Kontext: Ein Unternehmen mit automatisiert ausgeführten Aktivitäten möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Die Ausführung von Aktivitäten eines Geschäftsprozesses kann sowohl manuell als auch (teil-)automatisiert durchgeführt werden. Die Ausführungsart richtet sich dabei nach den strategischen Zielen und den technischen Voraussetzungen eines Unternehmens und dient in erster Linie der Gewinnmaximierung. Die manuelle Ausführung von Aktivitäten durch Mitarbeiter bietet Möglichkeiten, den negativen Umwelteinfluss spezifischer und für Maschinen komplexer Aufgaben zu reduzieren. Die Identifikation von geeigneten Aktivitäten zur manuellen Ausführung innerhalb eines automatisierten Geschäftsprozessen ist jedoch nicht trivial. Insbesondere die Berücksichtigung des Umwelteinflusses innerhalb eines solchen

automatisierten Prozesses bringt eine zusätzliche Komplexität in den entstehenden Zielkonflikt.

Lösung: Für die Umsetzung dieses Patterns müssen zunächst die automatisierten Aktivitäten eines Geschäftsprozesses identifiziert und analysiert werden. Im Anschluss muss der spezifische Umwelteinfluss dieser Aktivitäten ermittelt und geeignete, manuell ausführbare Alternativen identifiziert werden, welche sich auf den gesamten Umwelteinfluss positiv auswirken. Dies können beispielsweise Aufgaben sein, welche ein Mitarbeiter mit entsprechendem Aufwand oder eine technologisch hochentwickelte Maschine leisten kann.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Die Anpassung von Geschäftsprozessen, in Richtung eines erhöhten manuellen Anteils, bietet die Möglichkeit, sowohl die strategischen Key Performance Indicators als auch den Umwelteinfluss des Prozesses zu verbessern.

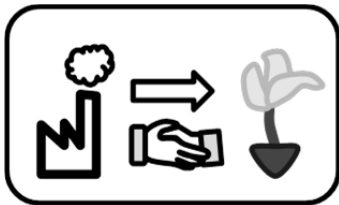
Beispiele: Manuelle Aufgaben sind in nahezu allen unternehmerischen Abläufen zu finden. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung von spezifischen Metallteilen in Kleinserien. Anstelle eines aufwändigen High-Tech Laserscanners, welcher für jedes Teil separat justiert werden muss, kann auch ein Mitarbeiter verschiedene Prüfschritte mit konventionellen Messgeräten übernehmen. Dadurch kann ein Unternehmen, zumindest in Teilen, Kosten einsparen und den Umwelteinfluss, welcher durch die Herstellung und den Betrieb eines spezialisierten Messgeräts anfällt, reduzieren.

Beziehungen zu anderen Patterns: Folgende Patterns können als Multiplikator oder als Ergänzung zum Einsatz kommen: Das Pattern

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

Green Compensation kompensiert Teile des negativen Umwelteinflusses und das Pattern *Green Resource Change* kann mit dem Fokus auf einer manuellen Ausführung von Aktivitäten verwendet werden. Für die Integration von manuellen Aufgaben in Geschäftsprozessen kann das Pattern *Common Process Improvement* im Allgemeinen und folgende Patterns im Speziellen hilfreich sein: *Green Control Flow*, *Green Explicit Termination*, *Green External Choice*, *Green Cancel Activity*.

EP8: Outsourcing



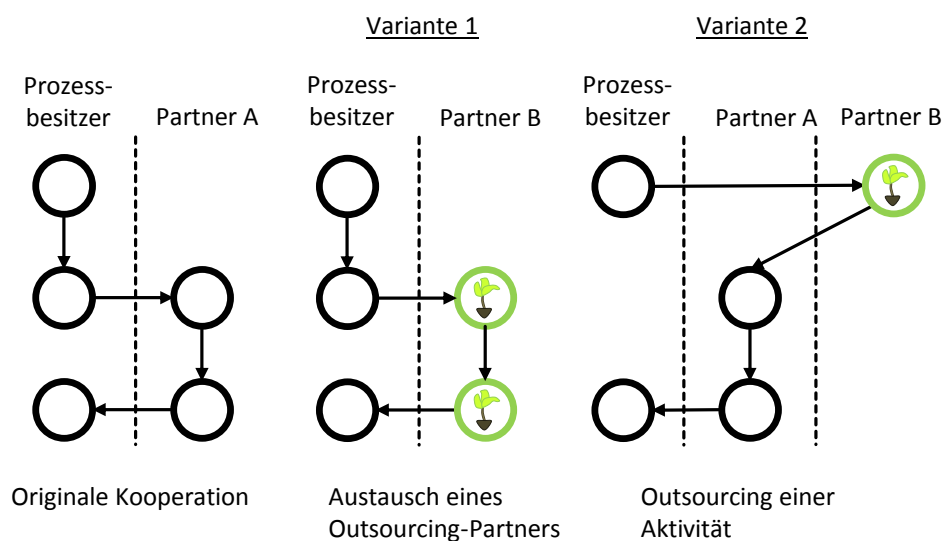
Reduzierung des Umwelteinflusses durch Einführung oder Anpassungen der Kollaborationsbeziehungen sowie der Ausnutzung von Skaleneffekten.

Kontext: Ein Unternehmen mit lokal auszuführenden Aktivitäten und Prozessen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Produkte und Services, die ein Unternehmen anbietet, bestehen in der Regel aus einer Vielzahl einzelner Komponenten. Stellt das Unternehmen selbst alle dieser Komponenten her, so hat es die größtmögliche Kontrolle über die erzielte Qualität. Die eigene Herstellung oder Bereitstellung kann jedoch aufgrund mangelnder Spezialisierung ineffizient sein. Durch Kollaborationen mit hochspezialisierten Partnern und der damit einhergehenden Verteilung eines Geschäftsprozesses auf mehrere Partner können Skaleneffekte ausgenutzt werden. Dadurch kann aus globaler Sicht eine Verbesserung des Umwelteinflusses des Gesamtprozesses herbeigeführt werden. Neben der Auswahl des Partners muss jedoch auch die Integration und Kommunikation der verschiedenen Prozesse sichergestellt, sowie der Umwelteinfluss der gesamten Kooperation überwacht werden.

Lösung: Für die Anwendung dieses Pattern müssen nicht nur die Geschäftsprozesse des eigenen Unternehmens betrachtet werden, sondern auch die der bestehenden oder gewählten Partner. Damit ist die Analyse und Auswahl eines geeigneten Partners ein erster und signifikanter Entscheidungsfaktor bei der Reduzierung des gesamten negativen Umwelteinflusses. Im weiteren Verlauf müssen für die Anwendung dieses Patterns zwei grundlegende Vorgehensweisen unterschieden werden. Die erste Variante beschreibt die Anpassung einer bestehenden Kooperation. Hierzu werden bestehende Partner gegen neue Partner, welche vergleichbare Ressourcen oder Services anbieten, ausgetauscht. Dazu müssen verfügbare Partner entsprechend ihrer Serviceangebote analysiert und bewertet werden. Beim Austausch von Partnern ist darauf zu achten, dass die strategischen Service Level Agreements eingehalten und der Gesamtumwelteinfluss der Kooperation verbessert wird. Die zweite Variante beschreibt die Auslagerung von Aktivitäten oder gesamten Prozessen, welche bisher im Hoheitsgebiet des eigenen Unternehmens ausgeführt wurden. Hierzu müssen zunächst die aus ökologischer Sicht ineffizienten Aktivitäten oder Prozesse identifiziert werden. Anschließend müssen, wie auch in Variante 1, die verfügbaren Partner analysiert und bewertet werden.

Lösungsskizze:



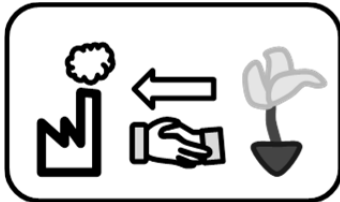
Ergebnis: Unternehmen verändern ihre bestehenden Prozessmodelle durch den Austausch von Partnern oder durch die entsprechende Restrukturierung der existierenden Kooperation. Durch diese Maßnahmen – in Zusammenhang mit der effizienteren Ausführung der ausgelagerten Prozesse und Aktivitäten – kann der Umwelteinfluss aus globaler Sicht, das heißt zwischen den verschiedenen Partnern, verbessert werden.

Beispiele: Dell migrierte sein gesamtes Kundenbeziehungsmanagement von einer internen Lösung zu Salesforce.com [Sal14]. Dadurch wurden nicht nur interne Ressourcen reduziert, sondern durch Nutzung des Software-as-a-Service Angebots von Salesforce werden die Anforderungen spezifisch an die Bedürfnisse von Dell angepasst. Dadurch konnte sowohl auf operativer als auch auf ökologischer Ebene eine Optimierung erreicht werden. Auch Symantec hat durch die Verwendung eines HR-Services von Workday ähnliche Optimierungen erreicht [WUL14]. Ein weiteres Beispiel aus dem verarbeitenden Gewerbe ist die Auswahl eines neuen Hilfsstoffes eines anderen Zuliefererunternehmens. Anstelle eines chemischen Schmiermittels kann beispielsweise ein biologisch abbaubares Schmiermittel mit den gleichen Eigenschaften verwendet werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Die Patterns *Green Compensation*, *Green Variant* und *Green Feature* können als Multiplikator oder Alternative mit geringerer Komplexität zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Realisierung der Restrukturierung von Geschäftsprozessen können auf allgemeiner Ebene die Patterns *Green Resource Change*, *Common Process Improvement*, *Process Automation* oder *Human Process Performance* eingesetzt werden, auf implementierungsspezifischer Ebene die Patterns *Green Control Flow*, *Green Explicit Termination*, *Green External Choice*, *Green Cancel Activity*, *Green Public Cloud*, *Green Loose Coupling* oder *Green Batch Processing*. Für die Realisierung der Kommunikation zwischen den Partnern können zudem folgende Patterns relevant sein: *Green Client*

Session State, Green Database Session State, Green Data Transfer Object und Green Lazy Load.

EP9: Insourcing



Reduzierung des Kommunikationsaufwands von Prozessen und Aktivitäten durch Zentralisierung der einzelnen Komponenten.

Kontext: Ein Unternehmen mit verteilt ausgeführten Aktivitäten und Prozessen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

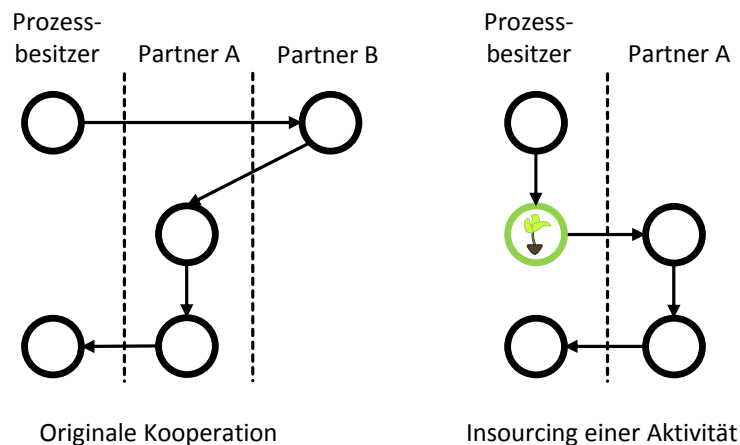
Problemstellung: Die Produkte und Services eines Unternehmens werden häufig nicht exklusiv von diesem Anbieter bereitgestellt, sondern in Kooperation mit weiteren Partnern. Dadurch können Zielvorgaben durch eine effizientere Ausführung bestimmter Aufgaben besser erreicht werden. Die verteilte Ausführung von Aktivitäten führt in der Regel jedoch zu einem höheren Management- und Kommunikationsaufwand, welcher sich negativ auf den Umwelteinfluss dieser Prozesse auswirkt. Insbesondere in Kombination mit der Einführung neuer Technologien kann es sinnvoll sein, bestimmte Aktivitäten und Prozesse zu zentralisieren, um so den Umwelteinfluss aus globaler Sicht zu verbessern.

Lösung: Die Anwendung dieses Patterns setzt zunächst die Identifikation von Prozessen und Services voraus, welche bei Partnern oder Drittanbietern betrieben werden. In einer Analysephase müssen diese Prozesse und Service entsprechend ihrer Eignung für den zentralisierten Betrieb untersucht werden. Zudem müssen Alternativen für die Integration von Aktivitäten oder Prozessen analysiert und bewertet werden. Die Integration stellt dabei häufig einen erheblichen Aufwand dar. Deshalb müssen sowohl die technischen Rahmenbedingungen als auch die organisatorischen Gegebenheiten auf die Zentralisierung der Aufgaben

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

angepasst werden. Eine erfolgreiche Integration ist damit nicht nur die Voraussetzung zur Verbesserung des Umwelteinflusses, sondern hat auch wesentlichen Einfluss auf die ökonomischen Ziele eines Unternehmens.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Die Eingliederung und Zentralisierung von Aktivitäten oder Prozessen kann zur Ausnutzung von Skaleneffekten oder zur Reduzierung des Kommunikations- und Organisationsaufwands führen. Dadurch kann der Ressourcenverbrauch aus ökologischer Sicht verbessert werden.

Beispiele: General Electrics (GE) hat weite Teile seiner Geräteherstellung, welche bis dato in Asien durchgeführt wurde, wieder in existierende Niederlassungen in den USA integriert [HBN13]. Dadurch konnte neben einer gesteigerten Performance und der Schaffung neuer Jobs in den USA auch der Umwelteinfluss der Herstellungsprozesse verbessert werden. Ein Beispiel aus der IT ist die Konsolidierung verschiedener Server und Services [IBM14]. Kann das Unternehmen die verschiedenen Services, welche in ständiger Kommunikation zueinander stehen, in der eigenen Cloud Umgebung oder bei einem spezialisierten Lösungsanbieter betreiben, so kann der Kommunikations- und Managementaufwand reduziert und damit der globale negative Umwelteinfluss der beteiligten Prozesse und Services reduziert werden. Ein weiteres Beispiel stammt aus der Automobilbranche. Hierbei lässt ein europäischer Autohersteller eine Auswahl der benötigten Teile in Asien herstellen. Um die Autos fertig zu

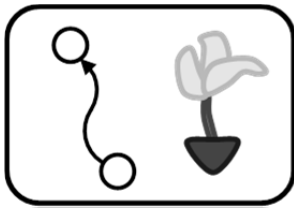
montieren, müssen diese Teile wieder nach Europa transportiert werden. Aus ökonomischer Sicht mag dieser Schritt sinnvoll erscheinen, jedoch wird der negative Umwelteinfluss dadurch deutlich erhöht. Aus ökologischer Sicht kann das Unternehmen den Produktionsprozess entweder in die eigene Produktion integrieren, d.h., das Unternehmen ändert seine vorhandenen Prozesse, oder er tauscht den asiatischen Partner gegen einen europäischen Partner aus, d.h., das Unternehmen tauscht eine Ressource aus.

Beziehungen zu anderen Patterns: Die Patterns *Green Compensation*, *Green Variant* und *Green Resource Change* können als Multiplikator oder Alternative mit geringerer Komplexität zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Durch die mögliche Restrukturierung der Geschäftsprozesse können prinzipiell auch die Pattern *Common Process Improvement*, *Process Automation* oder *Human Process Performance* eingesetzt werden, um den negativen Umwelteinfluss weiter zu verbessern. Für die Realisierung der Restrukturierung können zudem folgende Patterns eingesetzt werden: *Green Control Flow*, *Green Explicit Termination*, *Green External Choice*, *Green Cancel Activity*, *Green Database Session State* und *Green Client Session State*.

5.4.3 Implizite Green Business Process Patterns: Workflows

Dieses Kapitel beschreibt verschiedene implizite Green Business Process Patterns aus dem Bereich *Workflow Management*, welche in ursprünglicher Form in [AHK+03] beschrieben wurden. Die beschriebenen Patterns werden in der in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungssprache dokumentiert und adressieren die in Kapitel 5.2.2 aufgezeigten Charakteristika von ökologischen Geschäftsprozessen.

IP1: Green Control Flow



Einsatz von geeigneten Kontrollflusskonstrukten zur Verbesserung der Effizienz der Ressourcennutzung während der Ausführung eines existierenden Prozesses.

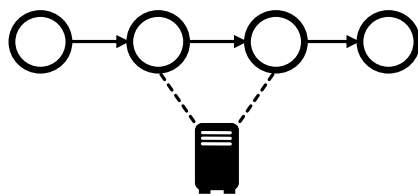
Kontext: Ein Unternehmen mit traditionell gewachsenen Prozessstrukturen möchte den Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Geschäftsprozesse beschreiben eine Abfolge von Aktivitäten zur Erreichung bestimmter Zielvorgaben. Die Struktur der Abfolge und damit auch die Kommunikation zwischen den verschiedenen Ressourcen orientiert sich dabei am erwarteten Ergebnis des Geschäftsprozesses und wird in der Regel durch eine technische Perspektive bestimmt. Damit ist sichergestellt, dass das erwartete Ergebnis eines Prozesses auch eingehalten werden kann. Aus ökologischer Perspektive hingegen kann die funktional orientierte Nutzung von Ressourcen jedoch ineffizient sein, da beispielsweise eine sequentielle Ausführung von Aktivitäten die Ressourcenallokation zeitlich unnötig verlängern kann, viele verschiedene Anfragen an eine Ressource gestellt werden, große Datenmengen zwischen verschiedenen Partnern transferiert werden müssen oder viele verschiedene Organisationseinheiten beteiligt sind.

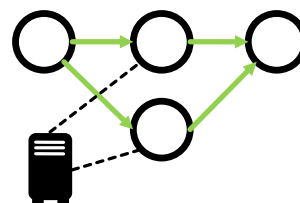
Lösung: Der zentrale Ansatz dieses Patterns ist die Restrukturierung existierender Geschäftsprozesse zur expliziten Verbesserung des negativen Umwelteinflusses. Hierzu müssen zunächst die existierenden Prozesse hinsichtlich ihrer ökologischen Potentiale untersucht werden. Allgemeine Fragestellungen können beispielsweise wie folgt aussehen: Werden alle Aktivitäten einzeln benötigt oder können diese zusammengefasst werden? Welche Aktivitäten nutzen Ressourcen sequentiell? Wie viele Rollenwechsel gibt es? Im nächsten Schritt wird durch eine geeignete Auswahl von Kontrollflusskonstrukten der Kontrollfluss des Prozesses so

angepasst, dass die unterliegenden Ressourcen möglichst effizient genutzt werden. Für den Einsatz geeignete Kontrollflusskonstrukte sind beispielsweise: Parallel Split, Synchronization, Exclusive Choice oder Simple Merge (siehe hierzu auch [AHK+03] und [LR00]).

Lösungsskizze:



Originaler Prozess mit sequenzieller Ressourcennutzung



Originaler Prozess mit paralleler Ressourcennutzung

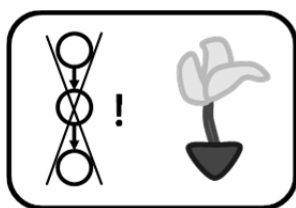
Ergebnis: Das Ergebnis der Anwendung dieses Patterns ist ein angepasster Geschäftsprozess, welcher neben einer Optimierung aus funktionaler Sicht auch eine Verbesserung des Umwelteinflusses erzielt. Dies wird durch die Adaption der Ausführungsreihenfolge und der daraus resultierenden Verbesserung der Kommunikation zwischen den unterliegenden Ressourcen erreicht.

Beispiele: Die Anpassung des Kontrollflusses von Geschäftsprozessen zur Optimierung von Zielvorgaben ist fester Bestandteil des Geschäftsprozessmanagements. Aus ökologischer Sicht kann beispielsweise statt einer *Synchronisation* ein *Simple Merge* verwendet werden. Dadurch muss, sofern funktional möglich, nicht auf alle eingehenden Kanten einer Aktivität gewartet werden und Ressourcen können früher wieder freigegeben werden. Ein weiteres Beispiel zeigt die Parallelisierung von Backup Aufgaben eines Systems. Die Parallelisierung ermöglicht es, Ressourcen stärker auszulasten und dadurch die Effizienz zu erhöhen.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Restrukturierung eines Prozesses können zudem die Patterns *Green Variant*, *Process Automation*

und *Human Process Performance* eingesetzt werden. Das Pattern *Resource Change* ermöglicht neben der Adaption der Kommunikation auch den Austausch von Ressourcen. Die Kommunikation zwischen den verschiedenen Ressourcen, welche durch den Kontrollfluss bestimmt wird, kann durch die Patterns *Green Gateway* und *Green Data Transfer Object* zusätzlich beeinflusst werden.

IP2: Green Explicit Termination



Explizite Terminierung von Subprozessen während der Ausführungszeit, sobald diese nicht mehr benötigt werden, zur Reduktion der Menge allozierter Ressourcen.

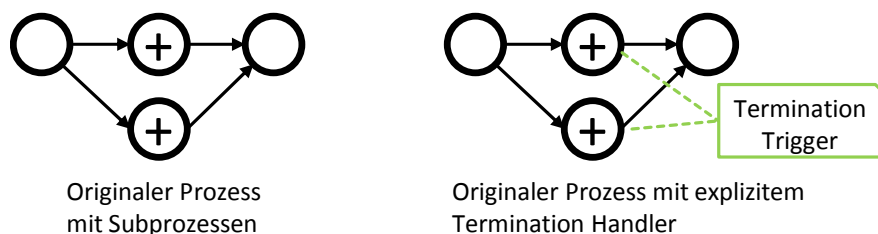
Kontext: Ein Unternehmen mit verschachtelten Prozessstrukturen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Komplexe Geschäftsprozesse werden typischerweise nicht in einer einzigen, horizontalen Ebene ausgeführt, sondern basieren auf mehreren Subprozessen. Diese Subprozesse decken einzelne Aufgabenbereiche ab, welche von Experten erstellt und in unterschiedlichen Szenarien eingesetzt werden können. Werden Aktivitäten eines Subprozesses nicht (mehr) benötigt, beispielsweise weil einzelne Aktivitäten nicht mehr aktiviert werden können, kann der Subprozess trotzdem im Zustand „aktiv“ gehalten werden. Damit blockiert dieser Subprozess die von ihm allokierten Ressourcen, wodurch der gesamte Umwelteinfluss verschlechtert wird.

Lösung: Der Lösungsansatz dieses Patterns gliedert sich in zwei Bereiche: die Terminierung von Subprozessen durch (1) die Ausführungsumgebung oder (2) Modellierungskonstrukte. Unterstützt die verwendete Ausführungsumgebung eine Terminierung von nicht mehr aktivierbaren Subprozessen, so muss die Konfiguration entsprechend angepasst werden.

Unterstützt die Ausführungsumgebung dies nicht, so muss ein Terminierungsknoten explizit innerhalb eines Subprozesses modelliert werden. Die Terminierungsentscheidung basiert dabei auf verschiedenen Bedingungen, wie beispielsweise dem Zustand der in einem Subprozess enthaltenen Aktivitäten. Die definierten Bedingungen können wiederum auf Instanzdaten des Prozesses oder auf Benutzereingaben gegründet sein. Sind die definierten Bedingungen erfüllt, kann der Subprozess terminiert werden.

Lösungsskizze:



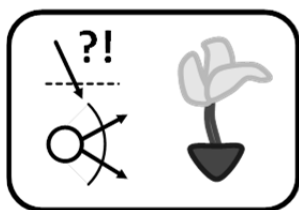
Ergebnis: Die Anwendung dieses Patterns führt zu einer Anpassung von Geschäftsprozessen und der verwendeten Subprozesse, damit diese in der Lage sind, auf Basis bestimmter Kriterien explizit zu terminieren. Die Terminierung eines Subprozesses wird damit nicht erst zum Zeitpunkt der Beendigung der Prozessinstanz, sondern bereits zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführt. Damit kann die Anzahl der allokierten Ressourcen reduziert und früher wieder freigegeben werden.

Beispiele: Bei der Produktherstellung oder dem Produkthandel ist das Qualitätsmanagement ein wichtiges Managementinstrument. Produkte werden dabei oft stichprobenartig überprüft. Der Subprozess der Qualitätsüberprüfung wird deshalb nicht jedes Mal ausgeführt. In diesen Fällen kann dieser Subprozess automatisiert terminiert werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Bei einer erforderlichen Restrukturierung des Prozessmodells können zusätzlich die Patterns *Green*

Control Flow, Green Common Process Improvement, Process Automation, Human Process Performance betrachtet werden. Das Pattern *Green Lazy Load* bietet darüber hinaus die Möglichkeit, auch das Laden der Informationen des Subprozesses zu beeinflussen. Bezieht sich die Terminierung auf Aktivitäten eines Prozessmodells, so kann auch das Pattern *Green Cancel Activity* eingesetzt werden.

IP3: Green External Choice



Nutzung externer Umweltinformationen zur Steuerung eines Prozesses.

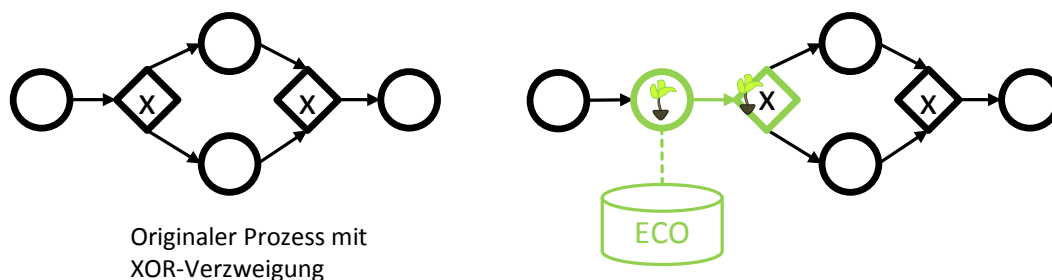
Kontext: Ein Unternehmen mit verschiedenen Entscheidungspunkten im Prozessablauf möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Geschäftsprozesse führen Aufgaben typischerweise nicht rein sequenziell aus, sondern beinhalten verschiedene Entscheidungspunkte, d.h. Verzweigungen und Pfade, welche bestimmte Anforderungen und Zielvorgaben realisieren. Das Design der Entscheidungspunkte basiert dabei in der Regel auf den strategischen und technischen Zielvorgaben und stellt sicher, dass der Prozess das erwartete Ergebnis liefert. Dieses Design kann jedoch dazu führen, dass der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses durch technische oder strategische Zielvorgaben negativ beeinflusst wird. Werden ökologische Aspekte außer Acht gelassen, können aus Umweltsicht nachteilige Entscheidungen getroffen werden.

Lösung: Die Auswahl eines Prozesspfades, sowie die Bereitstellung der Informationsbasis eines Entscheidungspunktes innerhalb eines Prozesses, werden auf die Ausführungsumgebung eines Prozesses übertragen. Hierfür

müssen existierende Prozessmodelle um spezifische Auswahlpunkte erweitert werden, an welchen das Prozessverhalten auf Basis der externen Umweltinformationen beeinflusst werden soll. Diese Auswahlpunkte und Prozesspfade können auch verschiedene Geschäftsziele repräsentieren, beispielsweise eine *konventionelle* oder eine *energieeffiziente* Ausführung des Prozesses. Zudem muss sichergestellt werden, dass die für eine Entscheidung notwendigen Informationen der Prozessinstanz entsprechend bereitgestellt werden. Hierfür muss gegebenenfalls, je nach Typ des Prozesses, das Monitoringmodell angepasst werden. Beispielsweise kann der Gesamtenergieverbrauch eines Prozesses zur Auswahl der vom Prozess verwendeten Ressourcen herangezogen werden. Diese Informationen können beispielsweise in einer Datenbank gespeichert und über einen entsprechenden Adapter direkt vom Prozess ausgelesen werden.

Lösungsskizze:



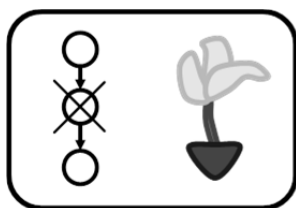
Ergebnis: Die Integration externer Informationen in den Prozesskontext ermöglicht dem Prozessdesigner die explizite Berücksichtigung von Laufzeit- und Umweltdaten. Der spezifische Ausführungspfad sowie die zur Ausführung der Aktivitäten verwendeten Ressourcen können damit zur Laufzeit definiert werden. Die Ausführung eines Prozesses auf Basis seiner Umweltdaten verbessert nicht nur den individuellen Umwelteinfluss dieses Prozesses, sondern ermöglicht auch eine Verbesserung der Ressourcenauslastung durch Nutzung von prozessübergreifenden Synergieeffekten.

Beispiele: Eine explizite Auswahl unterschiedlicher Prozesspfade ist im Versandprozess von DHL [DHL13] zu finden. Kunden können hierbei

entscheiden, ob sie Pakete für den Standard-Versand oder den *GoGreen*-Versand aufgeben, welcher einen CO₂-freien Versand ermöglicht. Anstatt die Auswahl dem Kunden zu überlassen, kann der Versandprozess diese Entscheidung auch selbständig durchführen, beispielsweise auf Basis der in einem bestimmten Zeitraum ausgeführten Instanzen.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Restrukturierung und Anpassung des Kontrollflusses eines Prozesses können zudem die Patterns *Green Control Flow*, *Common Process Improvement*, *Process Automation* und *Human Process Performance* herangezogen werden. Die Einführung einer *Green Variant* kann darüber hinaus die Einführung alternativer Pfade unterstützen. Für die Terminierung der nicht ausgeführten Pfade kann das Pattern *Green Cancel Activity* betrachtet werden. Für die Optimierung der Ressourcennutzung können die Patterns *Green Lazy Load*, *Green Gateway*, *Green Loose Coupling* und *Green Batch Processing* verwendet werden. Durch die Anwendung der Patterns *Insourcing* und *Outsourcing* können darüber hinaus auch Skaleneffekte bei der Nutzung der Ressourcen erzielt werden.

IP4: Green Cancel Activity



Terminierung von Aktivitätsinstanzen, welche nicht länger relevant für die Ausführung des Prozesses sind, um Ressourcen einzusparen.

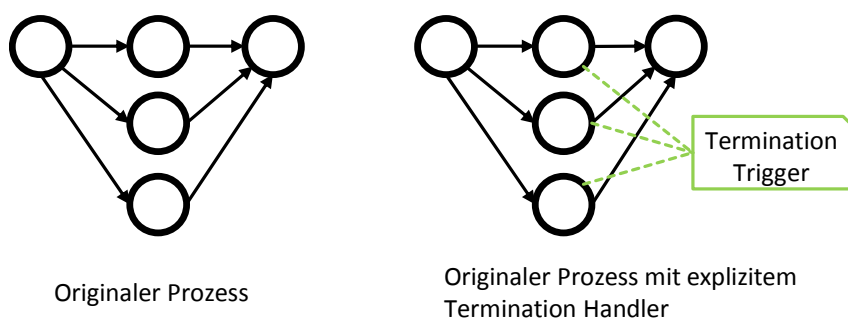
Kontext: Ein Unternehmen mit vielen alternativen Aktivitäten in Prozessabläufen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Prozessmodelle erfassen in der Regel alle für die Erreichung eines Prozessziels notwendigen Aktivitäten. Existieren in

einem Prozessmodell alternative Aktivitäten und Pfade, so werden nicht alle Aktivitäten dieses Prozesses bei jeder Instanziierung des Prozesses ausgeführt. Bei der Instanziierung des Prozessmodells werden jedoch zunächst alle Aktivitäten des Prozessmodells instanziiert. Damit werden auch für Aktivitäten, welche eventuell nicht ausgeführt werden, entsprechende Ressourcen allokiert, was in einer unnötigen Überallokation von Ressourcen resultiert.

Lösung: Im ersten Schritt müssen die Bereiche eines Geschäftsprozesses identifiziert werden, welche nicht in allen Prozessinstanzen oder nur auf Basis bestimmter Bedingungen ausgeführt werden. Beispielsweise kann es vorkommen, dass Informationen aus mehreren Quellen angefragt werden, jedoch nur eine bestimmte Anzahl an Antworten verarbeitet wird. Für die Informationsgewinnung können Monitoring Informationen, Audit Trails der Prozessausführung oder Business Intelligence Lösungen verwendet werden. Die identifizierten Bereiche des Prozesses müssen anschließend so gestaltet werden, dass entweder Funktionalitäten bestehender *Process Engines*, welche die Terminierung von nicht mehr benötigten Aktivitäten übernimmt, oder explizite Abbruchaktivitäten verwendet werden. Bei dieser Anpassung ist jedoch darauf zu achten, dass keine Informationen im Ausführungskontext verloren gehen oder Aktivitäten fälschlicherweise terminiert werden und der korrekte Kontrollfluss nicht mehr sichergestellt ist.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Die Anwendung dieses Patterns stellt sicher, dass Aktivitäten bei Nichtgebrauch innerhalb einer Prozessinstanz so bald wie möglich

terminiert werden. Hierbei können auch laufende Aktivitäten abgebrochen werden, wenn das Ergebnis dieser für den weiteren Prozessablauf nicht mehr relevant ist. Dieser Fall kann beispielsweise eintreten, wenn zwei unabhängige Informationsquellen angefragt werden, jedoch nur eine Antwort für das Fortfahren des Prozesses notwendig ist. Die Terminierung der nicht mehr benötigten Aktivitäten ermöglicht es, die allokierten Ressourcen frühzeitig freizugeben und für weitere Aufgaben verfügbar zu machen.

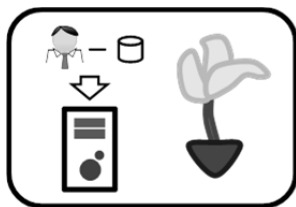
Beispiele: Ein Beispiel für dieses Pattern zeigen Hotelbuchungsportale. Wenn ein Kunde verfügbare Hotels anfragt, können im Hintergrund unterschiedliche Hotel-Services aufgerufen werden. Um lange Wartezeiten für den Kunden zu vermeiden, sollen die Ergebnisse in maximal 15 Sekunden angezeigt werden. Liefert ein Hotel-Service innerhalb dieser Zeit keine Antwort, so wird die Aktivität abgebrochen und die allokierten Ressourcen werden wieder freigegeben. Auch ein expliziter Abbruch des Kunden kann zu dem gleichen Ergebnis führen.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Bei der Integration von Abbruchaktivitäten können zusätzlich die Patterns *Green Control Flow*, *Common Process Improvement*, *Process Automation* und *Human Process Performance* hilfreich sein, um die Struktur des Kontrollflusses entsprechend anzupassen. Das Pattern *Green External Choice* kann zudem die Entscheidung über eine Abbruchbedingung auf externe Informationen verlagern. Werden Informationen innerhalb des Prozesses benötigt, kann das Pattern *Green Lazy Load* das bedarfsgerechte Laden dieser Informationen unterstützen. Die Patterns *Green Public Cloud* und *Outsourcing* unterstützen die Nutzung flexibler Infrastrukturen zur flexiblen Allokation und Freigabe von Ressourcen. Sollen nicht nur einzelne Aktivitäten, sondern gesamte Subprozesse terminiert werden, kann zusätzlich das Pattern *Green Explicit Termination* herangezogen werden.

5.4.4 Implizite Green Business Process Patterns: Enterprise Application Architectures

Dieses Kapitel beschreibt verschiedene implizite Green Business Process Patterns aus dem Bereich *Enterprise Application Architecture*, welche in ursprünglicher Form in [Fow03] beschrieben sind. Die beschriebenen Patterns werden in der in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungssprache dokumentiert und adressieren die in Kapitel 5.2.2 aufgezeigten Charakteristika ökologischer Geschäftsprozesse.

IP5: Green Client Session State



Vorhalten von Kontextinformationen auf Client Seite und Nutzung zustandsloser Ressourcen zur Optimierung der Anzahl von Ressourcen und ihrer Effizienz.

Kontext: Ein Unternehmen mit vielen Client-Server Anwendungen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse mindern.

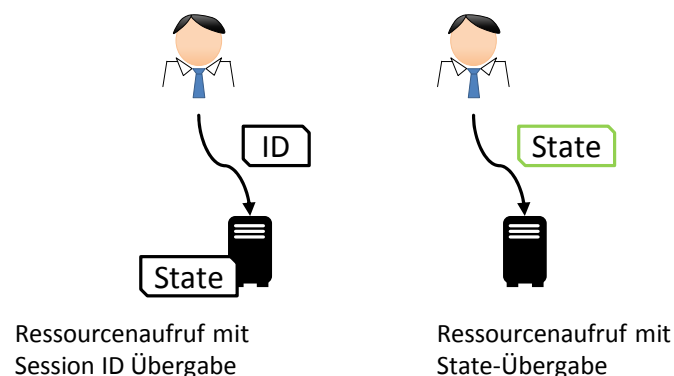
Problemstellung: Das Design von Anwendungen richtet sich in der Regel nach den funktionalen Anforderungen der Anwendung. Dies stellt sicher, dass die Kommunikation mit Kunden das erwartete Ergebnis liefert und die erforderlichen Informationen jederzeit verfügbar sind. Die direkte Kopplung von spezifischen Kundenanfragen an bestimmte Ressourcen führt jedoch dazu, dass viele Ressourcen vorgehalten werden müssen und Anfragen nicht dynamisch von unterschiedlichen Ressourcen beantwortet werden können. Eine flexible Anpassung an den eigentlichen Bedarf ist damit nur schwer möglich, da unter Umständen mehr Ressourcen vorgehalten werden müssen, als eigentlich notwendig. Dadurch kann der Energiebedarf der Ressourcen deutlich ansteigen. Rechenzentren bieten heutzutage typischerweise die Möglichkeit, Ressourcen auf Basis des aktuellen Bedarfs zu starten oder zu stoppen. Dies reduziert den

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

anwendungsinduzierten Energiebedarf, wenn die Anwendung die Anforderungen an eine solche Architektur unterstützt.

Lösung: Die Grundidee dieses Patterns ist die Bereitstellung eines Mechanismus zur Ausführung von Anfragen auf beliebigen Ressourcen. Dieser Ressourcenpool kann dynamisch und flexibel an den aktuellen Bedarf angepasst werden. Anwendungen müssen für die Nutzung eines solchen Ressourcenpools ein so genanntes *stateless resource design* unterstützen. Die Client Seite muss so gestaltet werden, dass alle Informationen, welche für die Abarbeitung der Anfrage relevant sind, im entsprechenden Aufruf enthalten sind. Damit wird erreicht, dass die Anfrage von jeder Ressource des Pools bedient werden kann. Für die Implementierung einer solchen Lösung können Methoden wie URL Parameter, versteckte Felder oder Cookies verwendet werden. Weiterführende Informationen sind unter [Ora14] zu finden.

Lösungsskizze:



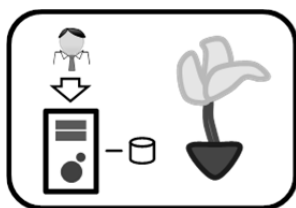
Ergebnis: Wird der gesamte Zustand einer Interaktion mit dem Aufruf bereitgestellt, benötigen die Ressourcen selbst keine spezifischen Informationen zur Abarbeitung dieser Anfrage. Jede Ressource, welche die Anwendungsfunktionalität bereitstellt, kann eine solche Anfrage abarbeiten. Diese zustandslosen Ressourcen können wesentlich effektiver skaliert werden als zustandsbehaftete Ressourcen. Nicht benötigte Ressourcen können abgeschaltet und bei Bedarf wieder gestartet werden. Durch die bedarfsgerechte Bereitstellung von Ressourcen wird der Energiebedarf auf den tatsächlichen Ressourcenbedarf beschränkt. Es ist

jedoch zu beachten, dass für jeden Aufruf der gesamte Zustand einer Anfrage übermittelt werden muss. Dadurch kann der Informationstransfer deutlich erhöht werden, was zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führt.

Beispiele: Ein typisches Beispiel für die Anwendung dieses Patterns ist das Online-Shopping. Informationen zur Identifikation eines Kunden sowie zu den Artikeln, welche sich im Warenkorb des Kunden befinden, werden typischerweise in Cookies gespeichert. Dadurch können die Ressourcen für die Bereitstellung des Online-Katalogs von den Ressourcen für die Verarbeitung einer Bestellung getrennt werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein nur für automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* angewendet werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Die flexible und bedarfsorientierte Nutzung von Ressourcen kann durch die Patterns *Green Public Cloud* und *Green Loose Coupling* weiter unterstützt werden. Zudem kann das Pattern *Green Resource Change* die Auswahl geeigneter Ressourcen beeinflussen und die Patterns *Insourcing* und *Outsourcing* den effizienten Betrieb dieser Ressourcen optimieren. Benötigt eine Anwendung eine große Menge an Kontextinformationen und erhöht diese damit den Kommunikationsaufwand zwischen Client und Server, so kann es sinnvoll sein, das Pattern *Green Database Session State* als Alternative zu verwenden.

IP6: Green Database Session State



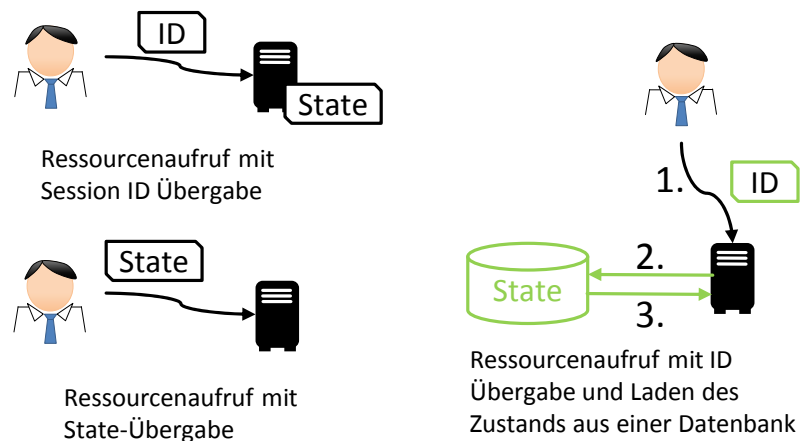
Vorhalten von Kontextinformationen in einer Datenbank zur Reduktion der Kommunikation zwischen Client und Server sowie zur Nutzung zustandsloser Ressourcen.

Kontext: Ein Unternehmen mit vielen Client-Server Anwendungen möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Das Design von Anwendungen richtet sich in der Regel nach den funktionalen Anforderungen der Anwendung. Dies stellt sicher, dass die Kommunikation mit Kunden das erwartete Ergebnis liefert und die erforderlichen Informationen jederzeit verfügbar sind. Hierzu können Zustandsinformationen innerhalb einer Ressource bereitgestellt werden, wodurch jedoch eine direkte Zuordnung von Aufruf und Ressource hergestellt wird. Neben den zum Einsatz kommenden Ressourcen ist auch die Kommunikation zwischen Client und Server für den Energieverbrauch ausschlaggebend. Werden große Mengen an Daten zwischen den Parteien ausgetauscht, trägt die Kommunikation zu einem entsprechenden Anstieg des Energieverbrauchs bei. Deshalb ist es in bestimmten Szenarien wichtig, die Kommunikation zwischen Client und Server zu reduzieren, ohne jedoch zu viel Flexibilität zu verlieren.

Lösung: Zur Reduktion des Kommunikationsaufwands müssen Informationen dem Server zugänglich gemacht werden. Um sowohl die Bindung konkreter Ressourcen, als auch einen erhöhten Kommunikationsaufwand zu vermeiden, wird der Zustand eines Anwendungsaufrufs, d.h. der Zustand einer Prozessaktivität, in einer Datenbank verwaltet. Hierzu muss ein geeignetes Datenformat definiert werden, welches die Anforderungen der Anwendung adäquat abdeckt. Die zur Ausführung relevanten Informationen können zu jeder Zeit vom Server abgefragt werden. Die Persistierung der Kontextinformationen ist vom konkreten Anwendungsfall abhängig.

Lösungsskizze:



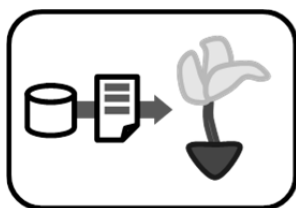
Ergebnis: Wird der Anwendungszustand von einer Datenbank verwaltet, muss (1) der Client entsprechend weniger Informationen für die Ausführung bereitstellen und (2) werden Ressourcen nicht an einen konkreten Benutzer gebunden. Dadurch wird der Gesamtenergieverbrauch auf unterschiedliche Arten beeinflusst: (1) der Kommunikationsaufwand zwischen Client und Server kann reduziert werden. (2) Der clientseitige Umfang an Ressourcen kann durch die Verwaltung von Informationen durch Serverressourcen reduziert werden. Komplexe Aufbereitungen der Informationen können beispielsweise auf leistungsstarken Servern durchgeführt werden. (3) Die Client Informationen werden typischerweise in einem generischen Datenformat persistiert. Dadurch können diese Informationen, je nach Anwendungsfall, ohne komplexe Transformationen in andere Formate serialisiert werden. (4) Die zur Verarbeitung von Anfragen eingesetzten Ressourcen können dynamisch an die Anzahl der Anfragen angepasst werden.

Beispiele: In einem Krankenhaus werden Patientendaten typischerweise nur in geringer Frequenz eingetragen oder abgefragt. Die Leerlaufzeiten zwischen den verschiedenen Interaktionen können durchaus mehrere Stunden betragen. Zudem müssen die Informationen in verschiedenen Bereichen des Krankenhauses verfügbar sein, d.h. nicht nur bei einzelnen Clients. Werden alle relevanten Informationen in einer Datenbank verwaltet, sind diese zum einen aus allen Bereichen des Krankenhauses

zugänglich und zum anderen können durch viele Aufrufe durch eine geringe Anzahl an Ressourcen abgedeckt werden. Darüber hinaus können Client Ressourcen in Leerlaufzeiten sogar komplett abgeschaltet werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein nur für automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* eingesetzt werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die serverseitige Anpassung der Ressourcen, insbesondere zur Unterstützung einer geeigneten Persistierung der Anwendungsdaten, kann das Pattern *Resource Change* verwendet werden. Für ein zielorientiertes Abfragen der persistierten Informationen bietet das Pattern *Green Data Transfer Object* eine geeignete Möglichkeit. Das Pattern *Green Batch Processing* eignet sich darüber hinaus zur Verbesserung der serverseitigen Ressourcenauslastung. Benötigt eine Anwendung nur kleine Menge an Kontextinformationen und entsteht dadurch ein geringer Kommunikationsaufwand zwischen Client und Server, so kann es sinnvoll sein, das Pattern *Green Client Session State* als Alternative zu verwenden.

IP7: Green Data Transfer Object



Definition von spezifischen Datenobjekten zur Optimierung von Systemaufrufen und Reduzierung der Last von Ressourcen.

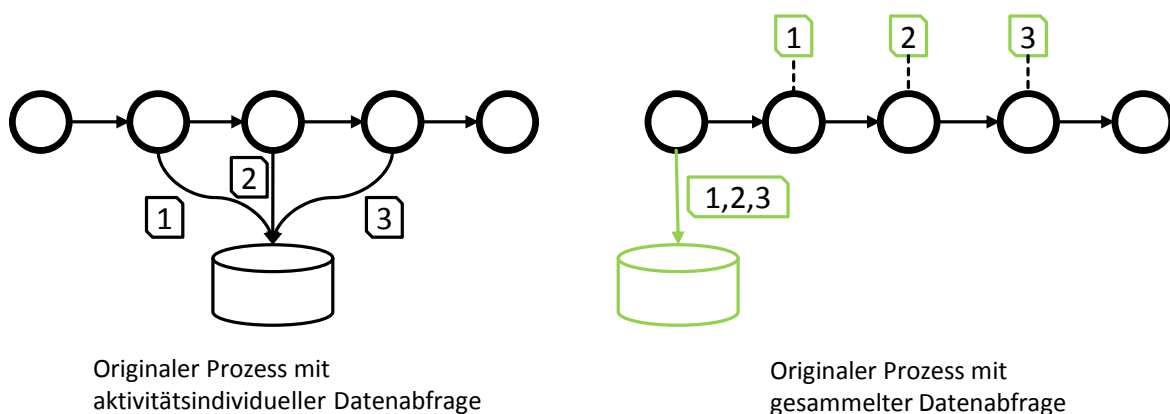
Kontext: Ein Unternehmen mit hohem Kommunikationsaufwand zwischen Anwendungen und Services möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Geschäftsprozesse verarbeiten bei ihrer Ausführung verschiedene Arten von Informationen. Der Umfang dieser Informationen

wird durch die funktionalen Anforderungen der jeweiligen Aktivität und ihrer Realisierung definiert. Die Bereitstellung aller potentiell benötigten Informationen stellt eine korrekte und zeitnahe Ausführung des Prozesses sicher. Jede Abfrage von Informationen generiert dabei eine bestimmte Last auf Systeme und Infrastrukturen und erhöht somit den gesamten Energiebedarf eines Prozesses. Für jede Abfrage von Informationen muss beispielsweise ein Kommunikationskanal aufgebaut und Daten für die Übertragung serialisiert werden. Damit trägt neben dem Abruf von Informationen auch die Menge der Informationen sowie die Übertragung dieser zwischen verschiedenen Systemen zu einer weiteren Erhöhung des Energieverbrauchs eines Prozesses bei.

Lösung: Zur Reduzierung des Energieverbrauchs muss der Kommunikationsaufwand zwischen verschiedenen Systemen sowie die Anzahl der Informationsabrufe reduziert werden. Hierfür können verschiedene Informationen in einer Abfrage gebündelt werden. Informationen einer solchen Abfrage können anschließend von einzelnen Aktivitäten oder sogar prozessübergreifend verwendet werden. Für die technische Implementierung werden Anfragen an ein System in so genannten *Data Transfer Objects* gekapselt, welche zum Beispiel verschiedene Datenbankabfragen zusammenfassen. Die Objekte werden dabei so gestaltet, dass möglichst nur die relevanten Informationen einer Anwendung oder eines Prozesses abgedeckt werden.

Lösungsskizze:

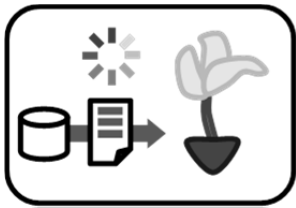


Ergebnis: Die Zusammenführung von Informationsanfragen kann die Gesamtanzahl an Anfragen reduzieren und dadurch den durch verschiedene, einzelne Abfragen induzierten Energieverbrauch reduzieren. Die Reduzierung der Anzahl der Anfragen ermöglicht eine effizientere Anfrage an Datenquellen, beispielsweise durch die Reduktion der erforderlichen Kommunikationskanäle. Dies reduziert ebenfalls die benötigten Ressourcen für die Serialisierung der angefragten Informationen. Darüber hinaus kann eine Bündelung von Informationen in zeitunkritischen Anwendungsszenarien die gesamte Ressourcenbereitstellungszeit reduzieren. Damit kann der Gesamtenergieverbrauch weiter gesenkt werden.

Beispiele: PostgreSQL [Pos13] bietet ab Version 9.2 Funktionalitäten zur Reduktion der Anfragen an eine Datenbank. Der Einsatz dieser Methoden ermöglicht es, dass Datenbanken länger im Stand-by Zustand verbleiben. Dadurch werden aktive Leerlaufzeiten verkürzt und folglich der Energieverbrauch gesenkt.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Muss der Kontrollfluss eines Prozesses für die Anwendung des Patterns angepasst werden, können die Patterns *Green Variant*, *Green Control Flow* oder *Process Automation* verwendet werden. Mit Hilfe der Patterns *Green Gateway* und *Green Batch Processing* können Anfragen auch über Anwendungs- und Prozessgrenzen hinaus gebündelt werden, wodurch sich der Kommunikationsaufwand weiter reduziert. Das Pattern *Green Lazy Load* ermöglicht darüber hinaus, die Menge an übertragenen Informationen zu reduzieren.

IP8: Green Lazy Load



Vermeidung des Ladens von möglicherweise nicht benötigten Daten im Voraus.

Kontext: Ein Unternehmen mit datenintensiven Anwendungen und Services möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

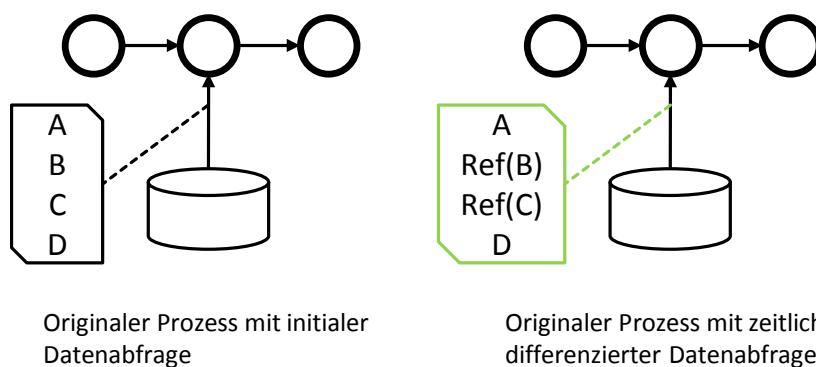
Problemstellung: Während der Ausführung verarbeitet ein Geschäftsprozess verschiedene Informationen aus unterschiedlichen Quellsystemen. Das zeitnahe Bereitstellen aller vom Prozess möglicherweise benötigten Informationen stellt sicher, dass der Prozess stets mit den erforderlichen Informationen bedient wird und kurze Ausführungszeiten eingehalten werden können. Jedoch gibt es Anwendungsfälle, insbesondere in komplexen Geschäftsprozessen, bei denen nicht alle Informationen zu Beginn der Ausführung bereitgestellt werden müssen. In Abhängigkeit von Benutzereingaben oder alternativen Pfaden im Kontrollfluss kann nur ein Teil der Informationen für die Verarbeitung relevant sein. Die Bereitstellung aller Informationen hat jedoch eine negative Auswirkung auf den Umwelteinfluss des Geschäftsprozesses, da Informationen angefragt, serialisiert, übertragen und anschließend wieder de-serialisiert werden müssen, obwohl diese möglicherweise nicht benötigt werden. Dies steigert den mit der Prozessausführung assoziierten Energieverbrauch.

Lösung: Im ersten Schritt muss anhand des Prozessmodells identifiziert werden, welche Daten zu welchem Zeitpunkt der Ausführung benötigt werden. Anhand existierender Monitoring oder Audit Informationen muss herausgearbeitet werden, welche Daten in nahezu allen Prozessinstanzen und welche nur in sehr wenigen Prozessinstanzen benötigt werden. Sind diese Daten bekannt, so muss die Anfrage im Hinblick auf die Abfrage der Daten angepasst werden. Die Abfrage wird dabei so gestaltet, dass initial

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

nur diejenigen Daten geladen werden, welche in den meisten Prozessinstanzen benötigt werden. Alle weiteren, potentiell benötigten Daten werden lediglich mit einem *Marker* versehen. Dieser Marker zeigt an, dass diese Daten derzeit nicht verfügbar sind, bei Bedarf jedoch nachgeladen werden können. Dadurch wird ermöglicht, dass der Prozess jederzeit die komplette Datenstruktur einsehen kann. Diese Struktur zeigt an den angepassten Stellen jedoch nur auf eine Referenz, an welcher Stelle die eigentlichen Daten zu finden sind.

Lösungsskizze:



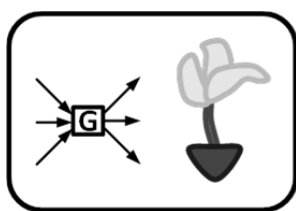
Ergebnis: Die Anwendung dieses Patterns dient der Optimierung des Kommunikationsaufwands bei der Ausführung eines Geschäftsprozesses. Die Auswirkungen beziehen sich dabei sowohl auf die Kommunikation und den Transport von Daten als auch auf die Verarbeitung dieser Daten. Durch die Einführung von Markern und Referenzen innerhalb der Datenstruktur müssen initial weniger Daten abgefragt und verarbeitet werden. Durch die Definition der am häufigsten verwendeten Daten kann so der Abfrage- und Transportaufwand reduziert und damit auch der Energiebedarf gesenkt werden.

Beispiele: Ein typisches Beispiel dieses Patterns ist das Web Interface von online Versandhändlern wie Amazon. Benutzer können hier eine Übersicht ihrer getätigten Bestellungen einsehen und bei Bedarf auch weitere Details einer Bestellung abfragen. Normalerweise wollen Kunden nicht Details zu allen ihrer jemals getätigten Bestellungen einsehen, sondern beispielsweise nur zu den noch offenen Bestellungen. Deshalb müssen zu Beginn nicht

die kompletten Daten zu allen Bestellungen geladen werden. Hierfür reicht eine Liste mit einer Übersicht der Bestellungen und eine interne Referenz, an welcher Stelle die weiteren Bestelldetails abgelegt sind. Will der Benutzer eine ältere Bestellung abfragen, so kann diese nachgeladen werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Die Patterns *Green External Choice* und *Green Gateway* können verwendet werden, um Entscheidungspunkte für das Nachladen von Daten zu definieren. Das Pattern *Green Data Transfer Object* kann helfen, durch Optimierung der Anfragen das Laden der zu bereitstellenden und der nachzuladenden Daten noch effizienter zu machen. Auch die Automatisierung von Geschäftsprozessen (*Process Automation*) kann die Bereitstellung der Daten ökologisch effizienter machen. Werden Daten nur unregelmäßig oder sehr häufig angefragt, kann auch das *Outsourcing* bzw. *Insourcing* von Speicherlösungen zur ökologisch effizienteren Ressourcenauslastung sinnvoll sein.

IP9: Green Gateway



Zentrale Verwaltung der Zugriffe auf externe Systeme oder Ressourcen, um die Gesamtanzahl der Zugriffe zu minimieren und die Ressourcenauslastung zu verbessern.

Kontext: Ein Unternehmen mit heterogener Kommunikationslandschaft zwischen Anwendungen und Services möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

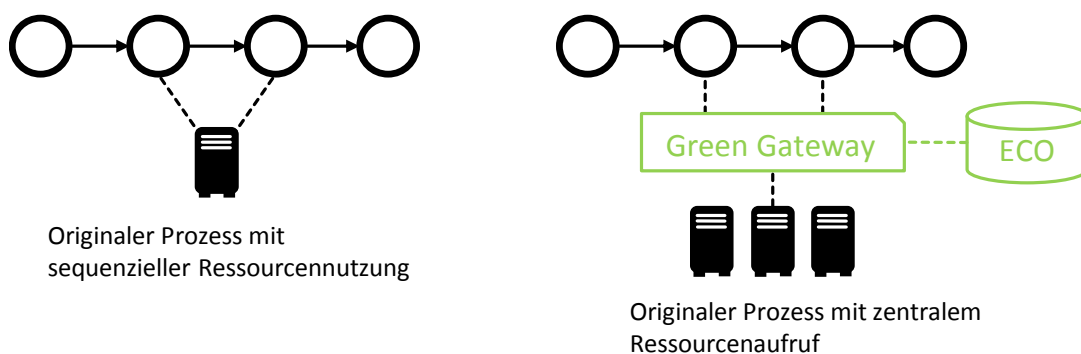
Problemstellung: In heutigen, serviceorientierten Architekturen werden Geschäftsprozesse und Anwendungen typischerweise aus vielen verschiedenen Services zusammengesetzt. Für den Aufruf dieser Services

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

werden dabei häufig spezifische Schnittstellen definiert. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass die erforderlichen Services zum richtigen Zeitpunkt aufgerufen und Daten entsprechend verarbeitet werden. Dieser, aus globaler Sicht, unkoordinierte Aufruf verschiedener Services, welche unter Nutzung verschiedener Ressourcen ausgeführt werden, setzt eine stetige Verfügbarkeit der Ressourcen und Kommunikationskanäle voraus. Eine Erhöhung der Anzahl an Kommunikationskanälen sowie die stetige Bereitschaft der Ressourcen hat einen negativen Einfluss auf den Energiebedarf eines oder mehrere Geschäftsprozesse.

Lösung: Durch die Einführung eines *Green Gateway* kann der Zugriff auf externe Prozesse, Anwendungen und Services überwacht und beeinflusst werden. Ein *Green Gateway* steuert dabei die gesamte Kommunikation zwischen verschiedenen Ressourcen, d.h., er kapselt die ursprünglichen Aufrufe und leitet diese auf Basis verschiedener, definierter Regeln weiter. Diese Regeln können beispielsweise durch einen Zeitplan, die Anzahl der Aufrufe oder den Wert eines Key Ecological Indicators definiert sein. Damit deckt ein *Green Gateway* zwei unterschiedliche Aspekte ab: (1) die Kapselung verschiedener, möglicherweise komplexer Schnittstellen von Ressourcen und (2) die Steuerung der Aufrufe anhand technischer, geschäftlicher und ökologischer Zielvorgaben. Auch die Einführung von Caching-Mechanismen kann sich positiv auf den Umwelteinfluss auswirken, da bestimmte Aufrufe komplett eingespart werden können.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Ein integrierter Green Gateway agiert als Mittler, welcher Anfragen an bestimmte Ressourcen verwaltet. Die Kommunikation bestehender Prozesse und Anwendungen, welche dementsprechend angepasst wurden, wird auf Basis interner oder externer Zielvorgaben, Regeln und Indikatoren definiert. Durch die zentrale Koordination der verschiedenen Aufrufe können Ressourcen zielgerichtet bereitgestellt und eingesetzt werden. Beispielsweise können Server in der IT, jeweils in Abhängigkeit der funktionalen Anforderungen des Prozesses, länger im Stand-by verweilen, was den Energiebedarf senkt und sich damit positiv auf den Umwelteinfluss auswirkt.

Beispiel: Eine Handelsgesellschaft hat verschiedene Verträge mit Logistikunternehmen, welche den Versand der Produkte des Unternehmens übernehmen. Die Nutzung eines Green Gateway ermöglicht es der Handelsgesellschaft, die Auswahl eines konkreten Logistikpartners und des Versandtyps für einen Versandauftrag anhand des aktuellen CO₂ Ausstoßes des Unternehmens zu wählen. So können beispielsweise monatliche Zielvorgaben besser eingehalten und verbessert werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Anpassung des Kontrollflusses eines Prozessmodells können folgende Patterns verwendet werden: Das Pattern *Green Control Flow* ermöglicht es, den Kontrollfluss an diese neue Konstellation anzupassen. Das Pattern *Common Process Improvement* kann dazu verwendet werden, um mit der Einführung eines *Green Gateways* auch den Kontrollfluss des Prozessmodells dahingehend zu optimieren. Das Pattern *Process Automation* kann im Rahmen der Automatisierung von Aktivitäten zu einer weiteren Verbesserung der Ausführungseffizienz und damit einer Reduzierung der Ressourcenallokation beitragen. Die Entkopplung der verschiedenen Services und Ressourcen kann zudem das *Outsourcing* einzelner Ressourcen ermöglichen, wodurch Skaleneffekte und damit eine

Reduzierung des globalen negativen Umwelteinflusses erreicht werden können.

Die Einführung eines *Green Gateway* kann auch auf Ebene der beteiligten Ressourcen Auswirkungen haben. Das Pattern *Green Loose Coupling* ermöglicht die Entkopplung verschiedener Anwendungskomponenten, welche dadurch flexibel aufgerufen und kombiniert werden können. Das Pattern *Green Batch Processing Component* kann hierbei in Kombination verwendet werden, um die Art des Aufrufs externer Ressourcen weiter positiv zu beeinflussen. Auch der Datenaustausch ermöglicht es, in Kombination mit der Einführung des *Green Gateway* Patterns die belastenden Umwelteinflüsse weiter reduzieren. Das Pattern *Green Data Transfer* definiert, welche Daten zu welchem Zeitpunkt bereitgestellt werden. Dadurch können beispielsweise einzelne Datenanfragen gebündelt werden. Das Pattern *Green Lazy Load* kann die Auswahl dieser Daten noch einmal einschränken und diejenigen Daten bereitstellen, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit benötigt werden. Das Pattern *Green External Choice* bietet zudem eine Erweiterung der Entscheidungsgrundlage für das Routing des Gateways durch die Bereitstellung externer Faktoren.

5.4.5 Implizite Green Business Process Patterns: Cloud Computing

Dieses Kapitel beschreibt verschiedene implizite Green Business Process Patterns aus dem Bereich *Cloud Computing*, welche in ursprünglicher Form in [FLR+14] beschrieben sind. Die dort beschriebenen Lösungsansätze wurden nicht zur direkten Verbesserung des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen erfasst und dokumentiert. Die beschriebenen Patterns werden in der in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungssprache dokumentiert und adressieren die in Kapitel 5.2.2 aufgezeigten Charakteristika ökologischer Geschäftsprozesse.

IP10: Green Public Cloud



Verwendung von externen Cloud Computing Ressourcen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz.

Kontext: Ein Unternehmen mit lose gekoppelten Anwendungskomponenten, welche durch Geschäftsprozesse orchestriert werden, möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

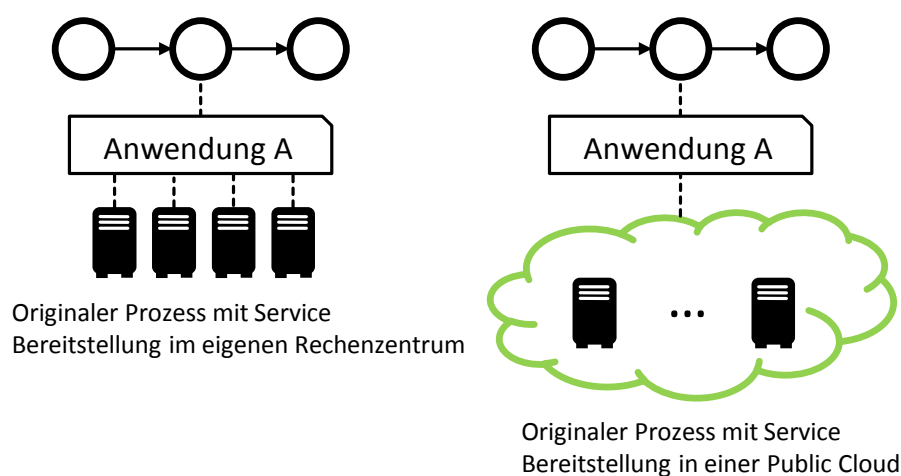
Problemstellung: Unternehmen betreiben Geschäftsprozesse und Anwendungen in ihren eigenen Rechenzentren, um jederzeit die volle Kontrolle über diese Komponenten und ihre Interaktionen zu haben. Um Ressourcenengpässe gegenüber Kunden zu vermeiden, müssen allerdings immer so viele Ressourcen bereitgestellt werden, dass auch unerwartete Spitzenlasten abgearbeitet werden können. Dieses Vorhalten von meist nicht voll genutzten Ressourcen führt dazu, dass der Energieverbrauch höher als nötig ausfällt und somit auch die negativen Umwelteinflüsse, insbesondere der Energieverbrauch, steigen. Die Herausforderung ist somit, die Anzahl der Ressourcen bedarfsorientiert zu bestimmen und bereitzustellen.

Lösung: Cloud Anbieter haben sich auf die bedarfsgerechte Bereitstellung und den Betrieb von Computerressourcen spezialisiert. Die Anbieter stellen hierzu Ressourcenpools bereit, welche standardisiert und bedarfsorientiert betrieben und genutzt werden können. Um eine Anwendung in einer Cloud Umgebung zu betreiben, müssen zunächst geeignete Anwendungskomponenten identifiziert werden. Diese müssen hinsichtlich ihrer funktionalen und nicht-funktionalen Eigenschaften analysiert werden. Anwendungskomponenten, welche lose gekoppelt und skalierbar sind, d.h., Komponenten, welche über verschiedene Ressourcen hinweg betrieben werden können, eignen sich typischerweise gut für den Betrieb in einer Cloud Umgebung. Benötigen diese Komponenten keinen

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

spezifischen Ausführungskontext, so können sowohl die Komponenten als auch die ausführenden Ressourcen dynamisch und bedarfsorientiert an- und abgeschaltet werden. Sind geeignete Anwendungskomponenten identifiziert, so müssen für eine Migration darüber hinaus auch die verschiedenen Cloud Servicemodelle betrachtet werden. Nutzt eine Anwendung beispielsweise einen konventionellen Middleware-Stack, so kann entweder eine Infrastructure as a Service (IaaS) oder Platform as a Service (PaaS) Lösung verwendet werden.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Anstatt alle Anwendungskomponenten innerhalb des eigenen Rechenzentrums zu betreiben, werden einzelne Komponenten bei externen Cloud Anbietern bereitgestellt. Für die Nutzung der Ressourcen, welche als Self-Service bereitgestellt und nach der Pay-as-you-go Methode abgerechnet werden, erfolgt der Zugriff über ein Netzwerk. Der Vorteil der Nutzung einer solchen Cloud Lösung aus Umweltsicht ist, dass (1) ein Cloud Anbieter immer einen Pool von Ressourcen betreibt, welcher von verschiedenen Kunden benutzt wird. Dadurch steigt die individuelle Auslastung der Ressourcen, und Skaleneffekte können erzielt werden. (2) Kunden nutzen die Ressourcen in Abhängigkeit ihres tatsächlichen Ressourcenbedarfs. Ändert sich der aktuelle Bedarf, so können Ressourcen hinzugefügt oder abgeschaltet werden. Dieser Vorgang dauert in der Regel nur einige Minuten. Darüber hinaus wird das komplette Management der

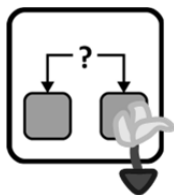
Ressourcen an den Cloud Anbieter übertragen, was unter Umständen auch zu einer Kostenersparnis führt.

Beispiele: Bei der Nutzung von Public Cloud Lösungen können entweder die eigenen Anwendungskomponenten migriert oder aber existierende Cloud Anwendungen verwendet werden. Ein Beispiele für existierende Cloud Anwendungen ist die Nutzung eines umfassenden Kundenbeziehungsmanagements, wie es beispielsweise von Salesforce [Sal14] angeboten wird, oder eines E-Mail Services wie GMail [Goo14]. Ein Beispiel für die Nutzung eigener Anwendungskomponenten ist die Bereitstellung von Entwicklungs- und Testumgebungen. Infrastruktur- oder Plattformservices können komplette Entwicklungsumgebungen binnen Minuten bereitstellen und diese je nach Bedarf auch wieder abschalten. Dadurch können Ressourcen beispielsweise nur für den Zeitraum eines bestimmten Projektes allokiert werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein nur für automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* angewendet werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Migration existierender Anwendungskomponenten können die Patterns *Outsourcing* und *Resource Change* hilfreich sein. Sie beschreiben allgemein, wie Ressourcen ausgetauscht werden können. Das Pattern *Green Loose Coupling* unterstützt dabei die Entkopplung von Anwendungskomponenten als Ausgangsbasis für die effiziente Nutzung einer Cloud Lösung. Das Pattern *Green Client Session State* zeigt zudem, wie der Anwendungskontext beim Benutzer abgelegt werden kann, um mehr Flexibilität und damit eine Entkopplung von Anwendungskomponenten und konkreten Ressourcen zu erreichen. Für die effiziente Kommunikation mit externen Anwendungskomponenten beschreiben die Patterns *Green Data Transfer Object* und *Green Lazy Load*, welche Daten zu welchem Zeitpunkt dem Geschäftsprozess und den beteiligten Ausführungsressourcen bereitgestellt

werden müssen. Das Pattern *Green Batch Processing* beschreibt ferner, wie die Nutzung von Ressourcen gebündelt werden kann. Auch eine aus Umweltsicht effiziente Synchronisation von Daten, beschrieben durch das Pattern *Green Eventual Consistency*, kann den Umwelteinfluss weiter verbessern. Um Cloud Ressourcen in Abhängigkeit des entsprechenden Geschäftsprozesses so bald wie möglich wieder freizugeben, beschreibt das Pattern *Green Explicit Termination*, wie Geschäftsprozesse explizit beendet und damit Ressourcen freigegeben werden können.

IP11: Green Loose Coupling



Minimierung der Beziehungen zwischen verschiedenen Komponenten, um Abhängigkeiten zu spezifischen Ressourcen zu minimieren.

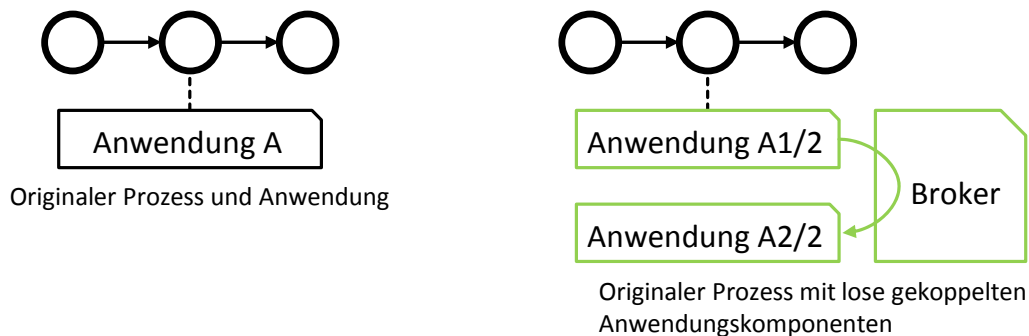
Kontext: Ein Unternehmen mit eng gekoppelten Anwendungskomponenten möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Eine enge Kopplung von Anwendungskomponenten stellt eine sichere und gut überwachbare Kommunikation zwischen den Komponenten sowie eine integrierte Datenhaltung sicher. Um eine dynamische Skalierung von Anwendungen, wie beispielsweise in Cloud Umgebungen, zu ermöglichen, müssen die Abhängigkeiten zwischen Komponenten jedoch so weit wie möglich reduziert werden. Dadurch können Ressourcen flexibel ausgetauscht und hinzu- oder abgeschaltet werden. Die Herausforderung in einem solchen Szenario ist es, die Integration verschiedener, lose gekoppelter Anwendungskomponenten und damit die korrekte Ausführung einer Anwendung sicherzustellen.

Lösung: Für die Integration der verschiedenen Anwendungskomponenten wird eine Broker Komponente eingeführt, welche die gesamte Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten kapselt.

Hierbei muss sichergestellt werden, dass die Broker-Komponente (1) von verschiedenen Plattformen aus aufgerufen werden kann und (2) die Lokation, das Protokoll und das entsprechende Datenformat des Aufrufs kennt. Dadurch können Komponenten als einzelne Einheiten eingesetzt werden.

Lösungsskizze:



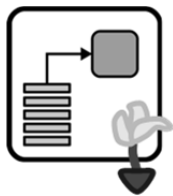
Ergebnis: Der Einsatz einer Broker-Komponente ermöglicht einen hohen Grad an Entkopplung zwischen verschiedenen Komponenten einer Anwendung. Dadurch können die Ressource selbst und auch ihre Lokation individuell bestimmt werden. Ressourcen können damit unter Berücksichtigung des aktuellen Bedarfs eingesetzt werden, was bei geeigneter Auswahl einen positiven Umwelteinfluss mit sich bringt. Werden für die dynamische Auswahl skalierbare Komponenten verwendet, so kann die gesamte Anzahl benötigter Ressourcen weiter reduziert werden. Bei der Implementierung ist jedoch zu beachten, dass die Einführung einer neuen Broker Komponente den Ressourcenbedarf zunächst erhöht. Es ist deshalb individuell zu analysieren, ob die Vorteile eines zielgerichteten, dynamischen Einsatzes der einzelnen Anwendungskomponenten den zusätzlichen, negativen Umwelteinfluss dieser Komponente kompensieren.

Beispiele: Ein typisches Beispiel für die lose Kopplung von Services sind serviceorientierte Architekturen (SOA), da Web Services typischerweise in sich geschlossene Komponenten darstellen. Werden mehrere Web Services zur Erfüllung einer Aufgabe benötigt, wird ihre Kommunikation

typischerweise durch einen Geschäftsprozess abgebildet. Die Ausführungsumgebung eines solchen Geschäftsprozesses übernimmt dann die gesamte Kommunikation der verschiedenen Services. Web Services können zudem zustandslos sein, d.h., der Ausführungskontext wird in jedem Aufruf übergeben. Dadurch kann eine noch höhere Flexibilität erreicht werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein für manuelle und automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* angewendet werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Adaption existierender Anwendungskomponenten kann das Pattern *Green Resource Change* hilfreich sein. Es beschreibt allgemein, wie Ressourcen ausgetauscht werden können. Für die Einbindung von lose gekoppelten Anwendungskomponenten in einen höheren Ausführungskontext helfen die Patterns *Green Control Flow*, *Green External Choice* und *Green Gateway* den involvierten Geschäftsprozess entsprechend anzupassen. Das Pattern *Green Control Flow* zeigt, wie der Kontrollfluss auf die neuen Aktivitäten und Ressourcen angepasst werden kann. Das Pattern *Green External Choice* beschreibt, wie externe Informationen, beispielsweise über die Laufzeitumgebung, berücksichtigt werden können. Das Pattern *Green Gateway* beschreibt darüber hinaus, wie der eingeführte Broker zur weiteren Berücksichtigung ökologischer Zielvorgaben gestaltet werden kann. Das Pattern *Green Client Session State* beschreibt, wie die Flexibilität durch Bereitstellung des Ausführungskontexts durch den Benutzer weiter verbessert werden kann. Durch die Einführung eines Brokers wird auch die Kommunikation zwischen den Komponenten verändert. Das Pattern *Green Batch Processing* zeigt, wie die Kommunikation zwischen Komponenten zu bündeln ist. Das Pattern *Green Eventual Consistency* beschreibt, wie die Verteilung von Daten aus Umweltsicht effizienter gestaltet werden kann.

IP12: Green Batch Processing Component



Verzögerung und Bündelung der Verarbeitung von Anfragen, basierend auf internen und externen Anforderungen, um die Bereitstellung und Auslastung von Ressourcen zu optimieren.

Kontext: Ein Unternehmen mit verschiedenen Services, welche miteinander kommunizieren und verschiedene Aufgaben abdecken, möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

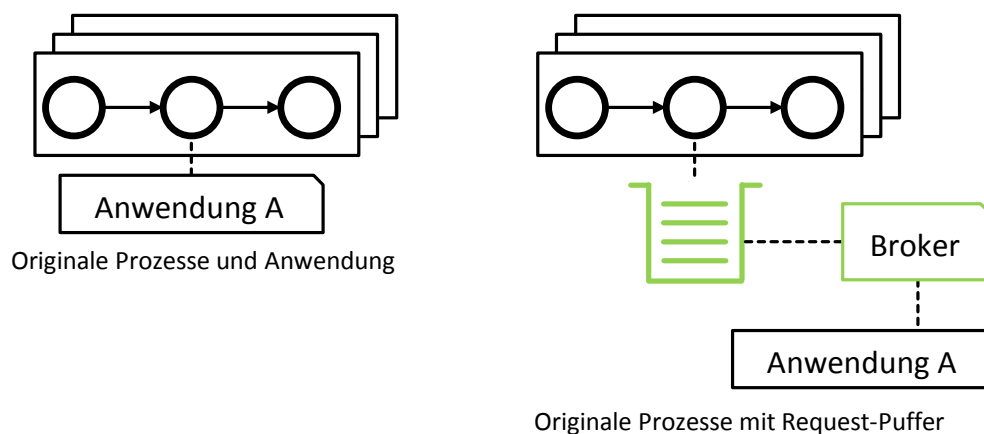
Problemstellung: Die Verarbeitung von Aufgaben durch Anwendungen und Services erfolgt typischerweise direkt nach der Initiierung des entsprechenden Aufrufs. Dies hat den Vorteil, dass Aufgaben unmittelbar nach ihrem Aufruf abgearbeitet werden und dadurch beispielsweise die Latenz eines Services so gering wie möglich gehalten wird. Jedoch steigt der Energieverbrauch eines Services mit der Anzahl der individuellen Aufrufe, da Ressourcen zu jeder Zeit verfügbar sein müssen. Die Herausforderung einer energieeffizienten Verarbeitung von Anfragen ist demnach, die richtigen Ressourcen zum richtigen Zeitpunkt bereitzustellen sowie die Durchlaufzeiten einer Prozessaufgabe hinsichtlich der Geschäftsziele auszurichten.

Lösung: Für die Bereitstellung von skalierbaren und flexiblen Anwendungen wird die Verarbeitungslogik typischerweise auf verschiedene Anwendungskomponenten verteilt. Der Aufruf dieser Anwendungskomponenten kann auf Basis der verschiedenen Eigenschaften eines Aufrufs ökonomischer gestaltet werden. Eine Möglichkeit hierzu ist die Einführung oder Erweiterung einer Broker Komponente, welche die eingehenden Aufrufe über verschiedene Prozessinstanzen hinweg anhand bestimmter Regeln, beispielsweise Ressourcenverfügbarkeit, Kosten, aktuellem Energieverbrauch etc., verarbeitet. Hierfür kann beispielsweise ein so genannter Enterprise Services Bus

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

verwendet werden. Insbesondere die Abarbeitung von vielen kleinen Aufrufen kann aus Energiesicht durch eine Bündelung dieser Aufrufe verbessert werden. Die Bereitstellung der Ressourcen kann dadurch an der konkreten Arbeitslast ausgerichtet werden. Für die Umsetzung einer stapelweisen Verarbeitung der Aufrufe müssen die einzelnen Anwendungskomponenten asynchron miteinander kommunizieren. Die Broker Komponente muss Aufrufe jederzeit entgegennehmen, sammelt diese und leitet sie auf Basis der definierten Regeln an die eigentlichen Anwendungskomponenten weiter.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Durch die Einführung einer Puffer-Komponente kommunizieren Prozessinstanzen nicht mehr direkt mit Anwendungskomponenten, sondern indirekt durch eine Broker-Komponente, welche die Anfragen aus der Puffer-Komponente verarbeitet. Da die Anzahl der zu verarbeitenden Aufrufe vor der eigentlichen Abarbeitung bereits bekannt ist, können geeignete Ressourcen für die Ausführung ausgewählt werden. In Abhängigkeit der definierten Verarbeitungsregeln kann die Bereitstellung von geeigneten Ressourcen vor jeder Ausführung einer Menge von Aufrufen individuell festgelegt werden. Werden in einem Zeitraum keine Ressourcen benötigt, so können diese freigegeben oder in Stand-by geschaltet werden. Kommen beispielsweise Cloud Computing Ressourcen zum Einsatz, können diese spezifisch für die Abarbeitung einer bestimmten Menge an Aufrufen allokiert werden.

Beispiele: Beispiele für dieses Pattern bietet die Betrachtung von Handelsunternehmen, welche Vertragspartner eines globalen Logistikunternehmens sind. Das Logistikunternehmen holt beispielsweise zu versendende Pakete dreimal täglich ab. Die Einführung einer stapelverarbeitenden Komponente ermöglicht es, alle relevanten Paketinformationen zu sammeln und ausschließlich direkt vor Abholung der Pakete an das Logistikunternehmen zu übermitteln. Dadurch kann aus Energiesicht sowohl die Kommunikation intensiviert als auch die Auslastung der dafür benötigten Ressourcen gesteigert werden.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein für manuelle und automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* eingesetzt werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für eine verbesserte Ressourcenauslastung der Ausführungsumgebung kann das Pattern *Green Resource Change* eingesetzt werden. Dabei kann zudem das Pattern *Green Public Cloud* zur Definition einer möglichen Zielinfrastruktur herangezogen werden. Für die Gestaltung einer geeigneten Broker-Komponente zeigt das Pattern *Green Gateway*, wie die Broker-Komponente für weitere Effizienzmaßnahmen verwendet werden kann. Für die asynchrone Kommunikation der verschiedenen Anwendungskomponenten beschreibt das Pattern *Green Loose Coupling* die hierfür benötigten Designrichtlinien. Die Kommunikation und insbesondere die definierten Regeln der Kommunikation können durch das Pattern *Green External Choice* weiter spezifiziert werden.

IP13: Green Eventual Consistency



Reduzierung des Synchronisationsaufwands bei der Verteilung von Daten auf mehrere Komponenten.

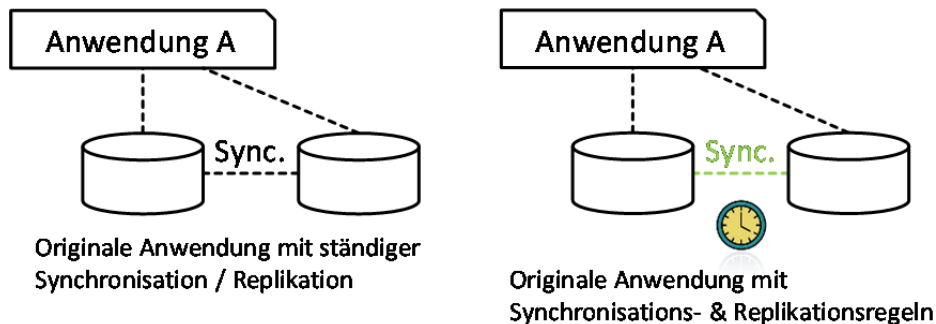
Kontext: Ein Unternehmen mit verteilter Datenhaltung möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung: Zur Vermeidung von Datenverlusten und zur Sicherstellung hoher Verfügbarkeit speichern Unternehmen ihre relevanten Daten typischerweise persistent an verschiedenen, über ein Netzwerk miteinander verbundenen Lokationen. Replikations- und Synchronisationsmechanismen stellen sicher, dass die Daten über alle Lokationen hinweg konsistent sind, d.h., werden Daten an einer Lokation modifiziert, werden diese Änderungen auch an alle anderen Lokationen weitergegeben. Die sofortige Synchronisation stellt sicher, dass Daten auf allen Lokationen aktuell sind und damit das operative Geschäft nicht negativ beeinflussen. Jedoch führt eine häufige Synchronisation der Daten auch zu einer hohen Ressourcen- und Netzauslastung jedes einzelnen Speicherknotens. Die Herausforderung einer energieeffizienten Verteilung der Daten besteht deshalb darin, den Synchronisationsaufwand zu reduzieren und zugleich die definierten oder erwarteten Quality of Services einzuhalten.

Lösung: Die Replikation und Synchronisation von Daten zwischen verschiedenen Lokalitäten wird an bestimmte Regeln geknüpft, d.h. Schreiboperationen werden nicht sofort repliziert / synchronisiert, sondern beispielsweise auf Basis der Ressourcenauslastung, der Tageszeit, etc. Die Regeln der Synchronisation müssen so gewählt werden, dass die Ressourcen- und Netzauslastung durch die Reduktion der simultanen Lese- und Schreibzugriffe auf einen Knoten reduziert wird. Beispielsweise kann eine Replikation von Daten immer dann durchgeführt werden, wenn die Auslastung des Zielknotens unter einen bestimmten Grenzwert fällt.

Dabei muss auch sichergestellt werden, dass Anwendungen mit möglicherweise veralteten Daten umgehen können.

Lösungsskizze:



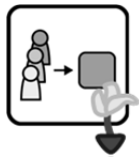
Ergebnis: Die Anwendung dieses Patterns erzielt eine Reduktion des Synchronisations- und Replikationsaufwands eines Speichersystems durch den Einsatz von Synchronisations- und Replikationsregeln. Die Auswirkungen der Anwendung dieses Patterns lassen sich in zwei Hauptaspekte unterteilen: (1) In strikt konsistenten Anwendungsszenarien fragen Anwendungen Daten von einem Speicherknoten ab und gehen davon aus, dass diese Daten die aktuellsten sind. Daher müssen die Daten stets sofort über alle Speicherknoten verteilt werden. Nach der Anwendung des *Green Eventual Consistency* Patterns lesen Anwendungen Daten Speicherknoten, wissen jedoch, dass die gelesenen Daten eventuell nicht aktuell sind. Dadurch kann der Synchronisationsaufwand der Daten zwischen den Speicherknoten und damit auch die Auslastung der einzelnen Knoten reduziert werden. Auch können Knoten mit geringerer Kapazität eingesetzt werden. (2) Die Netzwerkkommunikation zwischen den verschiedenen Knoten wird reduziert, da Daten nicht sofort, sondern gegebenenfalls gebündelt oder in Zeiten geringer Auslastung übertragen werden. In geeigneten Anwendungsszenarien können somit beide Aspekte zu einem effizienteren Betrieb von Ressourcen beitragen.

Beispiele: Ein bekanntes Beispiel für die Nutzung dieses Patterns ist Facebook [Fac14]. Benutzer werden hier in verschiedene Ressourcenzonen eingeteilt. Zwischen diesen Zonen wird keine sofortige Replikation neuer Informationen durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass

Informationen von einzelnen Benutzern nicht sofort für alle Facebook Nutzer gleichzeitig verfügbar sind. Ein weiteres Beispiel für Eventual Consistency zeigt Amazon SimpleDB [AWS14]. Kunden haben hier die Möglichkeit, einen *eventual consistent* Cluster zu konfigurieren, welcher zudem auch ein bedingtes Schreiben von Daten zulässt. Anwendungen, welche Daten von diesem Cluster lesen, bekommen automatisch eine Antwort von einer Untermenge der Knoten des Clusters und akzeptieren damit, dass die erhaltenen Daten nicht aktuell sein können.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein für manuelle und automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* angewendet werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Wird bei der Anwendung des Patterns die Auslastung der Systeme signifikant reduziert, so kann das Pattern *Green Resource Change* dazu verwendet werden, geeignete Alternativen zu finden. Das Pattern *Green Public Cloud* repräsentiert die Möglichkeit, die verwendeten Ressourcen gegen energieeffizientere einzutauschen. Für die Gestaltung der Replikations- und Synchronisationsregeln können die Patterns *Green Data Transfer Object* und *Green Batch Processing* hilfreich sein. Sie beschreiben, wie die Strukturen der transferierten Datenobjekte gestaltet werden können und auch Möglichkeiten zur Gestaltung der Kommunikation selbst.

IP14: Green Shared Component



Gleichzeitige Nutzung von Anwendungskomponenten für mehrere Kunden zur Verbesserung der Ressourceneffizienz.

Kontext: Ein Unternehmen mit verschiedenen Kunden, welche denselben Anwendungstyp nutzen, möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

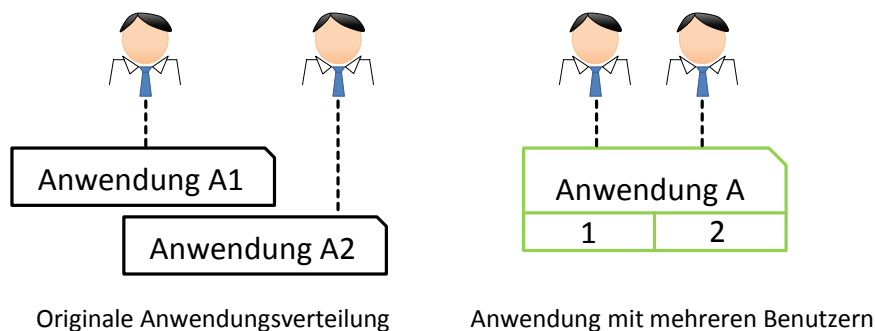
Problemstellung: Ein Anwendungsprovider stellt seine Anwendung häufig nicht nur einem Kunden (Tenant), sondern einer Gruppe von Kunden zur Verfügung, welche die Anwendung in ähnlicher Art und Weise nutzen. Kunden können hierbei sowohl interne als auch externe Kunden sein. Um die verschiedenen Kunden gegeneinander abzugrenzen und übergreifende Ausfallzeiten zu vermeiden, wird der komplette Anwendungsstack häufig jedem Kunden dediziert bereitgestellt. Die Bereitstellung aller Infrastruktur- und Anwendungskomponenten für jeden Kunden führt jedoch dazu, dass die individuelle Ressourcenauslastung sinkt und ein Ressourcenpool weniger effizient betrieben werden kann. Dies hat gleichfalls Auswirkungen auf den gesamten Energieverbrauch des Ressourcenpools und der Geschäftsprozesse, welche diese Anwendungen verwenden. Für die Steigerung der Energieeffizienz ist die Herausforderung, die Auslastung der verschiedenen Ressourcen zu erhöhen.

Lösung: Der erste Schritt beinhaltet die Identifikation und Bereitstellung von Anwendungskomponenten, welche von mehreren Kunden verwendet werden können. Um gemeinsam verwendete Anwendungskomponenten bereitzustellen, muss zunächst ein Anwendungsstack definiert werden, welcher die Anzahl derjenigen Komponenten reduziert, welche exklusiv von einem Kunden verwendet werden. Die Bereitstellung von gemeinsam verwendeten Anwendungskomponenten kann auf unterschiedlichen Ebenen einer Anwendung realisiert werden: Kunden können (1) Ressourcen auf Infrastrukturebene gemeinsam verwenden, insbesondere in

5.4 | Eine Patternsprache für Green Business Process Patterns

virtualisierten Ausführungsumgebungen, (2) Middleware-Komponenten gemeinsam verwenden oder (3) komplette Anwendungen gemeinsam verwenden. Nutzen verschiedene Kunden Anwendungskomponenten gemeinsam, muss sichergestellt werden, dass der individuelle Kundenkontext für weiteren Kunden nicht zugänglich ist.

Lösungsskizze:



Ergebnis: Im Gegensatz zu Anwendungen, welche auf einer dedizierten physischen Maschine betrieben und von lediglich einem Kunden verwendet werden, können gemeinsam von mehreren Kunden verwendete Anwendungskomponenten dynamisch anhand ihrer aktuellen Auslastung skaliert werden. Die gemeinsame Nutzung von Anwendungskomponenten führt damit dazu, dass weniger Ressourcen verbraucht werden und eine bessere Auslastung gegeben ist. Durch die Anwendung dieses Patterns kann damit nicht nur die Anzahl der Ressourcen, sondern auch die Effizienz der Ressourcennutzung optimiert werden.

Beispiele: Die Anwendung dieses Patterns kann bei vielen online Services beobachtet werden. Webmail Anbieter, wie beispielsweise Google's Gmail [Goo14a], hosten die Anwendung ihres Web-Clients auf einer Infrastruktur, welche von vielen verschiedenen Kunden gleichzeitig verwendet wird. Ein anderes Beispiel sind Infrastructure-as-a-Service Angebote, wie beispielsweise die von Amazon AWS [AWS14a]. Kunden teilen sich hierbei sowohl Hardware- als auch Netzwerkkomponenten.

Beziehungen zu anderen Patterns: Dieses Pattern kann allgemein für manuelle und automatisierte Geschäftsprozesse angewendet werden. Ist

ein Geschäftsprozess noch nicht automatisiert, so kann das Pattern *Process Automation* angewendet werden. Das Pattern *Green Compensation* kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Wird bei der Anwendung des *Green Shared Component* Patterns die Auslastung der Systeme signifikant reduziert, so kann das Pattern *Green Resource Change* dazu verwendet werden, geeignete Alternativen zu finden. Das Pattern *Green Public Cloud* repräsentiert eine solche Möglichkeit, die verwendeten Ressourcen gegen energieeffizientere und dynamisch skalierbare Ressourcen einzutauschen. Durch die Notwendigkeit der Integration von eindeutigen Identifizierungsmerkmalen (beispielsweise IDs) der einzelnen Tenants müssen auch die auszutauschenden Datenobjekte angepasst werden. Das Pattern *Green Data Transfer Object* hilft, diese Datenobjekte möglichst ökologisch effizient zu gestalten. In bestimmten Anwendungsfällen besteht auch die Notwendigkeit, Autorisierungsmechanismen in das Prozessmodell einzufügen. Die Neugestaltung eines Prozessmodells kann durch die Verwendung des Patterns *Green Control Flow* zusätzlich auch nach ökologischen Kriterien erfolgen.

5.4.6 Diskussion der Green Business Process Patterns

Die vorgestellten Patterns werden in einer Vielzahl von Unternehmen bereits implizit oder explizit angewendet. Der Hintergrund ihres Einsatzes ist aus Partner- oder Kundensicht jedoch nicht immer zweifelsfrei zu erkennen, weshalb immer wieder Diskussionen über den tatsächlichen Nutzen und die Intention des Einsatzes dieser Patterns zu finden sind. Das Pattern *Green Feature* ist eines der expliziten Patterns, das am kritischsten diskutiert wird. Als Außenstehender kann hierbei kaum unterschieden werden, ob es sich tatsächlich um eine Prozessoptimierung vor dem Hintergrund des entsprechenden Umwelteinflusses, oder lediglich um so genanntes *Greenwashing* handelt. Unternehmen, welche nur auf Letzteres abzielen, suchen oft nur eine Möglichkeit, ihre Produkte und Services

gegenüber Kunden umweltfreundlicher darstellen zu können, als diese in Wirklichkeit sind. In diesen Fällen nimmt die Verbesserung des Umwelteinflusses, wenn überhaupt, nur eine sekundäre Rolle ein und die Optimierung von Prozessen selbst wird zu einem reinen Marketinginstrument. Ein solches Verhalten hat sogar noch weitere Auswirkungen: Inwieweit ist die Zusammenarbeit mit Umweltorganisationen sinnvoll, wenn diese Organisationen nur für Zwecke der Industrie instrumentalisiert werden? Welchen Stellenwert haben Zertifikate, wenn diese nur zur Täuschung der Kunden eingeführt werden oder wenn Zertifizierungsstellen für die Ausstellung eines solchen Zertifikats finanzielle Zuschüsse erhalten? Infolgedessen sind diese Zertifikate ohne vertrauenswürdige Zertifizierungsstelle und einen transparenten Zertifizierungsprozess immer auch kritisch zu hinterfragen.

Um diese negativen Anwendungsbeispiele zu entkräften, sei erwähnt, dass es durchaus Unternehmen gibt, welche ernsthaft versuchen, eine reelle Verbesserung ihres Umwelteinflusses zu erreichen. Diese Verbesserung wird auch mit geeigneten Marketingaktivitäten kombiniert. Das Unternehmen Volvic Natural Spring Water [Dan14] hat beispielsweise den Anteil an Kunststoff in seinen Wasserflaschen durch die Nutzung von natürlichem Sirup reduziert. Es wurde dadurch zwar nicht komplett auf Kunststoff verzichtet, dieser jedoch in Teilen reduziert. Dieses Beispiel zeigt, dass es durch die Anwendung des *Green Feature* Patterns durchaus möglich ist, den Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses zu verbessern und diese Botschaft auch an die Kunden weiterzugeben. Ob es sich also um eine echte Prozessverbesserung oder lediglich um *Greenwashing* handelt, liegt oft in den Händen des Managements eines Unternehmens.

Die Analyse der Produkte und Services der betrachteten Unternehmen hat gezeigt, dass das *Green Compensation* Pattern das derzeit meistgenutzte Pattern ist. Viele Unternehmen haben bereits Kompensationsprozesse etabliert, welche Teile des Umsatzes in Umweltprojekte investieren. Dieser Trend liegt wohl vor allem daran, dass es für Unternehmen in erster Linie um die Zufriedenstellung ihrer Kunden geht. Durch die Anwendung

dieses Patterns kann dieses Ziel relativ einfach und ohne weitreichende Änderung der bestehenden Prozesse erreicht werden. Hinzu kommt, dass in den meisten Fällen die Kunden selbst, oder zumindest teilweise, für die anfallenden Kosten aufkommen müssen. Häufig ist dieses Pattern in Kombination mit dem Pattern *Green Variant* zu finden. Dadurch entsteht die Möglichkeit, den Kunden selbst entscheiden zu lassen, ob der Umwelteinfluss kompensiert werden soll und ob dieser bereit ist, hierfür auch zu bezahlen. Dieses Vorgehen zeigt einmal mehr, dass sich Unternehmen sehr wohl bewusst sind, welche Aspekte für die Kaufentscheidung eines Kunden relevant sind. Es ist jedoch anzunehmen, dass die in diesem Zusammenhang stehenden Kosten direkt an den Kunden weitergegeben werden. Die konventionellen Optimierungsziele haben demnach noch immer einen höheren Stellenwert wie die Reduzierung des eigenen schädlichen Umwelteinflusses, welcher durch das unternehmerische Handeln verursacht wird. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass dieser Zielkonflikt bislang als eines der Haupthindernisse für eine umfangreiche Umstrukturierung existierender Geschäftsprozesse unter Berücksichtigung ihres Umwelteinflusses zu sehen ist.

Der Zielkonflikt zwischen den verschiedenen Optimierungszielen hat auch Einfluss auf alle anderen hier vorgestellten Patterns. Die Anwendung des *Outsourcing* Patterns führt beispielsweise in vielen Fällen zu erhöhten Transportaufwendungen. Diese Aufwendungen müssen durch einen aus Umweltsicht effizienteren Prozess auf Seiten des Outsourcing-Partners ausgeglichen werden. Deshalb ist es wichtig, für jedes Optimierungsszenario eine individuelle Analyse des Umfelds durchzuführen. Um durch Outsourcing einen Vorteil hinsichtlich des Umwelteinflusses zu erreichen, kann es deshalb auch sinnvoll sein mit anderen Unternehmen, eventuell sogar Wettbewerbern derselben Branche, zu kooperieren. Verfolgen diese Unternehmen ähnliche ökonomische und ökologische Ziele, können einzelne Prozessschritte oder ganze Prozesse, welche nicht innerhalb der Kernkompetenz eines Unternehmers liegen, innerhalb einer gemeinsamen

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Umgebung genutzt werden. Dies kann zur Folge haben, dass die beteiligten Unternehmen nicht nur ökonomisch davon profitieren, sondern auch einen ökologisch optimierten und umweltfreundlicheren Prozess gemeinsam nutzen können.

Eine weit weniger intensive Verbreitung in der Praxis haben die identifizierten impliziten Green Business Process Patterns aus den Bereichen Workflows, Unternehmensarchitekturen und Cloud Computing. Diese werden bisher in der Regel primär aus funktionaler oder kostenorientierter Sicht eingesetzt, ohne den Umwelteinfluss in besonderem Fokus zu haben. Eine Sensibilisierung mit Blick auf die resultierenden Auswirkungen bei der Auswahl und dem Einsatz eines solchen Patterns kann das Design von prozessorientierten Anwendungen jedoch entscheidend beeinflussen. Jedoch ist auch hier der auftretende Zielkonflikt zwischen existierenden KPIs, beispielsweise den Kosten pro Prozessinstanz, und KEIs, welche den Umwelteinfluss des Prozesses oder einzelner Aktivitäten, beispielsweise den Energieverbrauch pro Prozessinstanz, repräsentieren, ein wichtiger Aspekt bei der Anwendung dieser Patterns. Durch die abstrakte Beschreibung der vorgestellten Patterns ist dieser Zielkonflikt bei jeder Anwendung individuell zu analysieren und zu bewerten. Dies erhöht wiederum den damit verbundenen Aufwand für die Analyse der Eignung eines Patterns bei der Definition von Prozessmodellen, Anwendungsarchitekturen oder Ressourcenmodellen.

5.5 Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Die vorgestellten Green Business Process Patterns bieten vielseitig einsetzbare, abstrakte Lösungsansätze für Problemstellungen in der Domäne ökologisch nachhaltiger Geschäftsprozesse. In Abhängigkeit der konkreten Anwendungsfälle und ökologischer Defizite eines

Prozessmodells können verschiedene Patterns angewendet werden. Die Auswahl hängt dabei in erster Linie von der Art und dem Umfang der Restrukturierungsmaßnahme ab. Optimierungen können auf Ebene des Prozessmodells, der verwendeten Services oder der gesamten Infrastruktur eines Geschäftsprozesses erreicht werden. Um die verschiedenen Akteure eines Optimierungsvorhabens bei der Identifikation geeigneter Patterns zu unterstützen, bietet diese Arbeit ein entsprechendes Vorgehensmodell an (siehe Abbildung 32). Die einzelnen Phasen dieses Vorgehensmodells decken den gesamten Restrukturierungsprozess eines Unternehmensablaufs ab. Die in Abbildung 32 gezeigten Akteure wurden aus Weske [Wes07] übernommen.

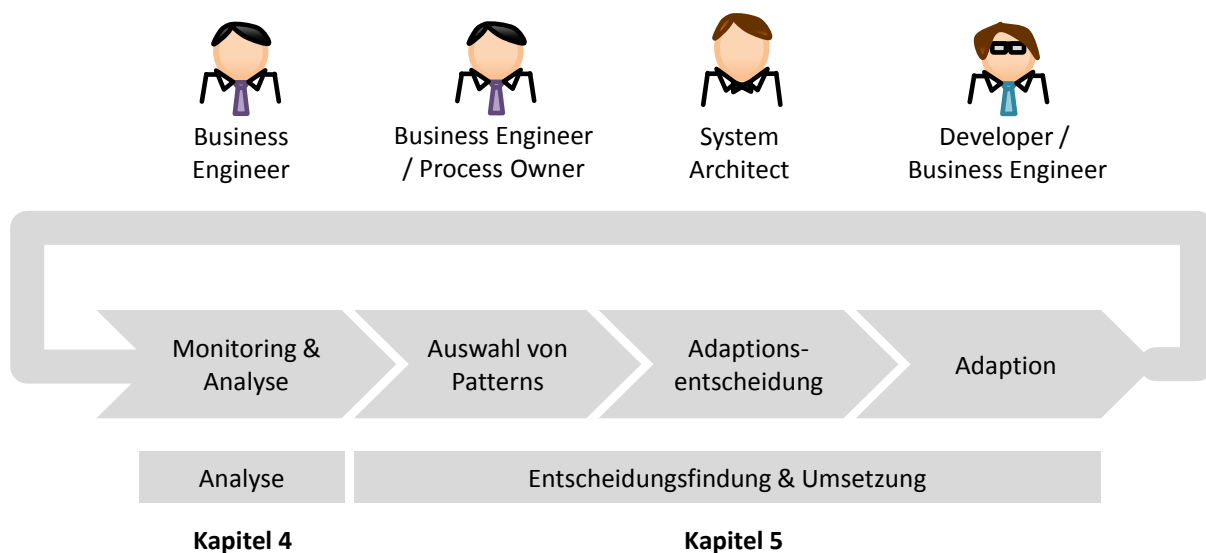


Abbildung 32: Vorgehensmodell zur Pattern-basierten Optimierung von Geschäftsprozessen

Die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells sind in zwei Hauptphasen unterteilt. Die Hauptphasen *Analyse* umfasst die Identifikation der ökologischen Schwachstellen eines Prozesses und die Überprüfung und Überwachung der Adaptionsergebnisse. Die Hauptphasen *Entscheidungsfindung & Umsetzung* beinhaltet die Auswahl von geeigneten Patterns, die Ausarbeitung einer Adaptionentscheidung in Form von Optimierungsalternativen sowie die eigentliche Adaption eines Geschäftsprozesses anhand der ausgewählten Patterns.

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Die erste Phase *Monitoring & Analyse* beschreibt das Monitoring und die Analyse ökologischer Schwachstellen. Ein *Business Engineer* identifiziert hierfür die ökologischen Schwachstellen eines Geschäftsprozesses und dessen Aktivitäten unter Berücksichtigung einer bestimmten Auswahl von Prozessinstanzen. Der Auswahlbereich der Prozessinstanzen hängt von den verfügbaren Informationen und den gegebenen Zielvorgaben ab. Das Ziel hierbei ist nicht die Optimierung und Anpassung einzelner Prozessinstanzen, sondern langfristig des gesamten Prozessmodells.

Ausgehend von den identifizierten ökologischen Schwachstellen eines Prozessmodells evaluiert der *Business Engineer*, gegebenenfalls mit Unterstützung des Prozesseigentümers, die Menge verfügbarer Green Business Process Patterns und wählt anschließend ein oder mehrere geeignete Patterns aus (*Auswahl von Patterns*). Die Auswahl der Patterns ist dabei von dem definierten Adaptionlevel und der strategischen Ausrichtung des Unternehmens abhängig, welche den Grad der Anpassung eines Geschäftsprozesses beschreiben. Beispiele hierfür sind Anpassungen der Prozessstruktur, der verwendeten Services, oder der gesamten Infrastruktur.

Anschließend entwickelt der *System Architect* aus den identifizierten Patterns spezifische Optimierungsalternativen. Jede Alternative umfasst eine bestimmte Menge an Patterns, welche zusammen angewendet werden können. Der *System Architect* muss hierbei auch die Umsetzbarkeit der ausgewählten Patterns in der konkreten Prozess- und Anwendungslandschaft überprüfen.

In der Phase *Adaption* wird die identifizierte Optimierungsalternative des Geschäftsprozesses und der beteiligten Anwendungskomponenten durch einen *Developer* umgesetzt. Hierzu können bestehende, bereits erprobte technische und organisatorische Methoden und Lösungen eingesetzt werden. Die Auswahl dieser Methoden hängt vom konkreten Anwendungsfall ab.

Im Anschluss an die Umsetzung einer Optimierungsalternative dient die Phase *Monitoring & Analyse* dem Monitoring und der Analyse des adaptierten Geschäftsprozesses und seiner Infrastruktur und stellt damit sicher, dass die Änderungen auch die erwarteten Auswirkungen zeigen. Als verantwortlicher Akteur wird dieser Phase der *Business Engineer* zugeordnet. Dieser Schritt dient damit zur Rückmeldung der Ergebnisse in den Auswahlprozess von Patterns. Die Annotation konkreter Lösungsimplementierung an Patterns ermöglicht die Wiederverwendung von Erfahrungswissen in zukünftigen Optimierungsverfahren.

Unter Berücksichtigung des Fokus der vorliegenden Arbeit basiert die Struktur dieses Vorgehensmodells auf der Annahme einer Restrukturierung und damit langfristigen Optimierung von existierenden Geschäftsprozessen. Konkret bedeutet dies, dass (1) ein existierender Geschäftsprozess bereits implementiert ist und innerhalb einer bestimmten Laufzeitumgebung ausgeführt wird und (2) die Informationen bezüglich dieser Laufzeitumgebung sowie der Anwendungskomponenten und der Infrastruktur, welche den Geschäftsprozess unterstützen, bereits verfügbar sind und entsprechend eingesetzt werden. Dies schließt allerdings nicht aus, dass die vorgestellten Green Business Process Patterns auch beim Design neuer Geschäftsprozesse angewendet werden können.

5.5.1 Analyse ökologischer Problembereiche

Die Analyse ökologischer Problembereiche von Geschäftsprozessen kann sehr vielfältig sein. Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Lösungsansätze haben gezeigt, dass sowohl die Prozessstruktur als auch die verwendeten Services und die eingesetzten Ressourcen einen signifikanten Beitrag zum gesamten Umwelteinfluss leisten. In Kapitel 4 wurden deshalb Lösungen für die Definition und Integration eines ökologischen Prozessmanagements eingeführt. Insbesondere Kapitel 4.1 beschreibt ein entsprechendes Vorgehensmodell zur Umsetzung eines Green BPMs, welches alle Phasen von der Definition von Umweltindikatoren und Messkonzepten bis hin zur visuellen Analyse von

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Geschäftsprozessen abdeckt (siehe Abbildung 19). Die Anwendung der dort vorgestellten Methoden bietet eine mögliche Alternative, um die aus Umweltsicht relevanten Bereiche eines Geschäftsprozesses zu identifizieren. Weitere Methoden können das Vorgehensmodell entsprechend ergänzen.

5.5.2 Auswahl geeigneter Green Business Process Patterns

Die Auswahl geeigneter Green Business Process Patterns richtet sich in der Regel nach den strategischen Zielen eines Unternehmens. Je nachdem, wie weitreichend die Veränderungen der Optimierung in bestehende Strukturen eingreifen dürfen, können unterschiedliche Optimierungsalternativen gewählt werden. Für die Auswahl der geeigneten Green Business Process Patterns schlägt die vorliegende Arbeit einen zweistufigen Ansatz vor: (1) Auswahl der aus ökologischer Sicht für einen Anwendungsfall geeigneten Patterns und (2) Analyse der ökonomischen Aspekte bei der Anwendung eines Patterns.

Schritt 1: Pattern Auswahlprozess

Für die Auswahl geeigneter Patterns aus dem vorangegangenen Schritt (1) wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein *Pattern Support Framework* vorgestellt, welches sowohl die strukturierte Repräsentation als auch die Auswahl von Patterns unterstützt. Abbildung 33 zeigt eine Übersicht der einzelnen Komponenten dieses Frameworks.

Der zentrale Einstiegspunkt für die Optimierung von Geschäftsprozessen ist die Komponente *Einstiegspunkt Manager*. Diese Komponente übernimmt die Aufgabe, einen für konkrete Anwendungsfälle geeigneten Einstiegspunkt in die Patternsprache zu ermitteln. Die Ermittlung eines Einstiegspunktes, d.h. eines oder mehrerer Patterns, welche(s) als Ausgangspunkt zur Traversierung der Patternsprache verwendet werden, ist dabei vom Domänenwissen des *Prozesseigentümers* oder des

Prozessoptimierungsteams abhängig. Diese müssen die strategischen, ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen spezifizieren und damit den Umfang der Adaption eines Prozesses festlegen.

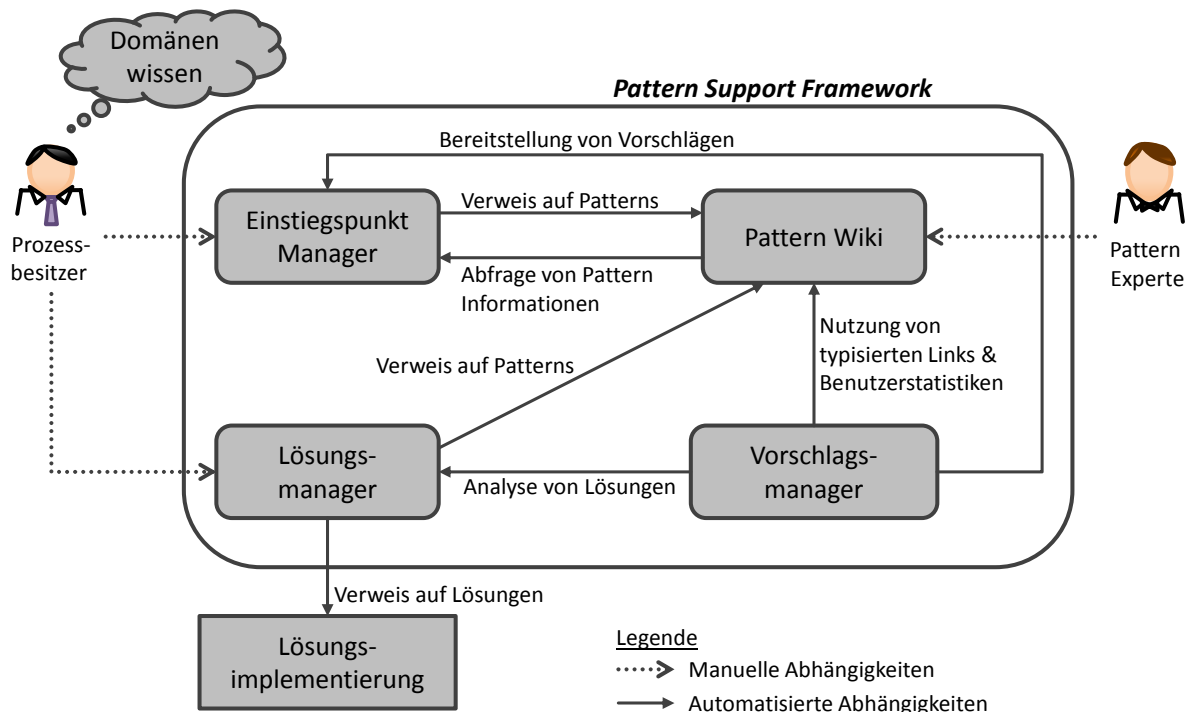


Abbildung 33: Übersicht des Pattern Support Frameworks

Für die Spezifikation des Adaptionsrahmens unterscheidet die vorliegende Arbeit die verschiedenen Kriterien in drei Kategorien:

Aktivität / Prozess: Beschreibt allgemein, ob einzelne Aktivitäten oder der Kontrollfluss zwischen diesen Aktivitäten verändert werden kann.

Ressourcen: Beschreibt allgemein, ob die von den Aktivitäten eines Prozesses verwendeten Ressourcen beziehungsweise die Art der Nutzung von Ressourcen zur Erhebung, Bereitstellung und Verarbeitung von Daten angepasst werden kann.

Service: Beschreibt allgemein, ob die Service zur Ausführung einer bestimmten Aktivität beziehungsweise die Art der Kommunikation zwischen verschiedenen Services verändert werden können.

Abbildung 34 zeigt eine Übersicht über die Struktur, welche die Auswahl geeigneter Kategorien und Aspekte für die vorgestellten Green Business

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Process Patterns unterstützt. Ein Pattern kann einer oder mehreren der Kategorien *Prozess/Aktivität*, *Service* oder *Ressource* zugeordnet werden. Jede dieser Kategorien verfügt über weitere Sub-Kategorien, welche eine weitergehende Spezifizierung der Patterns hinsichtlich des Optimierungsvorhabens erlauben. Ein Pattern kann mehreren Kategorien zugeordnet sein, da beispielsweise bei der Anwendung des Patterns *Process Automation* verschiedene Aspekte betroffen sein können: Zum einen wird die Ressource für die Ausführung einer Aufgabe geändert, zum anderen ist es möglich, dass auch die Prozessorchestrierung angepasst wird, da beispielsweise mehrere, vorher getrennte Aufgaben jetzt in einer automatisierten Aktivität abgearbeitet werden.

Auf Basis der für die Optimierung spezifizierten Anforderungen und Kriterien des *Prozesseigentümers* oder des Prozessoptimierungsteams, der Berücksichtigung existierender *Lösungsimplementierungen* sowie auf Grundlage von Erfahrungswissen bezüglich der Beziehungen der verschiedenen Patterns, wählt der *Einstiegspunkt Manager* anschließend eine Menge an geeigneten Patterns aus, welche diese Anforderungen bestmöglich bedienen.

Die verschiedenen Patterns werden von einem *Pattern Wiki* in strukturierter Weise bereitgestellt. Die Eignung von Wikis zum Management von Patterns wurde bereits in Leuf und Cunningham [LC01] sowie Fehling et al. [FLR+11] aufgezeigt und in Fehling und Leymann [FL14] angewendet. Ein Wiki ermöglicht die flexible Definition von Beschreibungssprachen und stellt damit sicher, dass auch Patterns in unterschiedlichen Beschreibungssprachen und von unterschiedlichen Autoren (*Pattern Experten*) aufgenommen werden können. Durch die Nutzung von typisierten Links können einzelne Patterns sowie einzelne Elemente eines Patterns auf andere Objekte, beispielsweise ein weiteres Pattern, verweisen. In der vorliegenden Arbeit werden hierfür die folgenden Linktypen verwendet:

Alternative: Diese Beziehung gibt an, dass zwei Patterns substitutiv verwendet werden können. Typischerweise ist es deshalb nicht sinnvoll, beide Patterns in einem Optimierungsvorhaben anzuwenden.

Kombination: Diese Beziehung gibt an, dass zwei Patterns im Allgemeinen in Kombination miteinander angewendet werden können. Dies bedeutet, dass ein Pattern als Multiplikator den Optimierungsgrad weiter verbessern kann. Je nach Anwendungsszenario können die Auswirkungen und die Intensität des Optimierungsgrads jedoch variieren.

Kein Link: Wird für bestimmte Patterns kein Link definiert, so ist dies als Ausschlusskriterium zu verstehen. Typischerweise können diese Patterns nicht miteinander angewendet werden, da entweder die technischen Voraussetzungen nicht erfüllt sind, oder die Wechselwirkungen eine gesamtheitliche Optimierung nicht möglich machen. Je nach Anwendungsfall sind spezifische Ausschlusskriterien unter Umständen jedoch individuell zu prüfen.

Die Nutzung dieser Links ermöglicht *Prozesseignern* oder *Prozessoptimierungsteams*, ausgehend von der initialen Menge an Einstiegspatterns, durch die gesamte Patternsprache zu navigieren. In Abhängigkeit der Optimierungsanforderungen kann somit für ein Anwendungsszenario eine individuelle Menge an Patterns identifiziert werden.

Der *Lösungsmanager* dient als Grundlage zur Ergebnistrückführung von durchgeführten Optimierungsvorhaben. Der Lösungsmanager dokumentiert hierzu Problembeschreibungen und konkrete Lösungsansätze, welche sowohl auf die verwendeten Patterns als auch auf konkrete *Lösungsimplementierungen* dieser Patterns verweisen. Die Relevanz dieser Zusammenhänge wurde bereits in Falkenthal et al. [FBB+14] dargestellt. Die Rückführung der Ergebnisse ist Aufgabe des Prozesseigentümers oder des Prozessoptimierungsteams. Die *Lösungsimplementierungen* können verschiedenartige Artefakte, welche innerhalb des Lösungsansatzes eingesetzt wurden, referenzieren:

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Geschäftsprozessmodelle, Anwendungs-Modelle, textuelle Beschreibungen etc. Die eigentliche Rückführung und Verwertung des existierenden Lösungswissens ist Aufgabe des *Vorschlagsmanagers*. Diese Komponente erfasst und analysiert die existierenden Lösungsansätze, berücksichtigt die zwischen den Patterns definierten und typisierten Abhängigkeiten und stellt die Ergebnisse dem *Einstiegspunkt Manager* zur Verfügung. Damit ist dieser in der Lage, neben den definierten Kriterien zur initialen Bestimmung eines Einstiegspunktes in die Patternsprache auch Erfahrungswissen direkt in diese Entscheidung einfließen zu lassen.

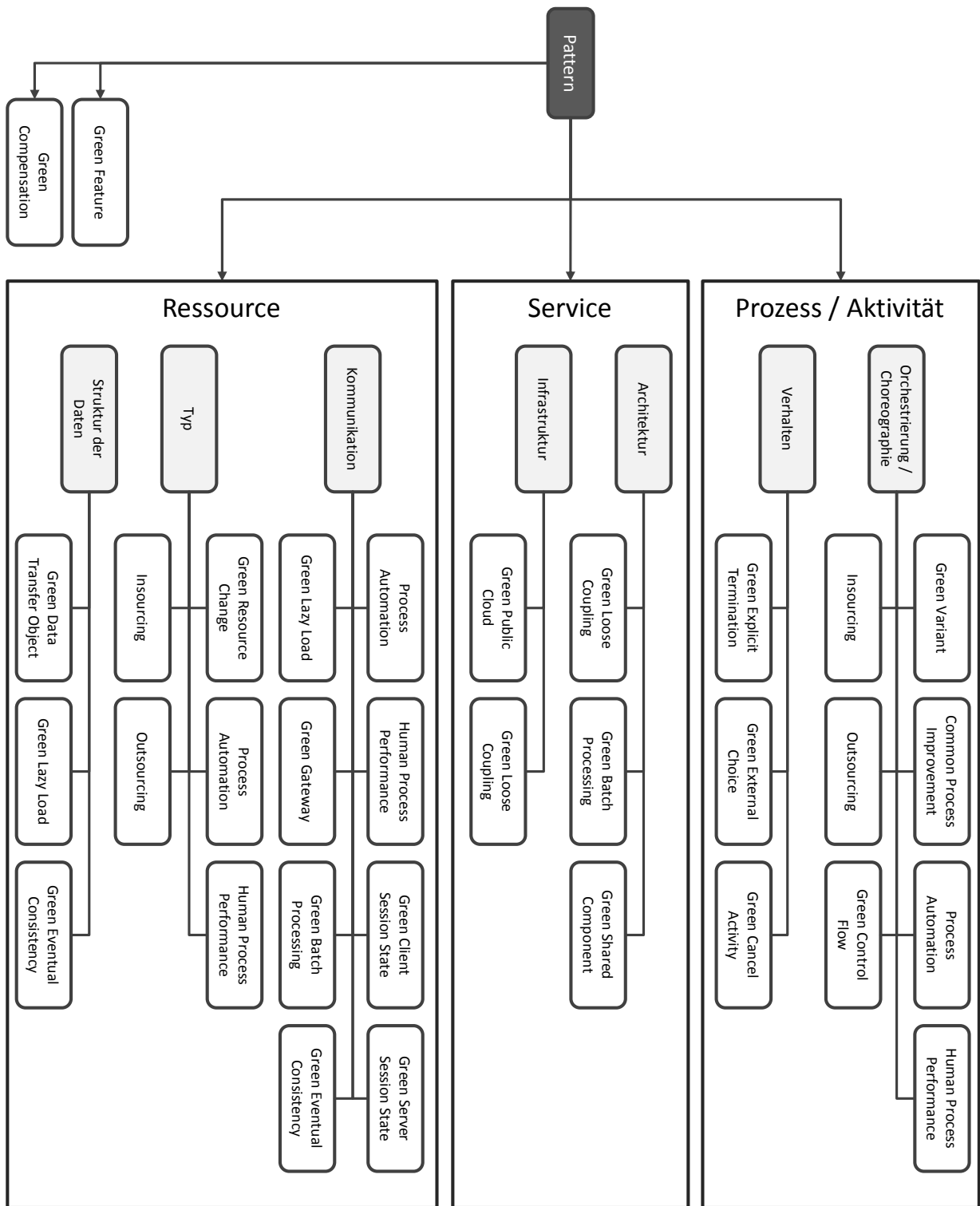


Abbildung 34: Übersicht der Zuordnung von Optimierungsanforderungen und Patterns

Schritt 2: Analyse ökonomischer Aspekte

Der zweite Schritt dieses Ansatzes adressiert die ökonomischen Aspekte bei der Auswahl von Patterns. Neben dem primären Ziel der Reduzierung des negativen Umwelteinflusses spielen die ökonomischen Aspekte die vermutlich wichtigste Nebenrolle hinsichtlich der Auswahl konkreter Optimierungsalternativen. Um diesen weiteren Auswahlprozess zu unterstützen, präsentiert diese Arbeit das in Tabelle 16 vorgestellte Klassifikationsschema. Diese Klassifikation setzt die identifizierten Green Business Process Patterns in Relation zu verschiedenen geschäftsrelevanten Eigenschaften und beschreibt damit eine Auswahl des existierenden Zielkonflikts zwischen ökonomischer und ökologischer Optimierung von Geschäftsprozessen. Die ersten drei Spalten – *Prozess verändert*, *Ressource verändert* und *Prozessstruktur verändert* – beschreiben den Änderungsumfang der Restrukturierung eines Geschäftsprozesses. Diese Aspekte spiegeln die in Schritt (1) definierten Kriterien zur Bestimmung des Adaptionsrahmens wider und sind insbesondere bei Entscheidungen zur Integration von weiteren Partnern von Bedeutung. Die Spalte *Methoden des konventionellen BPM anwendbar* gibt an, ob die Methoden des konventionellen BPMs auch zur (teilweisen) Realisierung des Green Business Process Patterns verwendet werden können. Die Spalte *Kundenauswahl* definiert, ob ein Kunde die Wahl hat, den bisherigen oder den optimierten Prozess auszuwählen. In diesem Zusammenhang geben die nächsten beiden Spalten an, wer für die gegebenenfalls höheren Kosten des unter Umweltgesichtspunkten optimierten Prozesses aufkommt. Dabei können die Kosten entweder auf die Kunden übertragen, durch das Unternehmen übernommen oder entsprechend zwischen beiden Parteien aufgeteilt werden. Die letzten Spalten *Prozessdurchlaufzeit*, *Flexibilität* und *Qualität* beziehen sich auf konventionelle KPIs und darauf wie diese durch die Anwendung eines Patterns beeinflusst werden können.

Für die in Tabelle 16 gezeigte Klassifikation ist die folgende Semantik anzuwenden: Ein Kreuz oder ein Haken symbolisiert, ob ein Aspekt durch das entsprechende Pattern erfüllt wird oder nicht. Die Struktur eines Prozessmodells wird beispielsweise durch die Anwendung des Green Compensation Patterns nicht zwangsläufig verändert, während die Anwendung des Resource Change Patterns die Struktur des Prozessmodells normalerweise beeinflusst. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen sowohl ein Kreuz als auch ein Haken abgebildet ist. In diesen Fällen muss die Eignung durch eine Prüfung des konkreten Anwendungsszenarios erfolgen. Wird beispielsweise das Pattern Common Process Improvement angewendet, hängt die Methodenauswahl davon ab, welche Art der Restrukturierung gewählt wird, welche konkrete Implementierungen verwendet werden und ob Ressourcen geändert werden. Aufgrund der Variabilität kann damit vorab keine definitive Aussage über die Anwendbarkeit eines Patterns getroffen werden. Die verwendeten Aufwärts- und Abwärtspfeile beschreiben, ob die dargestellten KPIs tendenziell positiv oder negativ beeinflusst werden können. Auch hier sind in vielen Fällen beide Pfeilrichtungen zu erkennen, was ebenfalls eine anwendungsfallspezifische Analyse zur Folge hat. Wird ein Prozess oder ein Teil davon an einen Partner ausgelagert, so hängt es beispielsweise vom Partner und der verwendeten Prozesschoreographie ab, ob sich die Durchlaufzeit des Prozesses verbessert oder nicht. In einigen Fällen findet keine Veränderung statt oder die Veränderung kann vorab nicht bestimmt werden. Diese Fälle werden durch ein „-“ gekennzeichnet.

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

Tabelle 16: Ökonomische Klassifikation von Green Business Process Patterns

	Prozess verändert	Ressource verändert	Prozessstruktur verändert	Methoden des konventionellen GPM anwendbar	Kundenauswahl	Kostenstabil für Unternehmen	Kostenstabil für Kunden	Prozessdurchlaufzeit	Flexibilität	Qualität
Green Compensation	x	x	x	x	x/√	x/√	x/√	-	-	-
Green Variant	x	x	x	x	x/√	x/√	x/√	-	↑	-
Resource Change	✓	✓	x	✓	x	x/√	x/√	↓↑	↓↑	↓↑
Green Feature	✓	✓	x/√	x	x/√	x/√	✓	-	-	↓↑
Common Process Improvement for Environmental Aspects	✓	x/√	✓	✓	x	x/√	✓	↓↑	↓↑	↓↑
Process Automation	✓	✓	✓	✓	x	x/√	✓	↓	↓↑	↓↑
Human Process Performance	✓	✓	✓	✓	x	x/√	✓	↓↑	↓↑	↓↑
Outsourcing	✓	✓	✓	✓	x	x/√	✓	↓↑	↑	↓↑
Insourcing	✓	✓	✓	✓	x	x/√	✓	↓↑	↓	↓↑
Green Control Flow	✓	x	✓	✓	x	x/√	x/√	↓↑	↓↑	↓↑
Green Explicit Termination	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	↓	↑	↑
Green External Choice	✓	x	✓	✓	x/√	x/√	✓	↓	↑	↑
Green Cancel Activity	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	↓	↑	↑
Green Client Session State	x/√	✓	x/√	x	x	✓	✓	↑	↑	↑
Green Database Session State	x/√	✓	x/√	x	x	✓	✓	↑	↑	↑
Green Data Transfer Object	x/√	x/√	x/√	x	x	✓	✓	↓↑	↓	↓↑
Green Lazy Load	x/√	x	x/√	x	x	✓	✓	↑	↑	↓↑
Green Gateway	x/√	x/√	x	x	x	✓	✓	↑	↑	↓↑
Green Public Cloud	x/√	✓	x	x	x	x	x/√	↓↑	↑	-

	Prozess verändert	Ressource verändert	Prozessstruktur verändert	Methoden des konventionellen GPM anwendbar	Kundenauswahl	Kostenstabil für Unternehmen	Kostenstabil für Kunden	Prozessdurchlaufzeit	Flexibilität	Qualität
Green Loose Coupling	x/✓	✓	x	x	x	✓	✓	↓↑	↑	-
Green Batch Processing	x/✓	✓	x	x	x	✓	✓	↑	↑	-
Green Eventual Consistency	x/✓	✓	x	x	x	x/✓	✓	↑	↓	-
Green Shared Component	x/✓	✓	x	x	x	x/✓	✓	↓↑	↑	-

Wie auch die vorgestellten Green Business Process Patterns bieten die Aspekte dieser Klassifikation lediglich einen abstrakten Überblick darüber, wie Unternehmen auf ökonomischer Ebene durch die Anwendung der Patterns beeinflusst werden können. Je nach Anwendungsfall kann es sinnvoll sein, sowohl diese als auch weitere Aspekte zu betrachten und hinsichtlich der Eigenschaften konkreter Anwendungsszenarien detaillierter zu analysieren.

5.5.3 Definition von Adaptionentscheidungen

Das im vorherigen Kapitel vorgestellte Pattern Support Framework ermöglicht die Auswahl der für ein Anwendungsszenario passenden Green Business Process Patterns. Diese wird in Abstimmung mit den strategischen Zielen eines Unternehmens durchgeführt und repräsentiert diejenigen Patterns, welche für die Lösung der konkreten Problemstellung relevant sind. Der Ablauf zur Auswahl von konkreten Patterns dieser Menge, welche letztlich zur Umsetzung des Prozessmodells und dessen Infrastruktur verwendet werden, basiert auf einem angepassten Grundmodell der präskriptiven Entscheidungstheorie [Hab06]. Abbildung 35 zeigt dieses Modell in der Übersicht.

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

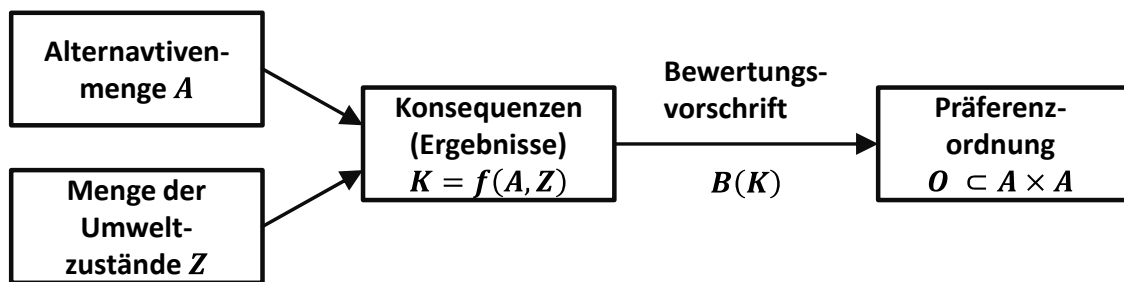


Abbildung 35: Grundmodell der präskriptiven Entscheidungstheorie (in Anlehnung an [Hab06])

Die Alternativenmenge $A = \{\dots, a_i, \dots\}$ repräsentiert eine Menge an Optimierungsalternativen. Jede Alternative $a \in A$ definiert eine bestimmte Menge an Patterns, welche als Lösungsalternative einer Problemstellung angewendet werden können. Der Zustandsraum $Z = \{\dots, z_i, \dots\}$ beschreibt eine Kombination von Einflussgrößen. Diese Einflussgrößen beschreiben verschiedene Aspekte, welche für eine Adaption eines Prozessmodells und dessen Ressourcen relevant sind, beispielsweise ökonomische Aspekte, funktionale- und nicht-funktionale Anforderungen, gesetzliche Regulierungen oder interne Unternehmensvorgaben. Die Handlungskonsequenzen $K = f(A, Z)$ repräsentieren die erwarteten Ergebnisse bei der Anwendung einer Handlungsalternative A unter Berücksichtigung der Umweltzustände Z . Zur Darstellung der gegenseitigen Abhängigkeiten wird eine Ergebnismatrix verwendet. Die Bewertungsvorschrift $B(K)$ beschreibt, wie die ermittelten Handlungskonsequenzen K bewertet und gegenübergestellt werden. Dies ermöglicht, je nach Anwendungsszenario, eine Gewichtung der individuellen Anforderungen und resultiert in einer Präferenzordnung $O \subset A \times A$ der verschiedenen Optimierungsalternativen.

Für die Umsetzung dieses Grundmodells und die Realisierung der Bewertungsvorschrift $B(K)$ können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden. Diese können in Abhängigkeit der Komplexität der Alternativenmenge und Umweltzustände deutlich variieren. Beispiele geeigneter Methoden sind:

- Lineare Optimierungsmodelle, beispielsweise die Simplex Methode [Sau09]
- Netzplantechnik [ZS01]
- ABC-Analyse [Jun06]
- Graphische Analysemodelle [Lau05]

5.5.4 Umsetzung von Adaptionentscheidungen

Im Anschluss an die Auswahl geeigneter Optimierungsalternativen wird die Umsetzung, d.h. die Adaption der bestehenden Geschäftsprozesse und der zugehörigen Anwendungskomponenten diskutiert. Die vorangestellte Entscheidung für die Anwendung einer bestimmten Optimierungsalternative ist dabei immer fallspezifisch und muss auf Basis der strategischen und ökonomischen Ziele, unternehmensinterner Richtlinien oder unter Berücksichtigung von persönlichem Erfahrungswissen der beteiligten Entscheidungsträger spezifiziert werden. Für deren Anwendung müssen zunächst die Ergebnisse der ermittelten Optimierungsalternative als Zielinfrastruktur abgebildet werden. Liegt eine solche Zielinfrastruktur, welche die Ziel-Prozessmodelle sowie die angepasste Infrastruktur und die Ressourcen abbildet, vor, können konkrete Adaptionmethoden angewendet werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll dabei nicht weiter auf die Methoden der technischen Modifikation von automatisierten Prozessen und deren Infrastruktur eingegangen werden. Hierzu wurden bereits entsprechende Ansätze entwickelt.

Binz et al. [BBK+14] haben mit der Einführung von so genannten *Enterprise Topology Graphs* (ETGs) einen Ansatz entwickelt, welcher es ermöglicht, Unternehmensinfrastrukturen zu erfassen und als entsprechenden Graph abzubilden. Ein ETG zeigt eine Momentaufnahme der in einem Unternehmen verwendeten Prozesse Services und Anwendungen sowie deren unterstützende Infrastruktur. Die Erstellung eines ETG ermöglicht demnach die Erfassung einer bestehenden Anwendungssystemtopologie. Durch die Anwendung von Graph-Algorithmen können darüber hinaus Beziehungen zwischen den

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

verschiedenen Komponenten einer Topologie identifiziert werden. Die Anwendung solcher Algorithmen macht es möglich, die für die Umsetzung einer Optimierungsalternative relevanten Komponenten zu identifizieren und diese entsprechend der Lösung einer Optimierungsalternative anzupassen. Damit ermöglicht ein ETG nicht nur eine Momentaufnahme der existierenden Unternehmenstopologie darzustellen, sondern kann als ETG‘ auch als SOLL-Modell der angewendeten Optimierungsalternativen betrachtet werden.

Breitenbücher et al. [BBK+13] beschreiben in ihrer Arbeit, wie die Überführung eines solchen SOLL-Modells technisch realisiert werden kann. Die zentralen Aspekte sind hierbei verschiedene Management Patterns, welche die abstrakten Adaptionenregeln für die Anpassung von Anwendungskomponenten beschreiben, sowie so genannte *Management-Planlets*, welche die konkrete technische Umsetzung der Adaptionenregeln abbilden. Das Vorgehensmodell zur Realisierung dieses Ansatzes gliedert sich in drei Schritte. In Schritt (1) werden die durch die Optimierungsalternativen vorgegebenen Adaptionen auf existierende Management Patterns übertragen. Diese Management Patterns werden dazu verwendet, das SOLL-Modell mit allen für eine Adaption relevanten Informationen zu erstellen. In Schritt (2) wird auf Basis dieser Annotationen sowie der definierten Management-Planlets ein übergreifender Managementplan generiert, welcher alle für eine Adaption notwendigen Aktivitäten beinhaltet. In Schritt (3) wird dieser Managementplan ausgeführt, und die Adaption wird technisch umgesetzt.

Im Folgenden wird die Umsetzung von zwei möglichen Optimierungsalternativen exemplarisch anhand von Beispielszenarien beschrieben. Das erste Beispiel zeigt die Anwendung des *Resource Change Patterns*, das zweite die Anwendung des *Green Compensation Patterns*.

5.5.4.1 Beispielumsetzung: Green Resource Change Pattern

Das primäre Ziel, welches durch die Anwendung dieses Patterns verfolgt wird, ist die Reduktion des Umwelteinflusses durch den Einsatz einer alternativen, effizienteren Ressource. Gegeben sei folgendes Beispiel: Unternehmen A führt einige wenige Male im Monat Simulationen von Entwicklungsmodellen durch. Hierfür wird für einen kurzen Zeitraum ein hoher Bedarf an Rechenkapazitäten benötigt. Bisher nutzt Unternehmen A für die Simulationen Ressourcen aus dem eigenen Rechenzentrum. Aus ökologischer Sicht ergibt sich hierbei der Nachteil, dass die Ressourcen weite Teile nur im Idle-Betrieb ausgeführt werden, d.h. Energie verbrauchen, ohne unternehmensrelevante Aufgaben abzuarbeiten. Abbildung 36 zeigt auf der linken Seite die dazugehörigen Komponenten *Linux* und *HP Server (lokal)* als Ausschnitt E eines ETGs.

Nach einer Analyse der derzeitigen Komponenten legen die Entscheidungsträger des Unternehmens A fest, dass für die Simulation zukünftig andere Ressourcen verwendet werden sollen (*Resource Change Pattern*). Marktanalysen haben ergeben, dass der Anwendungsstack der Simulation durch ein *Infrastructure as a Service* Angebot eines öffentlichen Cloud Anbieters bereitgestellt werden soll (*Public Cloud Pattern*). Dies bietet den Vorteil, dass die Simulationsumgebung nur dann zur Verfügung gestellt werden muss, wenn Simulationsaufgaben durchgeführt werden sollen. In der restlichen Zeit können die Ressourcen wieder freigegeben und durch andere Benutzer des Cloud Services verwendet werden. Neben dem veränderten Nutzungsverhalten der Ressourcen, verglichen mit der bisherigen Lösung im eigenen Rechenzentrum, kann auch das Cloud Angebot selbst durch die erreichbaren Skaleneffekte der Anbieter für eine Verbesserung des Umwelteinflusses sorgen. Ein Beispiel hierfür ist das von Amazon Web Services erbaute Rechenzentrum in der Region Oregon (USA), welches nur durch Strom aus Wasserkraft betrieben wird [Mil11]. Hierbei kann alleine durch die Nutzung von Ressourcen aus diesem Rechenzentrum der Gesamtumwelteinfluss verbessert werden.

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

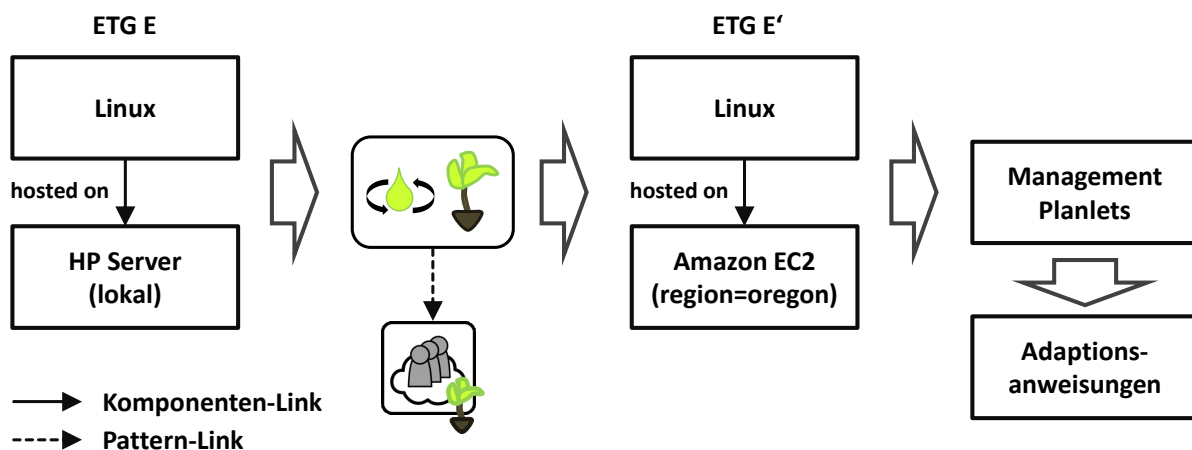


Abbildung 36: Beispielumsetzung des Patterns: Resource Change

Das Ergebnis der Anwendung, d.h. die abgeleiteten Handlungskonsequenzen aus Umweltzuständen und Alternativenmenge, wird in Abbildung 36 als Ausschnitt E' eines ETGs dargestellt. E' repräsentiert zugleich das Ausgangsmodell für die technische Adaption der Ausführungsumgebung der Simulation. In vielen Fällen können die Anwendungskomponenten jedoch nicht ohne weiteres ausgetauscht werden. Um die internen und externen Richtlinien von Unternehmen A einzuhalten, sind deshalb unter Umständen weitere Aktionen notwendig. Diese erforderlichen Aktionen zur Einhaltung der Richtlinien können von Entscheidungsträgern entweder aus ihrem Erfahrungswissen oder aus den Beziehungen zwischen den verschiedenen Patterns abgeleitet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Sicherstellung einer verschlüsselten Kommunikation zwischen einem lokalen Rechenzentrum und des gewählten Cloud Angebots. In diesem Beispielszenario kann hierzu beispielsweise das Pattern *Cloud Computing Gateway* verwendet werden [FLR+13]. Durch die Einführung zusätzlicher Anwendungslogik kann eine sichere Kommunikation zwischen on- und off-premise Systemen hergestellt werden. Die zu bestimmenden Management-Planlets müssen diese Anforderungen abdecken und einen geeigneten und umfassenden Management Plan zur Adaption der Komponenten, Prozesse und Daten bereitstellen (Abbildung 36, rechts).

5.5.4.2 Beispielumsetzung: Green Compensation Pattern

Die Analysen zur Identifikation von Green Business Process Patterns haben gezeigt, dass das Pattern *Green Compensation* einen sehr starken Verbreitungsgrad aufweist. Die Anwendung des Green Compensation Patterns dient dazu, den Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses zu kompensieren, ohne jedoch die Prozessstruktur oder die verwendeten Ressourcen selbst zu modifizieren. Ein Beispiel für eine ökologische Kompensation ist das Spenden von Geldern an Naturschutzorganisationen wie beispielsweise NABU [NABU14], welche durch Aufforstungsprojekte dazu beitragen, den CO₂-Gehalt der Atmosphäre zu reduzieren. Hierzu sei folgendes Beispiel gegeben: Unternehmen B verfügt über einen spezialisierten Herstellungsprozess für Produkt PB. Zur Einhaltung der Qualität dieses Prozesses soll dieser in seiner Struktur und den verwendeten Ressourcen nicht verändert werden. Da Unternehmen B trotzdem eine Verbesserung seines Umwelteinflusses anstrebt, soll das Pattern Green Compensation angewendet werden.

Abbildung 37 zeigt hierzu die entsprechende Prozessaktivität *CompensationActivity*, welche als Trigger für die Kompensation verwendet und in das bestehende Prozessmodell integriert wird. Im Gegensatz zum vorherigen Resource Change Pattern kann die Anwendung dieses Patterns damit auch direkten Einfluss auf den Geschäftsprozess haben, ohne jedoch den bisherigen Prozess in seinem Aufbau zu verändern. Der verwendete Web Service zur Realisierung der Kompensationsaktivität, beispielsweise der Spende an NABU, wird in diesem Beispiel auf der Ausführungsumgebung von Google, der so genannten AppEngine bereitgestellt. Dadurch ist es möglich, für jeden Prozessaufruf, d.h. für jede Prozessinstanz, auch die Kompensationsaktivität aufzurufen und somit den Gesamtumwelteinfluss positiv zu verändern.

5.5 | Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe von Green Business Process Patterns

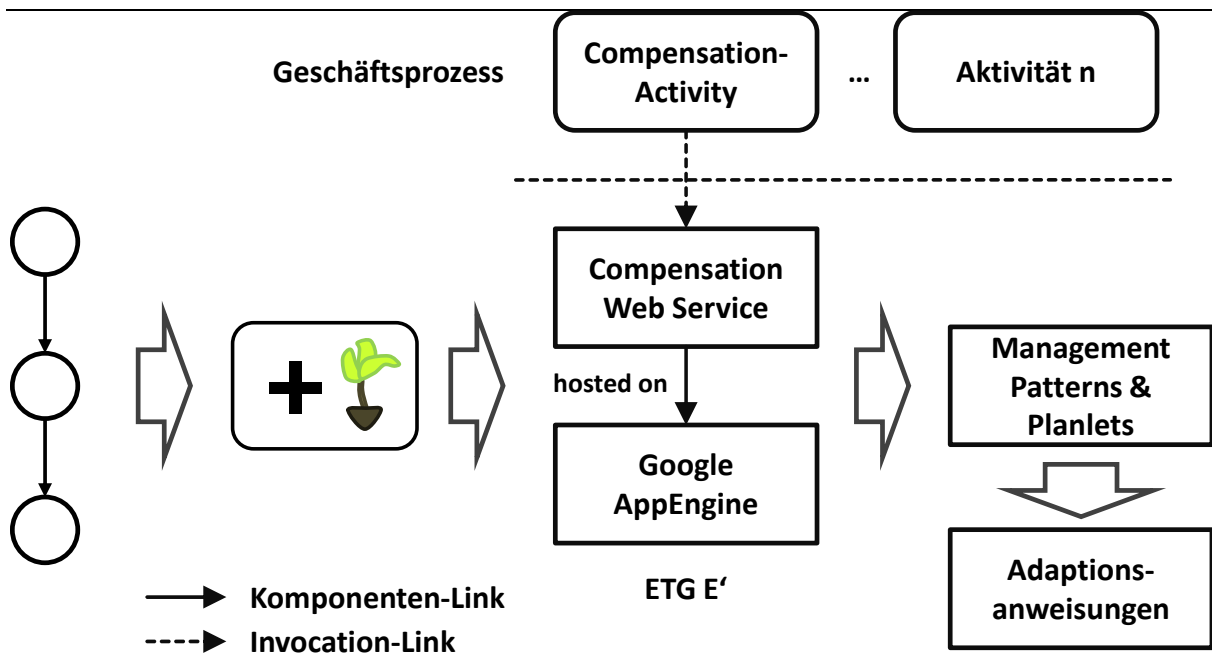


Abbildung 37: Beispielumsetzung des Green Compensation Patterns

Der in Abbildung 37 dargestellte Ausschnitt E' eines ETGs, welcher alle für die Kompensation notwendigen Komponenten enthält, kann, wie im Beispiel zuvor beschrieben für die Ableitung konkreter Handlungsanweisungen der Adaption verwendet werden. Durch das Ausführen von Managementplanlets, beispielsweise das Erzeugen einer neuen *Software as a Service* Instanz bei Google AppEngine sowie dem Deployment einer *war*-Datei in einer Ausführungsumgebung, und der anschließenden Zuordnung konkreter Managementplanlets können so konkrete Adaptionen-Anweisungen abgeleitet werden, welche automatisiert ausgeführt werden können.

5.5.5 Monitoring und Analyse des optimierten Prozessmodells

Die Identifikation und Auswahl geeigneter Optimierungsalternativen, sowie deren Umsetzung führen in der Regel zu einer Anpassung der Prozess- oder Anwendungstopologie. Die letzte Phase des Vorgehensmodells aus Abbildung 32 umfasst deshalb das Monitoring und die Analyse der optimierten Prozess- und Anwendungsumgebungen. Das Ziel dieser Phase umfasst dabei zwei verschiedene Aspekte: (1) Die

Überprüfung und Nachvollziehbarkeit der Optimierungsalternativen und (2) die Rückführung der gewonnenen Optimierungserkenntnisse. Um die erwarteten Verbesserungen der Optimierungsalternativen zu überprüfen, muss die neu gestaltete Prozess- und Anwendungsumgebung zur Adressierung von (1) weiter überwacht und analysiert werden. Kapitel 4.4 und Kapitel 4.5 zeigen hierzu beispielhaft, wie entsprechende Monitoringmodelle definiert und Analysen durchgeführt werden können. Damit schließt sich der Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements, und die bereits vorgestellten Methoden zur Verbesserung der Geschäftsprozesse können erneut angewendet werden.

Der unter (2) genannte Aspekt deckt die Rückführung der während der Durchführung einer Optimierung gewonnenen Erkenntnisse ab. Das Ziel hierbei ist es, die gewonnenen Erkenntnisse zur Verbesserung zukünftiger Optimierungsvorhaben einzusetzen. Das in Kapitel 5.5.2 vorgestellte *Pattern Support Framework* deckt diesen Aspekt durch die Komponente *Lösungsmanager* ab. Die Kombination der Analyse von Problemstellungen, den hierfür angewendeten Patterns und die Referenzierung konkreter Lösungsimplementierungen erlauben es, die Erfahrungen der Umsetzung einer Handlungsalternative in ähnlichen Optimierungsansätzen wiederzuverwenden.

5.6 Zusammenfassung Kapitel 5

Die Optimierung von Geschäftsprozessen ist ein inhärenter Teil des Geschäftsprozessmanagements. Heute gibt es verschiedene Ansätze und Methoden für die Optimierung von Geschäftsprozessen, wobei der *kontinuierliche Verbesserungsprozess* und das *Business Process Reengineering* zu den bekanntesten Vertretern gehören. Der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Pattern-basierte Ansatz umfasst methodisch die Optimierung von Geschäftsprozessen auf Basis bewährter Lösungsansätze für bestimmte, wiederkehrende Problemstellungen. Mit dieser Art der Prozessoptimierung kann damit sowohl eine evolutionäre als

auch eine revolutionäre Verbesserungen von Geschäftsprozessen erreicht werden. Die identifizierten Ansätze und Methoden decken Forschungsbeitrag 3 dabei wie folgt ab:

Kapitel 5.1 beschreibt zunächst die Grundlagen einer Pattern-basierten Prozessverbesserung und zeigt die bisher existierenden Ansätze im Rahmen eines konventionellen Geschäftsprozessmanagements auf. Weiter beschreibt dieses Kapitel die entwickelte Differenzierung von verschiedenen Pattern Typen. Implizite Green Business Process Patterns adressieren primär funktionale Anforderungen an ein Prozessmodell oder dessen Infrastruktur, d.h., die Optimierung des Umwelteinflusses stand bei der Definition dieser Patterns nicht im Fokus. Explizite Green Business Process Patterns hingegen adressieren Ansätze zur expliziten Verbesserung des Umwelteinflusses von bestehenden Geschäftsprozessen und deren Infrastruktur. Kapitel 5.2.1 definiert anschließend ein allgemeines Vorgehensmodell zur Identifikation von Patterns, welches in der vorliegenden Arbeit angewendet wird. Kapitel 5.2.2 verfeinert dieses Modell und beschreibt verschiedene Charakteristika, welche typisch für die Domäne nachhaltiger Geschäftsprozesse sind und ebenfalls in der vorliegenden Arbeit angewendet werden. Für die Dokumentation der identifizierten Green Business Process Patterns definiert Kapitel 5.3 eine geeignete, einheitliche Beschreibungssprache, in welcher alle der in Kapitel 5.4 beschriebenen Patterns dokumentiert sind. Die in den Kapiteln 5.4.2 bis 5.4.5 beschriebenen Patterns umfassen die Kategorien Explizite Green Business Process Patterns, Workflow Patterns, Application Architecture Patterns und Cloud Computing Patterns. Darüber hinaus beinhaltet Kapitel 5.4.1 eine Übersicht über die Beziehungen zwischen den verschiedenen Patterns. In Kapitel 5.4.6 erfolgt eine kritische Diskussion der Lösungsansätze der verschiedenen Patterns.

Im Anschluss an die Beschreibung der verschiedenen Green Business Process Patterns greift Kapitel 5.5 die Bestimmung von Optimierungsalternativen mit Hilfe dieser Patterns auf. Der zentrale Ausgangspunkt ist das in diesem Kapitel beschriebene Vorgehensmodell,

welches die Hauptphasen Vorbereitung, Entscheidungsfindung und Umsetzung, sowie die Analyse umfasst. Die Phasen Vorbereitung und Analyse wurden bereits in Kapitel 4 ausführlich beschrieben, weshalb der Hauptfokus auf der Entscheidungsfindung und Umsetzung liegt. Kapitel 5.5.2 definiert ein Pattern Support Framework, welches Anwender bei der Auswahl geeigneter Patterns, sowie der Rückführung und Verwaltung der innerhalb eines Optimierungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse unterstützt. Kapitel 5.5.3 beschreibt anschließend eine Methode zur Auswahl von Handlungsalternativen und Kapitel 5.5.4 beschreibt Ansätze und Methoden zur Umsetzung dieser Handlungsalternativen. Kapitel 5.5.4.1 und Kapitel 5.5.4.2 beschreiben zudem exemplarisch die Umsetzung der Patterns *Green Resource Change* und *Green Compensation*.

PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG

Dieses Kapitel beschreibt die prototypische Implementierung der in Kapitel 3 und Kapitel 4 vorgestellten Methoden zur Erfassung und Analyse des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen, sowie der in Kapitel 5 vorgestellten Methoden zur Identifikation und Auswahl geeigneter Patterns zur Optimierung. Eine Übersicht über die Gesamtarchitektur zeigt Abbildung 38. Als Laufzeitumgebung für die in BPEL beschriebenen Geschäftsprozesse kommt ein Apache ODE Workflowmanagementsystem [ASF14] zum Einsatz, welches um die Funktionalitäten des Plugable Framework [KKL07] erweitert wird. Die während der Ausführung erzeugten Informationen (Events) werden mittels Apache ActiveMQ dem eigentlichen, in Java implementierten, KEI Monitoring- und Analysesystem bereitgestellt. Dieses System besteht aus mehreren Komponenten. Der sogenannten *KEI Monitor* verwaltet und verarbeitet alle bei der Ausführung des Prozesses anfallenden Events. Zudem umfasst der KEI Monitor die Integrationsmechanismen zur Einbindung von Umweltdaten und zur Persistierung sämtlicher Laufzeit- und Umweltinformationen. Die *KEI Web Services* Komponente beinhaltet neben der Benutzerschnittstelle weitere Services zur Analyse und Visualisierung von Geschäftsprozessen. Das *DBMS* dient der Datenerhaltung von Ausführungs- und Umweltdaten sowie als Repository für die Process Configurations und Visualization Templates.

Für die Pattern-basierte Optimierung von Geschäftsprozessen wurde ein so genanntes *Pattern Support System* entwickelt, welches das in Kapitel 5.5.2 vorgestellte Pattern Support Framework realisiert. Die zentrale

Komponente ist ein erweitertes *MediaWiki* [Med14], welches die Darstellung der verschiedenen Patterns und der typisierten Beziehungen zwischen den Patterns erlaubt. Sowohl die Patterns, als auch die Informationen zu ihren Beziehungen werden in einer MySQL Datenbank persistiert.

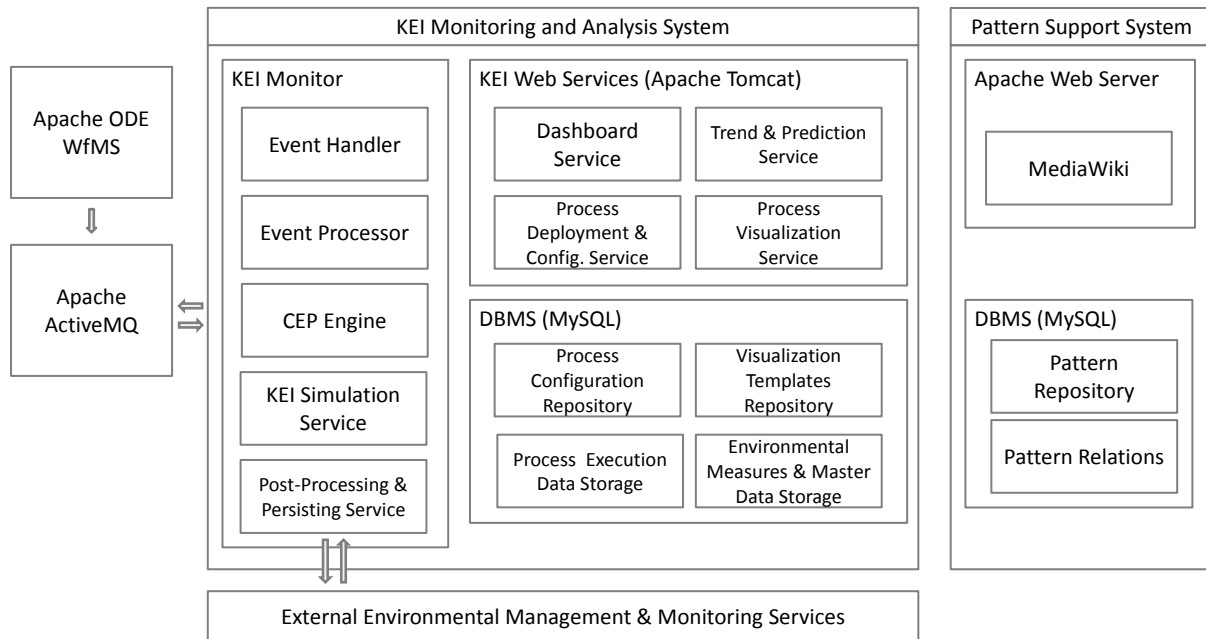


Abbildung 38: Hauptkomponenten des KEI Monitoring und Analyse Systems

Kapitel 6.1 beschreibt im weiteren Verlauf das *zentrale KEI Monitoring- und Analysesystem*, welches die gesamte Verarbeitung der konventionellen und ökologischen Laufzeitinformationen umfasst. Kapitel 6.2 stellt anschließend die verwendeten Komponenten des *Pattern Support Systems* vor, welches die Optimierungs- und Adaptionentscheidung unterstützt.

6.1 KEI Monitoring- und Analysesystem

Das in Java entwickelte KEI Monitoring- und Analysesystem ist der zentrale Ausgangspunkt zur Unterstützung von ökologisch nachhaltigem Geschäftsprozessmanagement und gliedert sich in die folgenden drei Hauptkomponenten: *KEI Monitor*, *KEI Web Service* und *DBMS*. Diese Hauptkomponenten gliedern sich jeweils in weitere Unterkomponenten auf, welche im Folgenden im Detail vorgestellt und erläutert werden.

6.1.1 KEI Monitor

Im Folgenden werden die entwickelten Komponenten des KEI Monitors beschrieben.

Event Handler. Der *Event Handler* stellt die Schnittstelle zur ausführenden Prozessumgebung dar. Er besteht hauptsächlich aus zwei Komponenten: Einem so genannten (1) *Custom Controller*, welcher sich auf alle Events der Ausführungsumgebung registriert und diese an einen oder mehrere (2) *Event-Filter* übergibt.

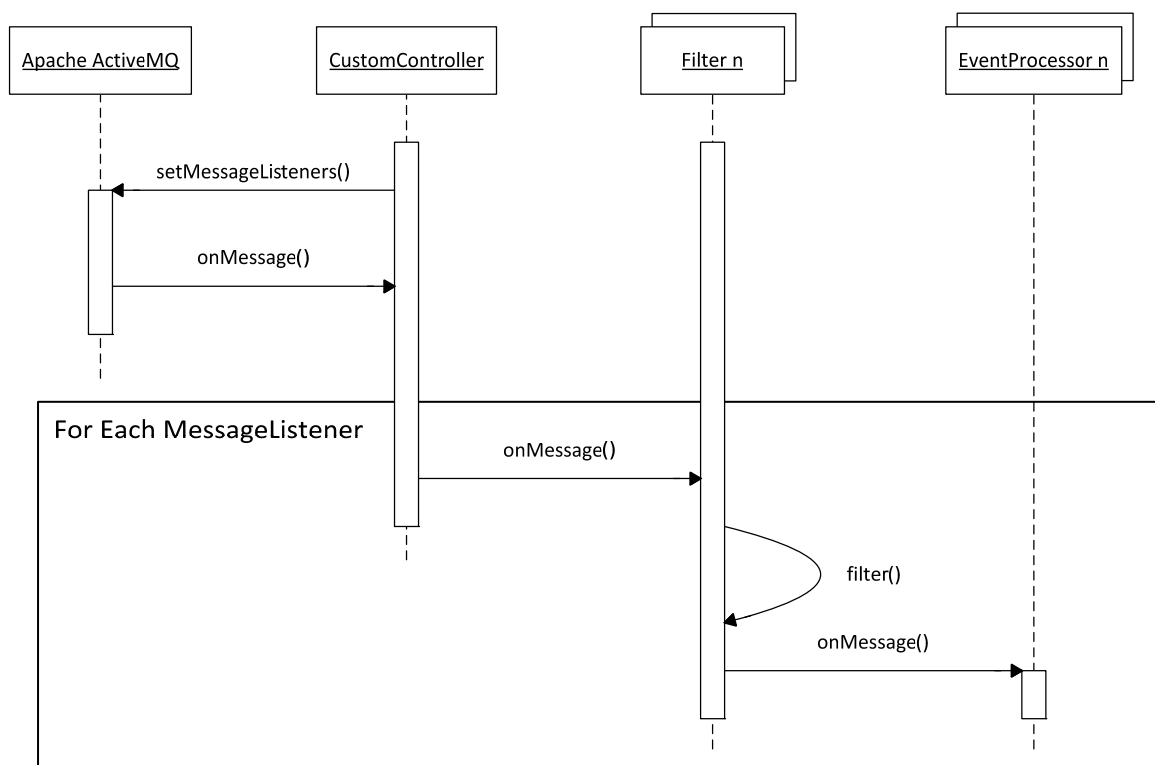


Abbildung 39: Sequenzdiagramm des Event Handlers

Jeder Filter repräsentiert eine bestimmte Domäne und filtert jene Events, welche für diese Domäne relevant sind. Die relevanten Events werden anschließend an die eigentlichen Implementierungen innerhalb der Komponente *Event Processor* weitergeleitet. Eine Übersicht dieses Ablaufs zeigt Abbildung 39. Der modulare Aufbau erlaubt es, beliebige weitere Filter zu integrieren, um neue Anforderungen an Informationen bezüglich der Prozessausführung zu verarbeiten. Zudem wird hierdurch

ermöglicht, dass bestehende Funktionalitäten des konventionellen BPMs in dieses System integriert werden.

Event Processor. Die Verarbeitung der von den verschiedenen Filtern bereitgestellten Events wird innerhalb der Komponente *Event Processor* durchgeführt. Jedem Filter ist hierzu mindestens ein Event Processor, d.h. eine Implementierung zugeordnet. Der entwickelte Prototyp hat bisher zwei verschiedene Event Prozessoren implementiert: einen *KEI Processor* und einen *Activity Execution Tracker*. Der KEI Processor implementiert die zur Erfassung und Verarbeitung aller umweltrelevanten Informationen benötigten Funktionalitäten. Dies umfasst beispielsweise die Dokumentation der ausgeführten Prozess- und Aktivitätsinstanzen, die Korrelation der Start- und Endevents einer Aktivität inklusive der Ermittlung der Ausführungszeit sowie die Annotation von Umweltdaten an einzelne Aktivitäts- oder Prozess-Events. Der Activity Execution Tracker dient der Dokumentation der von einem Prozess aufgerufenen Services. Dazu werden für jede invoke-Aktivität Informationen zum aufgerufenen Endpunkt erfasst. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden anschließend als neue Events an die Komponente *Apache ActiveMQ* übergeben und stehen zur weiteren Verarbeitung, beispielsweise durch den *Persisting Service*, zur Verfügung.

CEP Engine. Die *CEP Engine* bietet durch die Integration einer Esper Complex Event Processing Engine [Esp14] die Möglichkeit, komplexe Abfragen auf den eingehenden Eventstrom der Prozessausführung (Apache ODE) anzuwenden. Wie auch der Custom Controller, registriert sich die CEP Engine auf alle von der Prozessausführungsumgebung emittierten Events und verarbeitet diese anhand definierter CEP Statements. In der vorliegenden Arbeit werden CEP Statements innerhalb des Event-Processors für die Ermittlung der Ausführungszeit von Aktivitäten definiert. Alle im Rahmen der KEI Verarbeitung weiteren benötigten Informationen werden direkt innerhalb des *KEI Event Processors* generiert.

KEI Simulation Service. Der *KEI Simulation Service* dient der Annotation simulierter Umweltdaten an Prozessaktivitäten. Die Annotation der Umweltdaten wird dabei durch eine als XML Datei (*configManager.xml*) beschriebene Konfiguration definiert. Der Service unterstützt zum einen die Annotation von manuellen Werten, welche beispielsweise auf Erfahrungswissen basieren oder aus externen Ermittlungen oder Studien erhoben werden, und zum anderen von simulierten Werten, welche Erwartungen an den Umwelteinfluss widerspiegeln. Sollen Werte simuliert werden, so kann beim Deployment eines Prozesses mit Hilfe der graphischen Benutzerschnittstelle des *Process Deployment & Configuration Services* für jede Aktivität definiert werden, ob die vordefinierten KEIs Energieverbrauch und CO₂-Emissionen erfasst werden sollen. Listing 6.1 zeigt eine solche Beispielkonfiguration. Die min/max Notation gibt an, dass Umweltinformationen auch innerhalb eines Wertebereiches definiert werden können. Die simulierten Werte aus diesem Wertebereich werden anhand einer Gleichverteilung ermittelt und erlauben so die Abbildung von variablen Werten.

```
1 <processes>
2   <process>
3     <name>
4       {de.unistuttgart.iaas.bpel.loadProcess}LoadProcess
5     </name>
6     <activities>
7       <activity>
8         <name>Call External Service1</name>
9         <xpath>/process/sequence[1]/invoke[1]</xpath>
10        <simulation>
11          <energy simulate="true">
12            <min>1.0</min>
13            <max>40.0</max>
14          </energy>
15          <co2sla simulate="false">
16            <min>20.0</min>
17            <max>20.0</max>
18          </co2sla>
19        </simulation>
20      </activity>
21    </activities>
22  </process>
23 </processes>
```

Listing 6.1: Beispiel einer KEI-Prozesskonfiguration

Eine Übersicht des Konfigurationswizards zur Definition der KEI Werte zeigt Abbildung 40. Bisher werden im Rahmen des *Process Deployment & Configuration Services* nur die KEIs Energieverbrauch und CO₂-Emissionen als direkte Auswahlwerte unterstützt. Weitere Indikatoren können direkt in der vom *Process Deployment & Configuration Services* erstellten Konfigurationsdatei definiert werden. Diese werden in Form einer Liste von KEIs direkt an die Aktivitätsevents annotiert.

The screenshot displays the '5. Annotate Activities' step of the KEI Configuration Wizard. The process is identified as '{de.unistuttgart.iaas.process}SimpleBPELProcess'. The wizard is configured for three 'Invoke' activities, each with the following settings:

- Invoke1:** XPath: /process/sequence[1]/invoke[1]; Energy: true; Min: 0.01; Max: 0.8; CO₂ SLA: true; Min: 0.1; Max: 2.0.
- Invoke2:** XPath: /process/sequence[1]/invoke[2]; Energy: true; Min: 0.01; Max: 0.8; CO₂ SLA: true; Min: 0.1; Max: 2.0.
- Invoke3:** XPath: /process/sequence[1]/invoke[3]; Energy: true; Min: 0.01; Max: 0.8; CO₂ SLA: true; Min: 0.1; Max: 2.0.

At the bottom of the wizard, there are four buttons: 'Cancel', 'Back', 'Next', and 'Finish'.

Abbildung 40: KEI Konfigurationswizard

Das KEI Monitoring und Analyse System unterstützt darüber hinaus auch die automatisierte Anbindung von externen Umweltsystemen. Diese Funktionalität ist Teil des *Post-Processing & Persisting Services* und wird im Folgenden beschrieben.

Post-Processing & Persisting Service. Der *Post-Processing & Persisting Service* ist in Java entwickelt und integriert zwei verschiedene Teilbereiche: Einen Post-Processor zur Bearbeitung der vom KEI Monitoring und Analyse System bereitgestellten Events und eine Komponente zur Aufbereitung und Persistierung aller relevanter Informationen. Mit Hilfe des Post-Processors können Informationen zu einzelnen Aktivitäten ergänzt oder manipuliert werden. Die hierfür bereitstehenden Events bieten u.a. das von der Process Engine erzeugte Start und Ende Event inklusive der zugehörigen Timestamps, die Instanz-ID und der aufgerufene Endpunkt jeder Aktivität. Diese Informationen erlauben eine umfassende Korrelation zu bestehenden, externen Messwerten und Informationen. Sollen zum Beispiel für bestimmte

Aktivitäten Monitoring Informationen direkt von einer automatisierten Monitoringkomponente, wie einer externen Datenbank mit detaillierten Messwerten von Systemen (vgl. *External Environmental Management & Monitoring Services*) bezogen werden, können diese durch den Post-Processor integriert und an die entsprechenden Aktivitäten annotiert werden.

Die Persistierungskomponente nimmt alle vom KEI Monitor verarbeiteten Events entgegen und führt sowohl die Vorbereitung für, als auch die Persistierung der Informationen in der DBMS Komponente durch. Die Persistierungskomponente implementiert derzeit Funktionalitäten für folgende Aufgabenbereiche: (1) die Persistierung der Informationen aus den Instanz-Events der Prozessausführung, (2) die Verarbeitung und Persistierung der CEP Statements, (3) die Verarbeitung und Persistierung von Informationen zur Ausführungsüberwachung und Dokumentation der Endpunkte der aufgerufenen Services und (4) die Berechnung und Persistierung weiterer Umweltindikatoren auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen. Eine Übersicht dieses Ablaufs zeigt Abbildung 41.

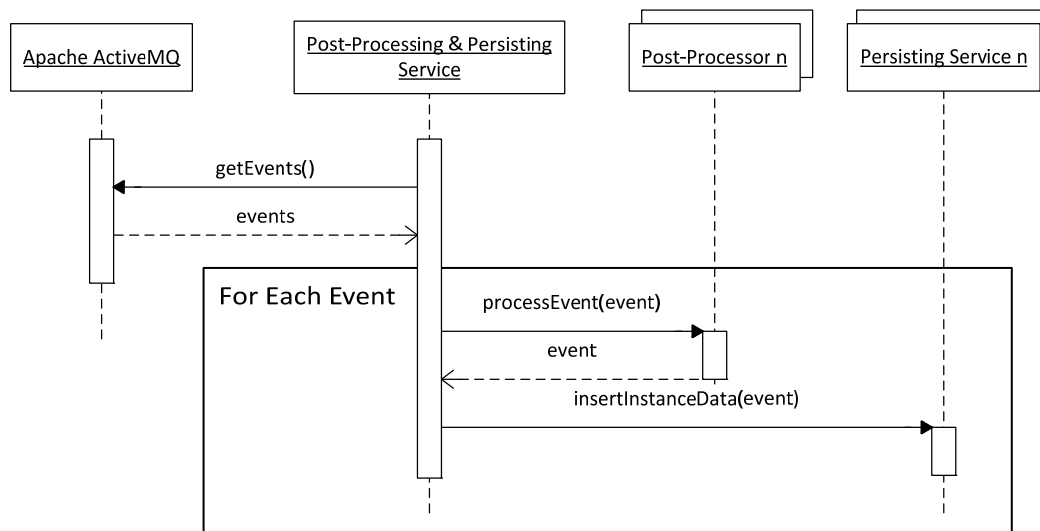


Abbildung 41: Sequenzdiagramm des Post-Processing & Persisting Service

6.1.2 KEI Web Services

Im Folgenden werden die entwickelten Komponenten der KEI Web Services beschrieben.

Dashboard Service. Der *Dashboard Service* stellt das Web-Frontend bereit, welches als zentrale Komponente der Benutzerinteraktion eingesetzt wird. Als Technologien kommen hierbei Spring MVC [WB07] und jQuery [TjF14] zum Einsatz. Das Dashboard hat im Wesentlichen zwei Aufgabengebiete: (1) die Informationsrepräsentation der Laufzeitdaten und (2) die Integration verschiedener Prozessvisualisierungen durch Nutzung des *Process Visualization Service*. Abbildung 42 zeigt die Einstiegsseite mit einer Übersicht über die verfügbaren Prozesse sowie den entsprechenden aggregierten (und umweltrelevanten) Laufzeitinformationen. Diese Informationsaufbereitung kann zusätzlich auf der Ebene eines konkreten Prozessmodells, dessen Instanzen, sowie der einzelnen Aktivitäten erfolgen.

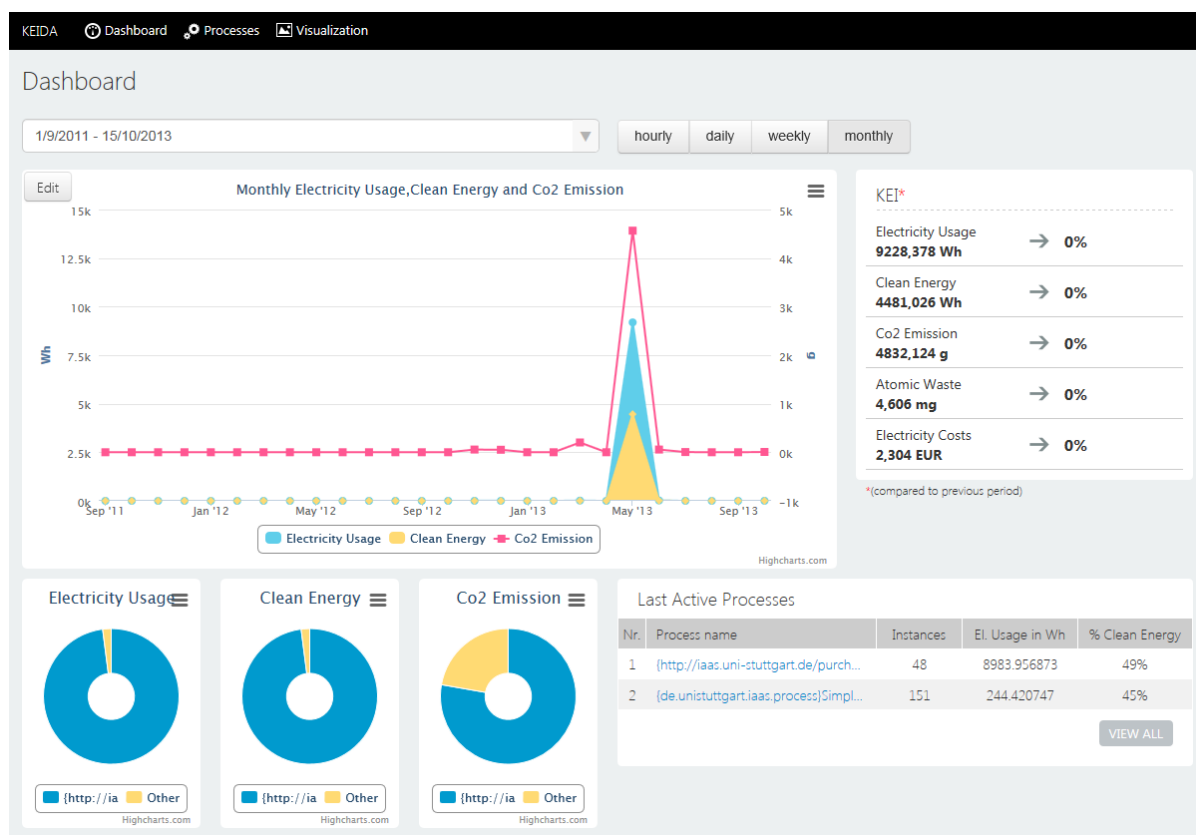


Abbildung 42: Einstiegsseite des KEI Dashboards

6 | Prototypische Implementierung

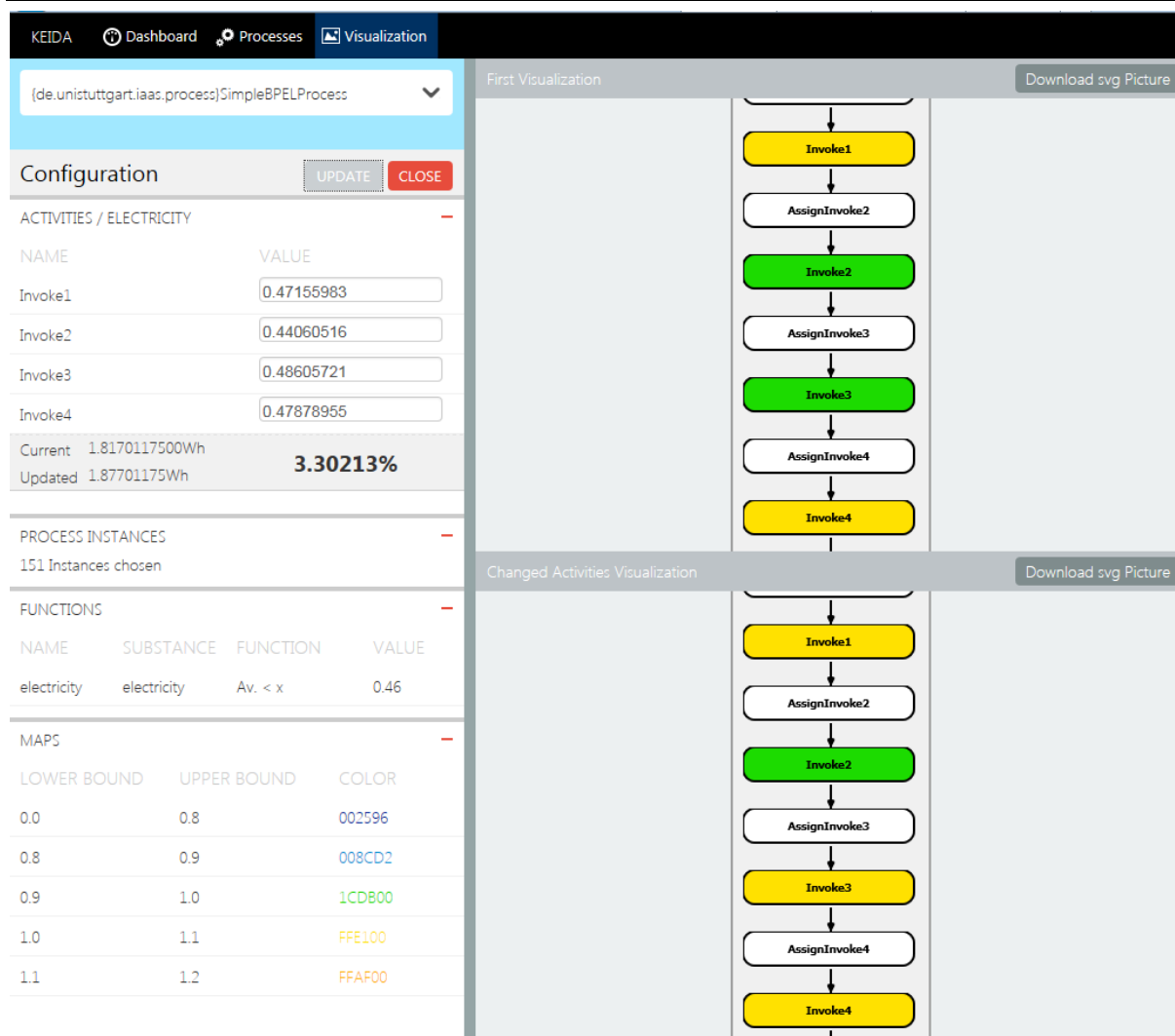


Abbildung 43: Visualisierung eines Prozessmodells, bei welcher der Energieverbrauch der Aktivitäten durch verschiedene Farben dargestellt wird

Das Dashboard unterstützt zudem die Generierung einer Visualisierungskonfiguration, welche durch den *Process Visualization Service* verarbeitet und zur graphischen Darstellung eines Prozesses benötigt wird. Details zur Definition der Visualisierungskonfiguration werden in Kapitel 4.5.1.4 beschrieben. Die Visualisierungsfunktionalitäten werden auch für einen einfachen Vergleich von Prozessmodellen herangezogen. Hierbei werden die Auswirkungen einer Modifikation der an einer Aktivität annotierten Umweltdaten durch ein zweites Prozessmodell dargestellt. Zusätzlich werden die Änderungen in Textform dargestellt. Abbildung 43 zeigt eine Beispielformalisierung eines Prozessmodells. Das Prozessmodell im oberen Bereich zeigt die realen

Laufzeitinformationen, das Modell im unteren Bereich dient dem Vergleich mit einem neu annotierten Prozessmodell (siehe Bereich *Configuration*).

Trend- & Prediction Service. Der *Trend & Prediction Service* wird primär vom *Dashboard Service* verwendet. *Trends* werden verwendet, um Laufzeitinformationen einer Periode mit den Werten der Vorperiode zu vergleichen. Diese Werte sind sowohl für alle Prozesse als auch für spezifische Prozessmodelle verfügbar und werden auf Basis der in der Datenbank verfügbaren Werte generiert. Die Implementierung nutzt als Vorperiode automatisiert einen von der zeitlichen Dauer identischen Zeitraum vor dem Betrachtungszeitraum. Die *Prediction* Funktionalitäten werden innerhalb der Visualisierung von Prozessmodellen verwendet, um Veränderungen der Annotationen zu repräsentieren. Dabei werden eine Kopie der Visualisierungskonfiguration erstellt, die entsprechenden modifizierten Werte angepasst und eine neue Visualisierung generiert.

Process Visualization Service. Der *Process Visualization Service* implementiert die Runtime Komponenten des in Kapitel 4.5.1 vorgestellten Ansatzes zur visuellen Repräsentation von Geschäftsprozessen. Der Service nutzt Visualisierungstemplates, Prozessmodelle und Visualisierungskonfigurationen als Input und generiert daraus eine mit Monitoring-Daten annotierte graphische Repräsentation (SVG) eines Prozessmodells. Bisher werden für die Generierung von visuellen Prozessrepräsentationen lediglich BPEL Prozessmodelle unterstützt. Die Generierung der Visualisierungskonfiguration wird durch den *Dashboard Service* graphisch unterstützt. Ein Beispiel der visuellen Repräsentation eines Geschäftsprozesses zeigt Abbildung 43.

Process Deployment & Configuration Service. Der *Process Deployment & Configuration Service* hat das Ziel, in BPEL beschriebene Geschäftsprozesse in das *KEI Monitoring und Analyse System* zu integrieren. In Form eines Wizards übernimmt der Service dabei die

Aufgaben der Vorbereitung des Deployments eines Prozessmodells auf der verwendeten Apache ODE Process Engine sowie die Erstellung der Konfiguration des Systems hinsichtlich der zu überwachenden Laufzeitinformationen. Die erstellten Konfigurationen werden sowohl vom *KEI Simulation Service* als auch vom *Post-Processor & Persisting Service* verwendet. Für das Deployment eines neuen Prozessmodells wird die von Apache ODE bereitgestellte SOAP Schnittstelle verwendet. Die Konfiguration der für ein Prozessmodell definierten umweltrelevanten Laufzeitinformationen wird durch zwei XML Konfigurationsdateien abgedeckt. Die Datei *processIndicatorDefinition.xml* spezifiziert die für ein Prozessmodell definierten Umweltdaten, welche im Anschluss an die Prozessausführung durch den *KEI Simulation Service* oder den *Post-Processing & Persisting Service* ermittelt werden sollen.

```
1 <processes>
2   <process>
3     <name>{de.unistuttgart.iaas.process}Processname</name>
4     <indicators>
5       <indicator>absoluteCleanEnergy</indicator>
6       <indicator>absoluteCo2</indicator>
7       <indicator>absoluteElectricity</indicator>
8       <indicator>absoluteElectricityCosts</indicator>
9       <indicator>absoluteAtomicWaste</indicator>
10      <indicator>averageCo2Emission</indicator>
11      <indicator>averageElectricityConsumption</indicator>
12      <indicator>averageEnergyCosts</indicator>
13      <indicator>averageAtomicWaste</indicator>
14      <indicator>percentageCleanEnergy</indicator>
15    </indicators>
16  </process>
17 </processes>
```

Listing 6.2: Beispielkonfiguration processIndicatorDefinition.xml

Listing 6.3 zeigt einen Ausschnitt der Konfiguration. Die zur Ermittlung der für diese Berechnungen notwendigen Informationen werden in der Datei *configManager.xml* abgelegt. Der *KEI Simulation Service* verwendet die dort definierten Daten zur Berechnung der eigentlichen Werte und Annotation der entsprechenden Aktivitäten eines Prozesses mit simulierten beziehungsweise manuell definierten Umweltdaten. Weitere Informationen zur Nutzung dieser Daten sind in Kapitel 0 beschrieben.

6.1.3 DBMS

Im Folgenden werden die entwickelten Komponenten des DBMS beschrieben.

Process Configuration Repository. Das *Process Configuration Repository* persistiert sämtliche Prozesskonfigurationen, welche mit Hilfe des *Process Deployment & Configuration Services* erstellt, verwaltet und von dem *KEI Simulation Service* sowie dem *Post-Processing und Persisting Service* verwendet werden.

Eine Ausnahme bilden die Visualisierungskonfigurationen der Prozessmodelle. Diese werden innerhalb des *Dashboard Services* generiert und nur im Speicher gehalten. Bisher werden die Visualisierungskonfigurationen nicht persistiert, sondern je nach Anwendungsfall neu generiert.

Visualization Templates Repository. Das *Visualization Templates Repository* dient der Persistierung der zur visuellen Repräsentation zur Verfügung stehenden Templates. Es umfasst neben dem Namen des Templates auch den Standard SVG-Code eines Templates, welcher durch Annotationen mit Laufzeitumgebungen individualisiert werden kann. Die von Benutzern generierten Templates, welche durch die Berücksichtigung von Laufzeitinformationen angepasst werden, werden nicht innerhalb dieses Repositories abgelegt. Sie werden dem Benutzer innerhalb des *Dashboard Services* zum Download bereitgestellt und können bei Bedarf neu generiert werden.

Process Execution Data Storage. Die bei der Ausführung von Prozessen erzeugten Laufzeitinformationen werden unter der Komponente *Process Execution Data* zusammengefasst und in einer MySQL Datenbank persistiert. Diese Laufzeitinformationen umfassen alle Informationen, welche direkt einer Prozess- oder Aktivitätsinstanz zugeordnet werden können. Hierfür werden alle von der Ausführungsumgebung erzeugten Informationen zu den Prozess- und Aktivitätsinstanzen erfasst und persistiert.

Environmental Measures & Master Data Storage. Die Informationen der *Environmental Measures & Master Data* umfassen alle umweltrelevanten Stammdaten und Laufzeitinformationen. Die Stammdaten umfassen alle Informationen, welche zur Definition der umweltrelevanten Überwachung von Prozessen notwendig sind. Hierzu zählen folgende Aspekte:

Substance Type und *Substance*: Der Substance Type definiert die Art des Umwelteinflusses, beispielsweise Emissionen, Abfall, oder den Verbrauch von Energie, Material und Land. Eine Substance spezifiziert eine konkrete Ausprägung dieser Typen. Beispiele hierfür sind Elektrizität (Typ: Energie) oder CO₂-Emissionen (Typ: Emissionen). Diese Aufteilung ermöglicht dadurch eine detaillierte Analyse der verschiedenen Umwelteinflüsse.

Energy-Mix: Der Energy-Mix ermöglicht die spezifische Definition der zum Einsatz kommenden Energiearten, beispielsweise Atomstrom, fossile Brennstoffe oder erneuerbare Energien. Diese Informationen können beispielsweise zur Ermittlung der gesamten CO₂-Emissionen herangezogen werden.

Indicator Type, *Indicator Level*, *Indicator Definition* und *Indicator Target*: Indikatoren werden für jede Aktivitätsinstanz erfasst. Der *Indicator Type* gibt an, ob es sich um einen konventionellen Indikator, einen KPI, einen Umweltindikator oder ein KEI handelt. Das *Indicator Level* definiert, ob sich ein Indikator auf einen Prozess, eine Aktivität oder auf die jeweiligen

6.2 | Pattern Support System

Instanzen eines Prozesses oder einer Aktivität bezieht. Die *Indicator Definition* spezifiziert die für das System verfügbaren Indikatoren und referenziert dabei die entsprechenden Typen und Levels. Ein Beispiel hierfür ist „*Electricity Usage*“, welches ein *KEI* auf Ebene von *Aktivitätsinstanzen* repräsentiert. Die für KEIs oder KPIs notwendigen Zielwerte werden im Rahmen der *Indicator Targets* definiert.

Die umweltrelevanten Laufzeitinformationen werden ebenfalls während der Ausführung eines Prozesses erfasst und in einer MySQL Datenbank persistiert. Hierzu zählen folgende Informationen:

Indicator und Indicator Aggregation: Die Indikatoren repräsentieren spezifische Instanzen der *Indicator Definitions* für jede Aktivitätsinstanz eines Prozesses. Die *Indicator Aggregations* umfassen darüber hinaus aggregierte Werte für komplette Prozessinstanzen, welche Informationen für schneller Abfragen bereithalten.

Activity Instance Input / Output: In Abhängigkeit der eingesetzten *Substance* können die ermittelten Indikatoren weiter spezifiziert werden und entsprechend als Input oder Output einer Aktivität definiert werden. Diese Informationen verbessern das Analysepotential.

Activity Execution Tracker: Die Informationen des Activity Execution Trackers dienen dem Post-Processing. Sie geben Aufschluss, welche Aktivitäten welchen Service unter welchem Endpunkt aufgerufen haben. Damit wird beispielsweise ein direkter Korrelationsmechanismus für externe Monitoringsysteme bereitgestellt.

6.2 Pattern Support System

Das Pattern Support System implementiert das in Kapitel 5.5.2 vorgestellte Pattern Support Framework. Das Pattern Support System umfasst hierzu ein erweitertes MediaWiki [Med14] sowie eine MySQL Datenbank zur Persistierung aller relevanten Informationen. Die folgenden Kapitel beschreiben die einzelnen Komponenten im Detail.

MediaWiki. Das in PHP realisierte *MediaWiki* ist die zentrale Komponente des Pattern Support Systems. Es ermöglicht durch die Verwendung von Wiki-Seiten die Dokumentation verschiedenartiger Patterns. Durch die dynamische Seitengestaltung ist es möglich, Patterns in beliebigen Beschreibungssprachen abzubilden.

The screenshot shows a MediaWiki page titled "Green External Choice". The page layout includes a sidebar on the left with navigation links, a main content area, and a right-hand sidebar with classification and relations information.

Classification

Category	Pattern
Class	Activity
SubClass	Behavior

Relations to other patterns

Can be used with

- Green Compensation
- Green Control Flow
- Green Variant
- Human Process Performance
- Insourcing
- Outsourcing
- Process Automation

Tags / This pattern improves

Execution order

Used in solutions

Kontext [edit]

Ein Unternehmen mit verschiedenen Entscheidungspunkten im Prozessablauf möchte den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung [edit]

Geschäftsprozesse führen Aufgaben typischerweise nicht rein sequenziell aus, sondern beinhalten verschiedene Entscheidungspunkte, Verzweigungen und Pfade, welche bestimmte Anforderungen und Zielvorgaben realisieren. Das Design der Entscheidungspunkte basiert dabei in der Regel auf den strategischen und technischen Zielvorgaben und stellt sicher, dass der Prozess das erwartete Ergebnis liefert. Dieses Design kann jedoch dazu führen, dass der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses durch technische oder strategische Zielvorgaben negativ beeinflusst wird. Werden ökologische Aspekte außer Acht gelassen, können aus Umweltsicht nachteilige Entscheidungen getroffen werden.

Lösung [edit]

Die Auswahl eines Prozesspfades, sowie die Bereitstellung der Informationsbasis eines Entscheidungspunkt innerhalb eines Prozesses, werden auf die Ausführungsumgebung eines Prozesses übertragen. Hierfür müssen existierende Prozessmodelle um spezifische Auswahlpunkte erweitert werden, an welchen das Prozessverhalten auf Basis der externen Informationen beeinflusst werden soll. Diese Auswahlpunkte und Prozesspfade können auch verschiedene Geschäftsziele repräsentieren, bspw. die herkömmliche oder „eco“ Verarbeitung des Prozesses. Zudem muss sichergestellt werden, dass die für eine Entscheidung notwendigen Informationen der Prozessinstanz entsprechend bereitgestellt werden. Hierfür muss, je nach Typ des Prozesses, das Monitoringmodell angepasst und die Informationen bereitgestellt werden. Beispielsweise kann der Gesamtenergieverbrauch eines Prozesses zur Auswahl der vom Prozess verwendeten Ressourcen herangezogen werden. Diese Informationen können beispielsweise in einer Datenbank gespeichert und über einen entsprechenden Adapter direkt vom Prozess ausgelesen werden.

Lösungsskizze [edit]

Ergebnis [edit]

Die Integration externer Informationen in den Prozesskontext ermöglicht dem Prozessdesigner die explizite Berücksichtigung von Laufzeit- und Umweltdaten. Der spezifische Ausführungspfad sowie die zur Ausführung der Aktivitäten verwendeten Ressourcen können damit zur Laufzeit definiert werden. Die Ausführung eines Prozesses auf Basis seiner Umweltdaten verbessert nicht nur den individuellen Umwelteinfluss dieses Prozesses, sondern ermöglicht auf eine Verbesserung der Ressourcenauslastung durch Nutzung von prozessübergreifenden Synergieeffekten.

Beispiele [edit]

Eine explizite Auswahl unterschiedlicher Prozesspfade ist im Versandprozess von DHL^[1] zu finden. Kunden können hierbei entscheiden, ob sie Pakete für den Standard-Versand oder den GoGreen-Versand aufgeben, welcher einen CO₂-freien Versand ermöglicht. Anstatt die Auswahl dem Kunden zu überlassen, kann der Versandprozess diese Entscheidung auch selbstständig, beispielsweise auf Basis der in einem bestimmten Zeitraum ausgeführten Instanzen, durchführen.

Beziehungen zu anderen Patterns [edit]

Das Pattern Green Compensation kann allgemein als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Für die Restrukturierung und Anpassung des Kontrollflusses eines Prozesses können zudem die Patterns Green Control Flow, Common Process Improvement, Process Automation und Human Process Performance herangezogen werden. Die Einführung einer Green Variant kann darüber hinaus die Einführung alternativer Pfade unterstützen. Für die Terminierung der nicht ausgeführten Pfade kann das Pattern Green Cancel Activity betrachtet werden. Für die Optimierung der Ressourcennutzung können die Patterns Green Lazy Load, Green Gateway, Green Loose Coupling und Green Batch Processing verwendet werden. Durch die Anwendung der Patterns Insourcing, Outsourcing können darüber hinaus auch Skaleneffekte bei der Nutzung der Ressourcen erzielt werden.

1. [↑] [DHL13]

Abbildung 44: Beispielseite des Pattern Support Systems

Abbildung 44 zeigt exemplarisch die Darstellung des Patterns *Green External Choice* aus Kapitel 5.4 in der in Kapitel 5.3 vorgestellten Beschreibungssprache. Die Definition der Beziehungen zwischen verschiedenen Patterns wird durch ein *Semantic Bundle* Add-on realisiert. Die Darstellung dieser Beziehungen erfolgt im unteren Teil der Seite in Textform sowie rechts oben als *Quick-Link*. Das Beispiel in Abbildung 44 zeigt hierbei verschiedene Patterns, welche durch den Typ *can be used with* (kann in Kombination verwendet werden) miteinander verbunden sind.

Durch die Implementierung verschiedener Module innerhalb des MediaWikis werden neben der Dokumentation und Darstellung von Patterns auch die Aufgaben des *Einstiegspunkt-Managers*, des *Vorschlags-Managers* und des *Lösungs-Managers* unterstützt. Das Modul *Einstiegspunkt-Manager* umfasst die Suche nach geeigneten Patterns. Hierfür werden verschiedene Informationen aus unterschiedlichen Teilbereichen zusammengeführt: (1) Informationen aus der Beschreibung der Patterns ermöglichen die Suche nach Schlüsselwörtern oder erlauben eine Kategorisierung der individuellen Patterns (vgl. Kapitel 5.5.2), (2) Informationen aus vorherigen Suchanfragen an die Patternsprache und (3) Informationen aus bereits dokumentierten Optimierungsalternativen spezifischer Problemstellungen. Die Bereitstellung der Informationen aus den Punkten (2) und (3) übernimmt das Modul *Vorschlags-Manager*, während das Modul *Lösungs-Manager* die Verwaltung von konkreten Lösungsbeschreibungen übernimmt. Diese umfassen neben der eigentlichen Problemstellung die verwendeten Patterns sowie Referenzen auf eventuell verfügbare Lösungsimplementierungen.

Pattern Respository und Pattern Relations. Das *Pattern Respository* und die *Pattern Relations* dienen der Persistierung aller im MediaWiki anfallenden Daten und sind im Rahmen einer MySQL Datenbank realisiert. Das *Pattern Respository* dient der Persistierung der einzelnen Seiten des Pattern-Wikis. Diese werden intern in einer spezifischen Wiki-Sprache abgelegt. Zudem umfasst das *Pattern Respository* verschiedene

individuelle Spezialseiten, welche für das Anlegen, Modifizieren und Durchsuchen von Patterns, sowie zur Realisierung des *Einstiegspunkt-Managers* verwendet werden. Die *Pattern Relations* umfassen die typisierten Beziehungen zwischen den verschiedenen Patterns.

FALLSTUDIE

Dieses Kapitel validiert die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Konzepte und Methoden. Der Aufbau dieser Fallstudie orientiert sich an dem in Kapitel 4.1 (Abbildung 19) eingeführten Vorgehensmodell und zeigt, wie die einzelnen Phasen Definition von KEIs, Mapping von Ressourcen, Definition eines Monitoringmodells, Durchführung der Prozessanalyse und Auswahl von Optimierungsalternativen methodisch umgesetzt werden können. Die Fallstudie konzentriert sich auf die Optimierung eines automatisierten, in BPEL beschriebenen Geschäftsprozesses. Unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs dieses Geschäftsprozesses wird gezeigt, wie Ressourcen- und Monitoringmodelle definiert werden können, wie die Erfassung und Analyse der ökologischen Laufzeitdaten durch das KEI Monitoring und Analyse System unterstützt werden und wie durch die Auswahl geeigneter Patterns verschiedene Optimierungsalternativen identifiziert werden können.

7.1 Ausgangslage: Data Consolidation Process

Gegeben sei das Handelsunternehmen *TradeMe*, welches eine Vielzahl verschiedener Artikel über mehrere Online-Portale zum Verkauf anbietet. TradeMe möchte in Zukunft verschiedene Maßnahmen umsetzen, um seinen negativen Umwelteinfluss zu reduzieren. Als eine mögliche Maßnahme möchte die Unternehmensleitung deshalb ihr existierendes Geschäftsprozessmanagement hin zu einem Green Business Process Management erweitern. Als Pilotprojekt wurde die Optimierung des

Energiebedarfs des im Unternehmen eingesetzten *Data Consolidation* Prozesses festgelegt. Dieser periodisch ausgeführte Prozess hat die Aufgabe, die Verkaufsinformationen der verschiedenen Online-Portale in ein zentrales Data Warehouse zu konsolidieren. Abbildung 45 zeigt den Prozess und seine Aktivitäten in der Übersicht.

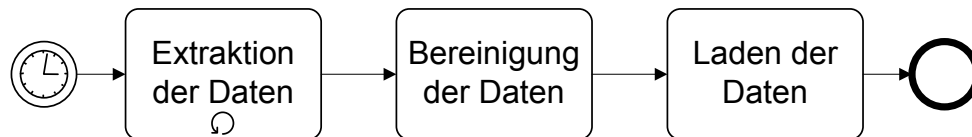


Abbildung 45: Übersicht des Data Consolidation Prozesses

Die Aktivität *Extraktion der Daten* extrahiert die verfügbaren Verkaufsinformationen aus den Datenbanken der verschiedenen Online-Portale. Die zweite Aktivität *Bereinigung der Daten* dient dazu, die Informationen aus den verschiedenen Systemen zu homogenisieren. Dabei werden beispielsweise Duplikate der Kundendaten entfernt. Die dritte Aktivität *Laden der Daten* schreibt die bereinigten Daten in das Data Warehouse System des Unternehmens, welches die Daten für weiterführende Informationen bereitstellt.

Da es sich bei diesem Pilotprojekt um einen durchgehend automatisierten Geschäftsprozess handelt, definiert die Geschäftsleitung die Senkung des Energieverbrauchs dieses Geschäftsprozesses um 20% als Optimierungsziel. Dadurch lässt sich ein kei_{energy} definieren als $kei_{energy} = (\mathcal{M}, zf)$, wobei \mathcal{M} eine Menge von Measures des Typs Energieverbrauchs darstellt und zf die Zielfunktion $Energieverbrauch_{DCP,neu} = (Energieverbrauch_{DCP,alt} \cdot 0,8)$.

7.2 Definition eines Ressourcenmodells

Für die Analyse des Energieverbrauchs des vorgestellten Geschäftsprozesses muss TradeMe zunächst ein geeignetes Ressourcenmodell definieren. Die Analyse und Identifikation der den Prozess unterstützenden Infrastruktur wurde mit Hilfe eines *Enterprise*

7.2 | Definition eines Ressourcenmodells

Topology Graphs (ETG) ermöglicht. Abbildung 46 zeigt das Prozessmodell und das identifizierte ETG Segment, welches die folgenden Komponenten enthält: (1) drei verschiedene Web Services, welche die Anwendungslogik der einzelnen Prozessaktivitäten implementieren, (2) einen Application Server als Ausführungsumgebung der Web Services, (3) ein DBMS zur Persistierung der Daten, (4) ein Windows 2008 Betriebssystem und (5) einen HP ProLiant Server.

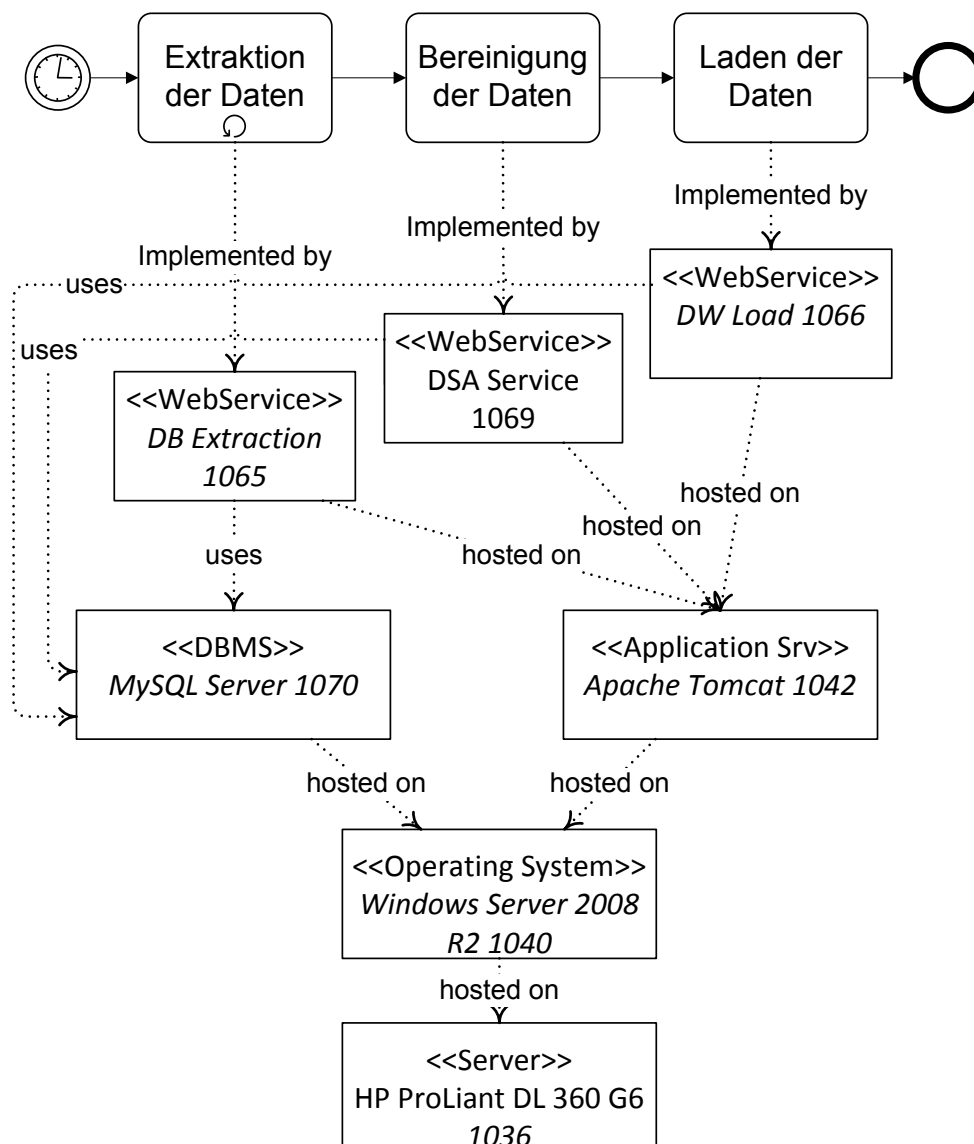


Abbildung 46: Prozess- und Ressourcenmodell des Data Consolidation Prozesses

Das Ressourcenmodell $r \in \mathcal{R}$ ist somit definiert als $r = (PM, PA, AR, MR)$, mit

$PM = \{\text{Data Consolidation Prozess}\}$,

$PA = \{\text{Extraktion der Daten, Bereinigung der Daten, Laden der Daten}\}$,

$AR = \{\text{DB Extraction 1065, DSA Service 1069, DW Load 1066, MySQL Server 1070, Apache Tomcat 1042, Windows Server 2008 R2 1040, HP ProLiant DL 360 G6 1036}\}$ und

$MR = \{\{\text{Extraktion der Daten, DB Extraction 1065}\}, \{\text{Bereinigung der Daten, DSA Service 1069}\}, \{\text{Laden der Daten, DW Load 1066}\}\}$

7.3 Definition eines Monitoringmodells

Das definierte Ressourcenmodell r erlaubt die Identifikation aller an dem Geschäftsprozess beteiligten Ressourcen. Um diejenigen Informationen zu identifizieren, welche für die Ermittlung des Energieverbrauchs des Geschäftsprozesses relevant sind, muss im nächsten Schritt ein geeignetes Monitoringmodell definiert werden. Das Ziel dieses Monitoringmodells ist es, den Energieverbrauch der Infrastruktur und Middleware auf die Aktivitäten des Data Consolidation Prozesses zu übertragen. Der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Ansatz nutzt hierfür den Energieverbrauch pro Web Service Aufruf. Das allgemeine Vorgehen wurde in Kapitel 4.4.2.1 erläutert. Demnach ist ein Monitoringmodell $m_{energy} \in \mathfrak{M}$ definiert als Tupel

$$m_{energy} = (KEI, \mathcal{R}, MP, MPREL, TL, PR),$$

wobei gilt:

$$KEI = \{kei_{energy}\},$$

$$\mathcal{R} = \{r\},$$

7.3 | Definition eines Monitoringmodells

$MP = \{ Server \},$

$MPREL = \{ \{ Server, r \} \},$

$TL = \{ tl \}$ und

$PR = \{ tl \rightarrow \{ PA \} \}.$

Der Messpunkt *Server* zur Ermittlung des Energieverbrauchs wird direkt an der physischen Hardware (Server) definiert, d.h., der gesamte Energieverbrauch der Hardware, welche die Ausführungsumgebung der Web Services bereitstellt, wird erfasst. Dies hat den Vorteil, dass alle Energieverbraucher gleichermaßen berücksichtigt werden. Zur Erfassung der Laufzeitinformationen wird ebenfalls auf die in Kapitel 4.4.2.1 vorgestellte Methode zur Ermittlung des Energieverbrauchs pro Web Service Aufruf zurückgegriffen. Hierbei sind auch die bereits in diesem Kapitel beschriebenen Annahmen zu berücksichtigen. Das Vorgehen hierbei zeigt Listing 7.1.

```
1 System ist im Leerlauf:
2   call get_p_and_x()
3 Für jeden Web Service Aufruf des Data Consolidation Prozesses:
4   call get_p_and_x()
5 Für jeden weiteren Web Service auf dem System und
6 Hintergrundlast:
7   call get_p_and_x()
8 Für jeden Web Service Aufruf des Data Consolidation Prozesses
9 während der Ausführung aller weiteren Services und
10 Hintergrundlast:
11   call get_p_and_x()
12
13 subroutine get_p_and_x(Erfasse Gesamtenergieverbrauch  $P_{total}$  und
14   Performance Counters  $x_i$ )
```

Listing 7.1: Vorgehen zur Ermittlung des Energieverbrauchs eines Web Services

15

Mit Hilfe der durch das Vorgehen aus Listing 7.1 ermittelten Werte wird der Energieverbrauch für jeden Aufruf der drei Web Services des Data Consolidation Prozesses bestimmt. Die verschiedenen Werte werden mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt.

$$PCR_{\text{service}} = \frac{P_{\text{system}} * \frac{P_{\text{service}}}{P_{\text{service}} + P_{\text{otherServices}}}}{|req_{\text{service}}|} [W] \quad (11)$$

Aus den Messungen des HP ProLiant 360 G6 Systems (siehe Abbildung 46) ergeben sich die folgenden Energieverbrauchswerte:

$$PCR_{\text{DB Extraction 1065}} = \frac{106,19W * \frac{19,24W}{19,24W + 12,60W}}{1} = 64,17W$$

$$PCR_{\text{DSA Service 1069}} = \frac{106,06W * \frac{18,17W}{18,17W + 12,60W}}{1} = 62,62W$$

$$PCR_{\text{DW Load 1066}} = \frac{105,93W * \frac{19,92W}{19,92W + 12,60W}}{1} = 64,89W$$

7.4 Monitoring und Prozessanalyse

Für das Monitoring und die Analyse des Data Consolidation Prozesses verwendet TradeMe das in Kapitel 6 vorgestellte KEI Monitoring und Analyse System. Das Prozessmodell wird mittels des *Process Deployment & Configuration Services* auf der erweiterten Prozessausführungsumgebung bereitgestellt. Für die Konfiguration des Systems werden die in Kapitel 7.3 ermittelten Leistungswerte pro Prozessaktivität / Web Service Aufruf verwendet. Tabelle 17 zeigt eine Übersicht der für eine Auswahl von 303 Instanzen des Data Consolidation Prozesses ermittelten, durchschnittlichen Energieverbrauchswerte, ebenfalls aufgeteilt auf die jeweiligen Prozessaktivitäten / Web Services. Die rechte Spalte zeigt den

7.4 | Monitoring und Prozessanalyse

Durchschnittswert einer Prozessinstanz auf Basis aller untersuchten Instanzen.

Tabelle 17: Übersicht des durchschnittlichen Energieverbrauchs des Data Consolidation Prozesses

	$PC_i^{Extraction}$	$PC_i^{Transform.}$	PC_i^{Load}	PC_i
Durchschnittliche Laufzeit des Services [s]	9,97	16,50	6,62	33,10
Durchschnittlicher Energieverbrauch [Ws]	628,30	1034,10	429,59	2092,00

Abbildung 47 zeigt zudem die graphische Visualisierung des Energieverbrauchs, der CO₂-Emissionen und den Anteil der erneuerbaren Energien des Prozessmodells innerhalb des KEI Monitoring und Analyse Systems. Die CO₂-Emissionen und der Anteil der erneuerbaren Energien werden hierbei auf Basis des im KEI Monitoring und Analyse System hinterlegten Energiemix des Unternehmens ermittelt.

TradeMe bezieht seine Energie von unterschiedlichen Anbietern. In Abhängigkeit verschiedener Faktoren, wie beispielsweise Wetter, Tageszeit, etc., ist der Energiemix unterschiedlich zusammengesetzt. Folgende Werte wurden deshalb im KEI Monitoring und Analyse System hinterlegt:

Tabelle 18 Definierter TradeMe Energiemix

Energiemix	Fossile Brennstoffe [in %]	Atomkraft [in %]	Erneuerbare Energie [in %]
E 1	66	19	15
E 2	61	17	22
E 3	24	47	29

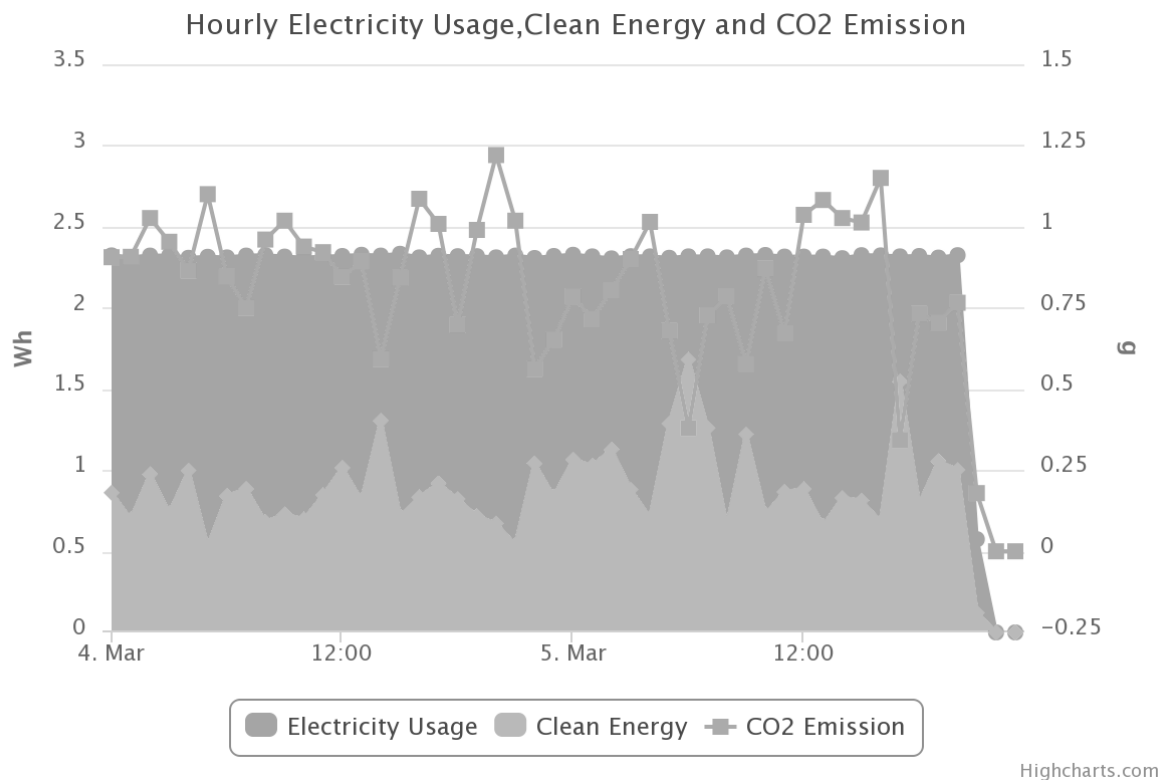


Abbildung 47: Übersicht des Energieverbrauchs des Data Consolidation Prozesses

7.5 Identifikation von Optimierungsalternativen

Nach der Analyse des Data Consolidation Prozesses muss TradeMe eine oder mehrere Optimierungsalternativen bestimmen, welche sich jeweils aus einer Menge der in ihrem Anwendungsfall geeigneten Patterns zusammensetzt. Die Auswahl von geeigneten Patterns wird dabei durch den Umfang möglicher Restrukturierungen eines Geschäftsprozesses und dessen Infrastruktur bestimmt. Der Einstiegspunkt-Manager bietet auf Basis der in Kapitel 5.5.2, Abbildung 34 beschriebenen Zuordnung die Möglichkeit, Patterns durch die Definition von Optimierungsanforderungen zu identifizieren.

Special page

Pattern Search

You are on Step 1 of 3

Activity

Orchestration Behavior

Service

Architectural Components Infrastructure

Data

Access Structure Source

Privacy policy About Green Patterns Disclaimers

Powered By MediaWiki Powered By Semantic MediaWiki

Abbildung 48: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 1 von 3

Dabei ist zu beachten, dass der Data Consolidation Process bestimmte Anforderungen, beispielsweise an die Ausführungsreihenfolge der Aktivitäten, mit sich bringt. Hingegen kann die Art und Weise, wie Daten angefragt werden und auf welchen Ressourcen diese verarbeitet werden, flexibel angepasst werden. TradeMe entscheidet sich deshalb im ersten Schritt des Einstiegspunkt-Managers für die Auswahl der Kriterien Aktivitätsverhalten, Architekturkomponenten, Infrastruktur, Datenzugriff, Datenstruktur und Datenquelle (siehe Abbildung 48). Im darauf folgenden zweiten Schritt wird diese Auswahl durch die an die Patterns annotierten Tags weiter eingeschränkt. Die Selektion der verschiedenen Tags dient zur Definition möglicher Adaptionbereiche, bspw. beschreibt der Tag *Adaption der Ressourcen* diejenigen Patterns, welche eine Veränderung der eingesetzten Ressourcen anstreben. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Prozess bereits automatisiert ist und die Reihenfolge der Aktivitäten nicht verändert werden kann, entscheidet sich TradeMe für die in Abbildung 49 mit einem Haken versehenen Tags. Das Freitextfeld bleibt zunächst leer.

The screenshot shows the 'Pattern Search' interface on the Green Patterns wiki. At the top right, there are links for 'Create account' and 'Log in'. Below this is a search bar with a 'Go' button and a 'Search' button. The main heading is 'Pattern Search', and it indicates 'You are on Step 2 of 3'. A 'Search text' input field is present. Below it is a 'Tag cloud' section with a list of tags and checkboxes, such as 'automatisierung von aktivitäten', 'adaption des prozessmodells', and 'data alignment'. A 'Next Step' button is at the bottom of the tag cloud. The left sidebar contains navigation links like 'Main page', 'Recent changes', and 'Random page', as well as tool links like 'Find Pattern' and 'Add Pattern'. At the bottom, there are links for 'Privacy policy', 'About Green Patterns', and 'Disclaimers', along with logos for 'Powered By MediaWiki' and 'Powered By Semantic MediaWiki'.

Abbildung 49: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 2 von 3

Die verschiedenen Tags dienen auf Basis des gewünschten Änderungsumfangs des Prozesses als erster Indikator für die Auswahl geeigneter Patterns. Um diese Auswahl weiter zu verfeinern, wählt TradeMe im nächsten Schritt verschiedene Fragestellungen aus, welche zu ihren Adaptionanforderungen passen. Die in Abbildung 50 gezeigten Fragestellungen basieren auf der Intention der verfügbaren Patterns.

Special page

Pattern Search

You are on Step 3 of 3

Please select question...

- Soll der Umwelteinfluss durch die Automatisierung von Aktivitäten optimiert werden?
- Sollen Subprozesse während der Ausführungszeit, sobald diese nicht mehr benötigt werden, explizit terminiert werden, um die Menge der allokierten Ressourcen zu reduzieren?
- Sollen verschiedene Kontrollflussverzweigungen und Pfade in einem Prozess, welche zu einem unterschiedlichen Umwelteinfluss führen und durch die Ausführungsumgebung ausgewählt werden, bereitgestellt werden?
- Sollen Aktivitätsinstanzen, welche nicht länger relevant für die Ausführung des Prozesses relevant sind, terminiert werden, um Ressourcen einzusparen?
- Soll die Verarbeitung von Anfragen, basierend auf internen und externen Anforderungen, verzögert und gebündelt werden, um die Bereitstellung und Auslastung von Ressourcen zu optimieren?
- Sollen Anwendungskomponenten für mehrere Kunden zur Verbesserung der Ressourceneffizienz genutzt werden?
- Sollen externe Cloud Computing Ressourcen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz verwendet werden?
- Sollen die Beziehungen zwischen verschiedenen Komponenten minimiert werden, um Abhängigkeiten zu spezifischen Ressourcen zu minimieren?
- Soll der negative Umwelteinfluss ohne Anpassung der Prozessstruktur, der verwendeten Ressourcen und des Verhaltens eines Prozesses kompensiert werden?
- Sollen die von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur substituiert werden?
- Sollen die Zugriffe auf externe Systeme oder Ressourcen zentral verwaltet werden, um die Gesamtanzahl der Zugriffe zu minimieren und die Ressourcenauslastung zu verbessern?
- Sollen die Anzahl von Ressourcen und ihre Effizienz durch Nutzung zustandsloser Serverknoten optimiert werden?
- Sollen Kontextinformationen auf dem Server zur Reduktion der Kommunikation zwischen Client und Server vorgehalten werden?
- Sollen spezifische Datenobjekte zur Optimierung von Systemaufrufen und Reduzierung der Last von Ressourcen definiert werden?
- Soll das Laden von möglicherweise nicht benötigten Daten im Voraus vermieden werden?
- Soll der Synchronisationsaufwand bei der Verteilung von Daten auf mehrere Komponenten reduziert werden?

Privacy policy About Green Patterns Disclaimers

Powered By MediaWiki Powered By Semantic MediaWiki

Abbildung 50: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Schritt 3 von 3


Als Ergebnis der Eingaben im Einstiegspunkt-Manager liefert das Pattern Support System eine Liste von Patterns, welche diese Eingaben reflektieren. TradeMe hat durch die oben gezeigten Eingaben das in Abbildung 51 gezeigte Resultat (Ausschnitt) erhalten.

Special page


Pattern Search

Results


Green Public Cloud

 Relevance: 0.8
Verwendung von externen Cloud Computing Ressourcen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz.
cloud

Green Compensation

 Relevance: 0.8
Kompensierung des negativen Umwelteinflusses ohne Anpassung der Prozessstruktur, der verwendeten Ressourcen und des Verhaltens eines Prozesses.
kompensierung

Green Resource Change

 Relevance: 0.8
Substitution der von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur.
auswahl geeigneter ressourcen, negativen umwelteinfluss

Green Batch Processing Component


 Relevance: 0.8
Verzögerung und Bündelung der Verarbeitung von Anfragen, basierend auf internen und externen Anforderungen, um die Bereitstellung und Auslastung von Ressourcen zu optimieren.
verarbeitung von anfragen

Abbildung 51: TradeMe Einstiegspunkt-Manager: Ergebnisliste (Ausschnitt)

TradeMe arbeitet diese Liste anhand seiner Anforderungen ab und wägt die Eignung der Patterns hinsichtlich ihres Szenarios individuell ab. Da eine Public Cloud ein erheblicher Mehraufwand des Datentransfers mit sich bringt und die Kompensation keine Verbesserung des Prozesses selbst erwirkt, wählt TradeMe das Pattern *Green Resource Change* als Einstiegspunkt in die Patternsprache.

7.5 | Identifikation von Optimierungsalternativen

The screenshot shows the 'Green Resource Change' pattern page on the Green Patterns wiki. The page includes a navigation sidebar on the left, a top navigation bar with user options (Nowakar, Talk, Preferences, Watchlist, Contributions, Log out) and search functionality. The main content area is titled 'Green Resource Change' and features a 'Solution Mngr' (disable) section with options to 'Remove from your solution' and 'Show my solution (1)'. The pattern is represented by a 'Y' icon with a flower. The 'Kontext' section describes the goal of improving business processes by selecting suitable resources. The 'Problemstellung' section discusses the design and execution of business processes based on functional requirements and cost structures. The 'Lösung' section explains how the substitution of resources can reduce negative environmental impact. The 'Lösungsskizze' section contains two diagrams: 'Original Process' showing a linear flow of three circles with a server icon above the first, and 'Original Process with Exchanged Resource' showing the same flow but with a lightbulb icon above the first circle, indicating a resource swap. The 'Ergebnis' section states that the substitution leads to a reduction in negative environmental impact. The 'Beispiele' section provides examples of resource substitution in companies like Lego, Motorola, and PWC. The 'Beziehungen zu anderen Patterns' section mentions related patterns like Green Compensation and Green Variant. The page also includes a 'Classification' table, 'Relations to other patterns', and 'Tags / This pattern improves'.

Page Discussion Read Edit View history Search Go Search

Nowakar Talk Preferences Watchlist Contributions Log out

Green Patterns wiki

Navigation

- Main page
- Recent changes
- Random page

Tools

- What links here
- Related changes
- Upload file
- Special pages
- Printable version
- Permanent link
- Page information
- Browse properties

Solution Tools

- Disable SolMngr
- Browse solutions

Green Forms

Find Pattern

- Browse Patterns
- Add Pattern
- Edit this pattern

Solution Mngr (disable)

- Remove from your solution
- Show my solution (1)

Green Resource Change

Y

Substitution der von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur.

Kontext

Ein Unternehmen möchte durch die Auswahl geeigneter Ressourcen den negativen Umwelteinfluss seiner Geschäftsprozesse verbessern.

Problemstellung

Das Design und die Ausführung von Geschäftsprozessen basiert auf einer Vielzahl funktionaler Anforderungen und Zielvorgaben. Die definierten Ressourcen sichern dabei die korrekte und erwünschte Ausführung unter Berücksichtigung gegebener Kostenstrukturen zu. Die Berücksichtigung von umweltrelevanten Anforderungen und Kriterien erweitert auch die Anforderungen an das Prozessdesign. Aufgrund interner Unternehmensrichtlinien, gesetzlichen Regulierungen oder sonstigen Beschränkungen kann es jedoch Prozessmodelle geben, welche nicht angepasst oder geändert werden dürfen.

Lösung

Der Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses wird signifikant durch die eingesetzten Ressourcen bestimmt, welche von den einzelnen Aktivitäten eines Geschäftsprozesses verwendet werden. Die Substitution einzelner Ressourcen kann zu einer Verbesserung des negativen Umwelteinflusses eines Prozesses führen. Um Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl neuer Ressourcen zu schaffen, müssen verfügbare Ressourcen analysiert und gegebenenfalls neue Metriken (vgl. Key Ecological Indicators) definiert und eingeführt werden, um das Verhalten neuer Ressourcen adäquat zu überwachen. Durch den Einsatz alternativer Ressourcen müssen auch die jeweiligen Schnittstellen zwischen Prozess und Ressourcen, sowie zwischen Ressourcen untereinander analysiert und gegebenenfalls angepasst werden. Dabei ist auch zu beachten, dass die geforderten Key Performance Indikatoren weiter eingehalten werden.

Lösungsskizze

Original Process: A linear flow of three circles. The first circle is connected to a server icon above it. The second circle is connected to the first, and the third to the second.
Original Process with Exchanged Resource: A linear flow of three circles. The first circle is connected to a lightbulb icon above it. The second circle is connected to the first, and the third to the second.

Ergebnis

Das Ergebnis der Substitution von Ressourcen zeigt sich in der Reduktion des negativen Umwelteinflusses eines Geschäftsprozesses. Der gezielte Austausch von Ressourcen beeinflusst dabei in der Regel die generelle Struktur eines Prozessmodells nicht. Dies führt dazu, dass die Semantik des Prozessmodells erhalten bleibt.

Beispiele

Die Verwendung von Ressourcen in Unternehmen ist sehr vielfältig. Daraus ergeben sich auch vielfältige Anwendungsgebiete. Unternehmen wie beispielsweise Lego, Motorola oder PWC haben sich dazu entschieden, einen Teil ihrer Energieressourcen durch erneuerbare Energien auszutauschen^[1]. Ein anderes Beispiel aus dem IT Umfeld ist die Nutzung von Cloud Computing. Symantec, beispielsweise, hat sich für die Optimierung seiner Ressourcen für den Einsatz einer Cloud Software im Bereich Personal entschieden^[2]. Die Anzahl der der Computerrressourcen, welche Unternehmen für Spitzenlasten vorhalten müssen, können reduziert und neue Kapazitäten bedarfsgerecht hinzugenommen werden. Das hierbei angewendete Prinzip der Skaleneffekte kann selbstverständlich auch auf weitere Arten von Ressourcen angewendet werden.

Beziehungen zu anderen Patterns

Das Pattern Green Compensation kann als Multiplikator zur Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden. Alternativ zur Substitution einer Ressource kann auch eine Green Variant oder Outsourcing zur Ausnutzung von Skaleneffekten eingeführt werden. Das Pattern Green Feature kann darüber hinaus für eine verbesserte äußere Erscheinungsform eingesetzt werden. Bei der Auswahl und Integration alternativer Ressourcen im IT-Umfeld können auch die Patterns Green Public Cloud, Green Loose Coupling und Green Batch Processing Component relevant sein. Die Integration kann zudem unter Berücksichtigung der Patterns Green Client Session State und Green Server Session State den negativen Umwelteinfluss weiter senken.

- [↑] [Win14]
- [↑] [WUL14]

Abbildung 52: Green Resource Change Pattern (Ausschnitt) innerhalb des Pattern Support System

Nach Prüfung des Patterns auf Anwendbarkeit im gegebenen Szenario fügt TradeMe das Pattern zu einer neuen Lösung hinzu. Das Ziel hierbei ist, die vorhandene Infrastruktur zur Ausführung der Aktivitäten des Data Consolidation Process auf eine bereits bestehende Private Cloud

Infrastruktur zu migrieren. Dadurch können die bestehenden Rechenressourcen abgeschaltet sowie die Cloud Ressourcen besser ausgelastet werden. Zudem wird aus der Liste von Patterns, welche eine Beziehung vom Typ *Kombination* aufweisen, zusätzlich das Pattern *Green Compensation* hinzugefügt, um den negativen Umwelteinfluss durch Projektspenden auf myclimate.org noch weiter zu senken. Abbildung 53 zeigt eine Übersicht über die erstellte Lösung.

The screenshot shows the 'Data Consolidation Process' page on the Green Patterns wiki. The page is titled 'Data Consolidation Process' and has a description: 'Das Pattern Green Resource Change wird eingesetzt, um die vorhandene Infrastruktur zur Ausführung der Aktivitäten des Data Consolidation Process auf eine bereits bestehende Private Cloud Infrastruktur zu migrieren. Dadurch können die bestehenden Rechenressourcen abgeschaltet sowie die Cloud Ressourcen besser ausgelastet werden. Das Pattern Green Compensation soll den negativen Umwelteinfluss zusätzlich durch Projektspenden auf myclimate.org senken.' Below the description, two patterns are listed: 'Green Resource Change' (Substitution der von einem Prozess verwendeten Ressourcen ohne die Anpassung der Prozessstruktur) and 'Green Compensation' (Kompensierung des negativen Umwelteinflusses ohne Anpassung der Prozessstruktur, der verwendeten Ressourcen und des Verhaltens eines Prozesses). The page also includes a 'Related Files' section, a search bar, and a category field set to 'Solution'. The footer shows the page was last modified on 10 March 2014, at 14:36, and includes logos for MediaWiki and Semantic MediaWiki.

Abbildung 53: Ausgewählte Patterns zur Optimierung des Data Consolidation Process, zusammengefasst in einer Lösung

7.5 | Identifikation von Optimierungsalternativen

Realisierungs- und Implementierungsdetails können dieser Lösung im Anschluss an die Umsetzung hinzugefügt werden, um dadurch die Erkenntnisse auch in weiteren Projekten und Anwendungsszenarien dieser Patterns zu verwenden. Die konkrete Realisierung dieser Lösungsalternative müssen durch infrastrukturenspezifische Lösungsansätze, wie beispielsweise von Binz et. [BBK+14] und Breitenbücher et al. [BBK+13] vorgestellt, umgesetzt werden.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Dieses Kapitel fasst die erarbeiteten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammen und zeigt ihre Einordnung in die eingangs dargestellten Forschungsbereiche. Darüber hinaus werden weitere zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich des Green Business Process Managements als Ausblick dargestellt.

8.1 Zusammenfassung

Wissenschaft und Praxis haben gezeigt, dass die Berücksichtigung von Umweltaspekten in Unternehmen immer bedeutender wird. Gesetzliche Auflagen, die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit und sich ändernde Kundenanforderungen zwingen Unternehmen dazu, geeignete Maßnahmen zur Reduktion ihres negativen Umwelteinflusses einzuleiten. Da Unternehmen heutzutage üblicherweise das Geschäftsprozessmanagement als Managementansatz für die Gestaltung ihrer unternehmerischen Abläufe einsetzen, adressiert die vorliegende Arbeit die Frage, wie bestehende Geschäftsprozessmanagementansätze erweitert werden müssen, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Zur Beantwortung dieser Frage und damit zur Unterstützung von Unternehmen bei der ökologischen Analyse und Optimierung ihrer Geschäftsprozesse, beschreibt die vorliegende Arbeit verschiedene Methoden und zeigt eine Validierung und Evaluation dieser Methoden anhand einer prototypischen Implementierung und einer Fallstudie. Die identifizierten Erweiterungen des Geschäftsprozess-

managements wurden durch vier verschiedene Forschungsbeiträge abgedeckt.

Forschungsbeitrag 1 befasste sich mit der Fragestellung, wie der Umwelteinfluss von Geschäftsprozessen dargestellt und in bestehende Geschäftsprozessmanagementansätze integriert werden kann. Hierzu wurden vier unterschiedliche Bereiche analysiert und entsprechend erweitert. Die Repräsentation von umweltrelevanten Kennzahlen und ihren Zielfunktionen wurde durch die Einführung von Key Ecological Indicators (KEIs) realisiert. KEIs kombinieren dabei zum einen die existierenden Konzepte von Umweltindikatoren, welche den aktuellen Zustand der Umwelt repräsentieren, und zum anderen Key Performance Indicators (KPIs), welche Performanceindikatoren und entsprechende Zielwerte definieren. Für die Nutzung dieser KEIs wurden geeignete Erweiterungen des konventionellen Lebenszyklus des Geschäftsprozessmanagements aufgezeigt. Diese Erweiterungen umfassen insbesondere die Einführung eines Ecology Officers als neue Rolle, eine explizite Phase für die Zertifizierung sowie sämtliche Ansatzpunkte, welche für die Konfiguration der Ausführungsumgebung, die Ausführung und das Monitoring sowie die ökologische Analyse notwendig sind. Die Versorgung der verschiedenen Phasen des erweiterten Lebenszyklus mit geeigneten Informationen setzt auch eine Erweiterung existierender Geschäftsprozessmanagement Architekturen voraus. Die vorgestellten Erweiterungen umfassen insbesondere die Integration von Sensoren und Umweltdatenbanken, die Bereitstellung von Services zur Verarbeitung dieser Informationen sowie die zielorientierte Analyse der Informationen. Neben den technischen Bereichen wurden auch strategische Aspekte des Geschäftsprozessmanagements untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass die Reduzierung des negativen Umwelteinflusses eines Unternehmens in hohem Maße von den strategischen Entscheidungen eines Unternehmens, beispielsweise der Anpassung der verwendeten Ressourcen, Richtlinien im

Beschaffungsprozess, ökologischen Marketingstrategien oder Investitionen in Technologieentwicklungen, abhängig ist.

Forschungsbeitrag 2 adressierte die Analyse von Geschäftsprozessen und gliedert sich in zwei Teilbereiche: (1) Die Identifikation entscheidungsrelevanter Informationen anhand der definierten KEIs und (2) die Analyse und Interpretation der bereitgestellten Informationen. Das für eine Umsetzung identifizierte allgemeine Vorgehensmodell beschreibt hierzu die notwendigen Schritte: Definition von KEIs, Erstellung eines Ressourcenmodells, Erstellung eines Monitoringmodells, Durchführung der Prozessanalyse und die Auswahl von Optimierungsalternativen, wobei der erste Schritt Teil des *Forschungsbeitrags 1* ist und der letzte Schritt einen Teil des *Forschungsbeitrags 3* umfasst. Für das Mapping der definierten KEIs auf konkrete Ressourcen eines Geschäftsprozesses und dessen Aktivitäten, wurde das Konzept eines Ressourcenmodells eingeführt. Hierzu können verschiedene Mapping-Regeln definiert werden, welche Auskunft über die Verteilung des Umwelteinflusses geben. Diese Informationen sind die Voraussetzung für die Definition eines geeigneten Monitoringmodells. Das Ziel eines Monitoringmodells ist die Beschreibung eines geeigneten Messkonzepts, d.h., dieses Konzept stellt dar, welche Informationen von welchen Ressourcen erfasst und bereitgestellt werden müssen, um eine aussagekräftige Analyse des Prozessmodells durchführen zu können. Für die Analyse der erfassten Informationen beschreibt die vorliegende Arbeit einen Ansatz zur flexiblen, visuellen Repräsentation von Geschäftsprozessen. Die Entkopplung der verschiedenen Aufgabengebiete (Erstellung eines Visualisierungstemplates, Auswahl der Analysedaten und Erstellung einer Visualisierungskonfiguration sowie die Erstellung einer Visualisierung) ermöglicht eine zeitnahe und flexible Anpassung der Analysen auf Basis sich verändernder Anforderungen an einen Geschäftsprozess und dessen Analysen. Die Schritte der Erstellung eines Ressourcenmodells, der Erstellung eines Monitoringmodells und der Durchführung der Prozessanalyse wurden anhand einer allgemeinen Vorgehensweise zur

Realisierung definiert. Ferner wurden konkrete Beispielumsetzungen aufgezeigt.

Forschungsbeitrag 3 befasste sich anschließend mit der Fragestellung, wie auf Basis der Analyseergebnisse die Identifikation und Auswahl von Optimierungsalternativen gestaltet werden kann. Die vorliegende Arbeit beschreibt hierzu einen Pattern-basierten Ansatz. Diese Patterns (deutsch: Muster) beschreiben abstrakte Lösungen für wiederkehrende Problemstellungen, welche durch eine Konkretisierung hinsichtlich individueller Anforderungen und Szenarien unternehmensübergreifend eingesetzt werden können. Durch die Analyse von ökologischen Lösungsansätzen der Unternehmenspraxis, der Literatur und der Wissenschaft präsentiert die vorliegende Arbeit eine Menge von Green Business Process Patterns. Diese beschreiben sowohl Lösungen, welche explizit den Umwelteinfluss eines Geschäftsprozesses adressieren, als auch Lösungen, welche ursprünglich für andere Domänen beschrieben wurden, jedoch auch für die Optimierung des negativen Umwelteinflusses eingesetzt werden können. Für die Identifikation der für ein Optimierungsvorhaben geeigneten Patterns wurde zudem ein Pattern Support Framework entwickelt, welches Anwender bei der Identifikation geeigneter Patterns für bestimmte Problemstellungen unterstützt. Der Identifikationsprozess ist hierbei mehrstufig gestaltet und berücksichtigt die Ebene der Adaption, beispielsweise Prozess, Service oder Infrastruktur, den inhaltlichen Fokus eines Patterns, sowie die verwendeten Patterns in existierenden Optimierungsvorhaben.

Forschungsbeitrag 4 adressiert die Evaluation und Validierung der vorgestellten Methoden und Konzepte. Hierzu wurde zunächst eine geeignete Architektur zur Realisierung von Green BPM definiert. Darüber hinaus wurde ein entsprechender Prototyp implementiert. Dieser realisiert die entwickelten Konzepte und Erweiterungen des Green Business Process Management Lebenszyklus. Die entwickelte Software unterstützt Anwender bei der Definition und Durchführung eines ökologisch nachhaltigen Prozessmonitorings, der Analyse von Geschäftsprozessen,

sowie der Identifikation von Optimierungsalternativen durch Auswahl geeigneter Optimierungsmuster. Zudem wurde der Ansatz im Rahmen einer Fallstudie validiert.

8.2 Ausblick

Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Konzepte und Methoden bieten einen ersten Ansatzpunkt zur Realisierung eines Green BPMs. Die Ergebnisse beschreiben hierfür die notwendigen Schritte zur Erfassung und Analyse des Umwelteinflusses von Geschäftsprozessen, sowie die Auswahl geeigneter Optimierungsalternativen. Auf Basis dieser Arbeiten lassen sich verschiedene daran anknüpfende Forschungsbereiche identifizieren.

Die technische Umsetzung dieser Optimierungsalternativen bleibt auf Grund der fallspezifischen Ausgestaltung bisher offen. Auf Basis der in Kapitel 5.5.4 vorgestellten Arbeiten von Binz et al. [BBK+14] und Breitenbücher et al. [BBK+13] ist deshalb zu klären, wie die Integration dieser Ansätze durch eine konkrete Schnittstelle gestaltet werden kann. Das Ziel hierbei muss sein, das für ein Prozessmodell identifiziertes Ressourcenmodell und die ausgewählten Optimierungsmuster hinsichtlich einer (teil-) automatisierten Adaption nutzbar zu machen.

Die Auswahl geeigneter Ressourcen ist bisher oft statischer Natur, d.h. die Auswahl erfolgt auf der Basis von Spezifikationen, Mess- oder Erfahrungswerten. Für die Optimierung des Umwelteinflusses kann es sinnvoll sein, diese Auswahlkriterien zu erweitern. Ein Beispiel hierfür beschreibt die Arbeit von Wieland [Wie13], in welcher kontextbezogene Workflows zur Optimierung von Aufgaben in Fertigungsbetrieben eingesetzt werden. Die Berücksichtigung von Kontextinformationen kann auch für die ökologische Optimierung bedeutend sein und die Auswahl an geeigneten Ressourcen kann auf Basis einer Kombination verschiedener Informationen erfolgen: dem Umweltkontext, den auszuführende

Aufgaben, den verfügbare Ressourcen etc. Auch innerhalb der vorgestellten Patterns könnten Kontextinformationen Anwendung finden, beispielsweise im Rahmen des Patterns *External Choice*, welches es ermöglicht, den (Umwelt-) Kontext einer Umgebung in die Ausführung der Prozesse zu integrieren.

Neben der Nutzung von Kontextinformationen kann auch der Einsatz von Methoden zur Integration von Events von nicht-automatisierten Prozessaktivitäten (Realwelt-Events) als weiterer Verbesserungsansatz gesehen werden. Erste Ansätze, wie beispielsweise von Herzberg et al. [HMW13], zeigen, wie realweltliche Events in IT-Systeme überführt und zur Entscheidungsunterstützung herangezogen werden können. Da sich die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Methoden bei der Realisierung weitgehend auf automatisierte Geschäftsprozesse beziehen, wäre das Ziel, ein solches System in die entwickelte Green BPM Architektur zu integrieren und damit realweltliche Ereignisse in der Entscheidungsfindung zu nutzen.

Die Analyse des Zielkonflikts bei der Optimierung von Geschäftsprozessen hat gezeigt, dass die unternehmerischen Abhängigkeiten bei der Optimierung von Prozessmodellen und der Anwendung von Patterns sehr groß sein können. Für die umfassende Berücksichtigung dieser Abhängigkeiten kann es sinnvoll sein, ein über verschiedene Domänen hinweg integriertes Pattern Support System zu etablieren. Dies ermöglicht die Identifikation weiterer ganzheitlicher Lösungsansätze, setzt jedoch Konzepte und Methoden zur Identifikation von Abhängigkeiten zwischen Patterns der verschiedenen Domänen voraus.

Durch eine zu erwartende stärkere legislative Umweltregulierung im Hinblick auf unternehmerisches Handeln kann auch die Kombination von Green Business Process Management und Ansätzen aus Bereich von Compliance in Geschäftsprozessen die Integration verschiedener Domänen unterstützen. Im Falle von legislativen Regularien könnten Compliance

Methoden eingesetzt werden, um sicherzustellen, dass diese innerhalb eines Unternehmens und dessen Geschäftsprozesse auch eingehalten werden [SFG+11]. Dies erfordert geeignete Methoden zur Identifikation und Definition von ökologischen Richtlinien und ihre Übersetzung in Compliance-Regeln sowie entsprechende Überwachungsregeln. Die aktive Auswahl und individuelle Verfeinerung existierender Patterns kann darüber hinaus konkrete Optimierungsalternativen bei Verletzungen von Compliance-Regeln vorschlagen und gegebenenfalls umsetzen.

LITERATURVERZEICHNIS

[AHK+03] van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M., Kiepuszewski, B. and Barros, A. P. "Workflow Patterns" *Distrib. Parallel Databases* (14:1), 2003, pp. 5-51.

[AM00] Agostini, A. and Michelis, G. D. "Improving Flexibility of Workflow Management Systems" *Business Process Management*, 2000, pp. 218-234.

[AIS77] Alexander, C., Ishikawa, S. and Silverstein, M. "A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction" Oxford University Press, New York, 1977.

[AWS14] Amazon Web Services AWS "Amazon SimpleDB", <http://aws.amazon.com/de/simplifiedb/>, 2014.

[AWS14a] Amazon Web Services AWS "Amazon EC2", <http://aws.amazon.com/de/ec2/>, 2014.

[AGH+07] Amman, C., Glaser, G., Hall, S., Jesinghaus, J. and Rickard, L. "Ensuring Policy Relevance", in Hak, T., Moldan, B. and Dahl, A. L., ed., 'Sustainability Indicators', Island Press, 2007.

[ASF14] Apache Software Foundation "Apache ODE (Orchestration Director Engine)", <http://ode.apache.org/>, 2014.

[ACL+08] Ardagna, D., Cappiello, C., Lovera, M., Pernici, B. and Tanelli, M. "Active Energy-Aware Management of Business-Process Based Applications" *Proceedings of the 1st European Conference on Towards a Service-Based Internet*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008, pp. 183-195.

[Atk00] Atkinson, G. "Measuring Corporate Sustainability" *Journal of Environmental Planning and Management* (43:2), 2000, pp. 235-252.

[AW09] Awad, A. and Weske, M. "Visualization of Compliance Violation in Business Process Models", in Rinderle-Ma, S., Sadiq, S. W. and Leymann, F., ed., 'Business Process Management Workshops', Springer, 2009, pp. 182-193.

Literaturverzeichnis

- [Bad09] Badawi, H. "How to measure employee carbon footprints", http://www.ibm.com/developerworks/websphere/techjournal/0904_badawi/0904_badawi.html, 2009.
- [BAH+11] Baliga, J., Ayre, R. W. A., Hinton, K. and Tucker, R. S. "Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport", *Proceedings of the IEEE* (99:1), 2011, pp. 149-167.
- [Bar87] Barbier, E. "The Concept of Sustainable Economic Development", International Institute for Environment and Development, Economics Programme, 1987.
- [BB12] Bartalos, P. and Blake, M. B. "Green Web Services: Modeling and Estimating Power Consumption of Web Services.", in Goble, C. A., Chen, P. P. and Zhang, J., ed., 'ICWS', IEEE, 2012, pp. 178-185.
- [BBR11] Bartalos, P., Blake, M. B. and Remy, S. L. "Green web services: Models for energy-aware web services and applications.", in Lin, K.-J., Huemer, C., Blake, M. B. and Benatallah, B., ed., 'SOCA', IEEE, 2011, pp. 1-8.
- [Bas14] BASF Corporation "SELECT Eco-Label Manager", <https://select-ecolabels.basf.com/Applications/EcoLabelManager.nsf>, 2014.
- [BBG+10] Basmadjian, R., Bunse, C., Georgiadou, V., Giuliani, G., Klingert, S., Lovasz, G. and Majanen, M. "FIT4Green - Energy aware ICT Optimization Policies," *Proceedings of the COST Action IC0804*, 2010.
- [Bau01] Baumast, A. "Betriebliches Umweltmanagement: theoretische Grundlagen, Praxisbeispiele ; 25 Tabellen", Ulmer Eugen Verlag, 2001.
- [BKR12] Becker, J., Kugeler, M. and Rosemann, M. "Prozessmanagement: Ein Leitfaden Zur Prozessorientierten Organisationsgestaltung", Springer Gabler, 2012.
- [BRU00] Becker, J., Rosemann, M. and von Uthmann, C. "Guidelines of Business Process Modeling" in: *Business Process Management: Models, Techniques and Empirical Studies*. EDS, Springer, 2000, pp. 30-49.
- [BAB12] Beloglazov, A., Abawajy, J. and Buyya, R. "Energy-aware Resource Allocation Heuristics for Efficient Management of Data Centers for Cloud Computing," *Future Gener. Comput. Syst.* (28:5), 2012, pp. 755-768.

- [BW09] Best, E. and Weth, M. "Geschäftsprozesse optimieren: der Praxisleitfaden für erfolgreiche Reorganisation", Gabler, 2009.
- [BCC+06] Bhaskaran, K., Caswell, N. S., Chang, H., Chao, T., k. Chen, S., Dikun, M., Lei, H., j. Jeng, J., Kapoor, S., Lang, C. A., Mihaila, G., Stanoi, I. and Zeng, L. "Model Driven Development for Business Performance Management", IBM Systems Journal (45), 2006, pp. 587-605.
- [Bie01] Bieker, T. "Management unternehmerischer Nachhaltigkeit mit einer Sustainability Balanced Scorecard: forschungsmethodische Grundlagen und erste Konzepte", Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St. Gallen (IWÖ-HSG), 2001.
- [BB+13a] Binz, T., Breitenbücher, U., Kopp, O. and Leymann, F. "Automated Discovery and Maintenance of Enterprise Topology Graphs", in Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Service Oriented Computing & Applications (SOCA 2013), IEEE Computer Society Conference Publishing Services, 2013, pp. 126-134.
- [BBK+14] Binz, T., Breitenbücher, U., Kopp, O. and Leymann, F. "Migration of enterprise applications to the cloud", it - Information Technology, Special Issue: Architecture of Web Application (56:3), 2014, pp. 106-111.
- [BFL+12] Binz, T., Fehling, C., Leymann, F., Nowak, A. and Schumm, D. "Formalizing the Cloud through Enterprise Topology Graphs", in Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Cloud Computing, IEEE, 2012, pp. 1-8.
- [BLN+12] Binz, T., Leymann, F., Nowak, A. and Schumm, D. "Improving the Manageability of Enterprise Topologies Through Segmentation, Graph Transformation, and Analysis Strategies.", in Chi, C.-H., Gasevic, D. and van den Heuvel, W.-J., ed., 'EDOC', IEEE, 2012, pp. 61-70.
- [Bob08] Bobrik, R. "Konfigurierbare Visualisierung komplexer Prozessmodelle", 2008.
- [BBR06] Bobrik, R., Bauer, T. and Reichert, M. "Proviado - Personalized and Configurable Visualizations of Business Processes", in Proceedings of the 7th International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies (EC-WEB'06), Springer, 2006, pp. 61-71.

[BBD+11] Bolla, R., Bruschi, R., Davoli, F. and Cucchietti, F. "Energy Efficiency in the Future Internet: A Survey of Existing Approaches and Trends in Energy-Aware Fixed Network Infrastructures", *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE (13:2), 2011, pp. 223-244.

[Bon11] Bonini, S. "The business of sustainability: McKinsey Global Survey results", http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/the_business_of_sustainability_mckinsey_global_survey_results, 2011.

[BMC+12] Borgetto, D., Maurer, M., Costa, G. D., Pierson, J.-M. and Brandic, I. "Energy-efficient and SLA-aware management of IaaS clouds", in Marsan, M. A., Goyal, S., Xu, S., Fernández, A., Prodanovic, M. and Christensen, K., ed., 'e-Energy', ACM, 2012, pp. 25-32.

[BCH08] Boudreau, M.-C., Chen, A. and Huber, M. "Green IS: Building sustainable business practices", *Information Systems: A Global Text*, 2008.

[BBK+13] Breitenbücher, U., Binz, T., Kopp, O. and Leymann, F. "Pattern-based Runtime Management of Composite Cloud Applications", in Desprez, F., Ferguson, D., Hadar, E., Leymann, F., Jarke, M. and Helfert, M., ed., 'CLOSER', SciTePress, 2013, pp. 475-482.

[vBSR12] vom Brocke, J., Seidel, S. and Recker, J. "Green Business Process Management", Springer Berlin Heidelberg, 2012.

[BC09] Bryman, A. and Cramer, D. "The Handbook of Data Analysis", in Bryman, A. and Hardy, M. A., ed., 2009, pp. 17-34.

[BS08] Burkert, M. and Schäffer, P. "Qualität Von Kennzahlen und Erfolg Von Managern: Direkte, Indirekte und Moderierende Effekte", Westdeutscher Verlag GmbH, 2008.

[BHS07] Buschmann, F., Henney, K. and Schmidt, D. "Pattern-Oriented Software Architecture", *On Patterns and Pattern Languages*, Wiley, 2007.

[CT99] Callens, I. and Tyteca, D. "Towards indicators of sustainable development for firms: A productive efficiency perspective", *Ecological Economics* (28:1), 1999, pp. 41-53.

[CFF+11] Cappiello, C., Ferreira, A., Fugini, M., Pernici, B. and Plebani, P. "Application Driven IT Service Management for Energy Efficiency", *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 2011.

- [CFF+11a] Cappiello, C., Fugini, M., Ferreira, A. M., Plebani, P. and Vitali, M. "Business process co-design for energy-aware adaptation", in Proceedings of the International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2011 IEEE , Technical report, Politec. di Milano, Milan, Italy, IEEE, 2011, pp. 463-470.
- [CFG+10] Cappiello, C., Fugini, M., Gangadharan, G., Ferreira, A., Pernici, B. and Plebani, P. "First-Step toward Energy-Aware Adaptive Business Processes", in Meersman, R., Dillon, T. and Herrero, P., ed., 'On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2010 Workshops', Springer Berlin/Heidelberg, 10.1007/978-3-642-16961-8_4, 2010, pp. 6-7.
- [CFP+10] Cappiello, C., Fugini, M., Plebani, P. and Pernici, B. "Green Information Systems for Sustainable IT", in Proceedings of itAIS 2010, Springer, 2010.
- [CCF+00] Casati, F., Castano, S., Fugini, M., Mirbel, I. and Pernici, B. "Using patterns to design rules in workflows", Software Engineering, IEEE Transactions on (26:8), 2000, pp. 760-785.
- [CHK+11] Chen, D., Henis, E., Kat, R. I., Sotnikov, D., Cappiello, C., Ferreira, A. M., Pernici, B., Vitali, M., Jiang, T., Liu, J. and Kipp, A. "Usage Centric Green Performance Indicators", SIGMETRICS Perform. Eval. Rev. (39:3), 2011, pp. 92-96.
- [Che04] Cheng, P. C.-H. "Why Diagrams Are (Sometimes) Six Times Easier than Words: Benefits beyond Locational Indexing", in Blackwell, A. F., Marriott, K. and Shimojima, A., ed., 'Diagrams', Springer, 2004, pp. 242-260.
- [Coe13] Coenen, U. "Grosse Wellen oder Wie wächst der Westen?", <http://ethicsatwork.de/grosse-wellen-oder-wie-wachst-der-westen/>, 2013.
- [CCon11] COMPAS Consortium "Achievements & Lessons Learned", 2011.
- [Cop95] Coplien, J. O. "Pattern Languages of Program Design", in Coplien, J. O. and Schmidt, D. C., ed., ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, USA, 1995, pp. 183-237.
- [DB01] Dale, V. H. and Beyeler, S. C. "Challenges in the development and use of ecological indicators", Ecological Indicators (1:1), 2001, pp. 3-10.

Literaturverzeichnis

- [Dan14] Danone Waters "Volvic Eco-Packaging", <http://www.volvic-na.com/eco-packaging>, 2014.
- [DSS11] Dargie, W., Strunk, A. and Schill, A. "Energy-aware service execution", in Chou, C. T., Pfeifer, T. and Jayasumana, A. P., ed., 'LCN', IEEE, 2011, pp. 1064-1071.
- [DJH08] Darnall, N., Jolley, G. J. and Handfield, R. "Environmental management systems and green supply chain management: complements for sustainability?", *Business Strategy and the Environment* (17:1), 2008, pp. 30-45.
- [Dav93] Davenport, T. H. "Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology", Harvard Business School Press, Boston, MA, USA, 1993.
- [Dav95] Davenport, T. H. "Reengineering - The Fad That Forgot People", <http://www.fastcompany.com/26310/fad-forgot-people>, 1995.
- [DS90] Davenport, T. H. and Short, J. E. "The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign" *Sloan Management Review* (31:4), 1990, pp. 11-27.
- [DRG+11] Davis, J. D., Rivoire, S., Goldszmidt, M. and Ardestani, E. K. "No Hardware Required: Building and Validating Composable Highly Accurate OS-based Power Models", Technical report, Microsoft Research Technical Report no. MSR-TR-2011-89, 2011.
- [DB13] Deutsche Bahn AG "Vorreiterrolle im Umweltschutz", <http://www.dbecoprogram.com/index.php?lang=en>, 2013.
- [Deu09] Deutscher Industrie- und Handelskammertag "Staatliche Auflagen belasten Firmen stark", <http://www.dihk.de/presse/meldungen/meldung011516>, 2009.
- [DHL13] DHL International GmbH "Green Logistics. Because the Future Can't Wait", http://www.dhl.com/en/logistics/freight_transportation/go_green.html#.UsgrlFvuJ8E, 2013.
- [DAH05] Dumas, M., van der Aalst, W. M. and ter Hofstede, A. H. "Process-aware Information Systems: Bridging People and Software Through Process Technology", John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2005.

Literaturverzeichnis

- [DH02] Dyllick, T. and Hockerts, K. "Beyond the business case for corporate sustainability" *Bus. Strat. Env.* (11:2), 2002, pp. 130-141.
- [Ear94] Earl, M. J. "The new and the old of business process redesign" *Journal of strategic information systems* (3:1), 1994, pp. 5-22.
- [Eic76] Eichhorn, P. "Gesellschaftsbezogene Unternehmensrechnung und betriebswirtschaftliche Sozialindikatoren", *Gemeinwirtschaftliche Betriebe und öffentliche Verwaltungen*, 1976, pp. 159-169.
- [EnB14] EnBW "EnBW Privatstrom Natur", <https://www.enbw.com/privatkunden/tarife-und-produkte/strom/index.html>, 2014.
- [Epr14] Eprimo "eprimoPrimaKlima", <http://www.eprimo.de/neuerkunde/strom/oekostrom/>, 2014.
- [Esp14] EsperTech "ESPER Complex Event Processing", <http://esper.codehaus.org/>, 2014.
- [Eur07] European Commission "Commission proposes an integrated energy and climate change package to cut emissions for the 21st Century", http://europa.eu/rapid/press-release_IP-07-29_en.htm, 2007.
- [EEA14] European Environment Agency "Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS)", http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=environmental%20indicator, 2014.
- [EEA13] European Environment Agency "Environmental Indicator Report 2013", <http://www.eea.europa.eu/publications/environmental-indicator-report-2013/environmental-indicator-report-2013-single-pages.pdf>, 2013.
- [EEA13a] European Environment Agency "OECD Core Environmental Indicators (CEI)", <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/ghg-concentrations-outlook-from-mnp/oecd-core-environmental-indicators-cei>, 2013.
- [EEA13b] European Environment Agency "OECD Key environmental indicators", <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/land-take-2/oecd-key-environmental-indicators-kei>, 2013.
- [Fac14] Facebook "Facebook Entwickler", <https://developers.facebook.com>, 2014.

[FFJ+09] Fahland, D., Favre, C., Jobstmann, B., Koehler, J., Lohmann, N., Völzer, H. and Wolf, K. "Instantaneous Soundness Checking of Industrial Business Process Models", in Dayal, U., Eder, J., Koehler, J. and Reijers, H., ed., 'Business Process Management, 7th International Conference, BPM 2009, Ulm, Germany, September 8-10, 2009, Proceedings', Springer-Verlag, 2009, pp. 278-293.

[FBB+14] Falkenthal, M., Barzen, J., Breitenbücher, U., Fehling, C. and Leymann, F. "From Pattern Languages to Solution Implementations", Proceedings of the Sixth International Conferences on Pervasive Patterns and Applications, Xpert Publishing Services, 2014, pp. 12-21.

[Fed14] FedEx "Shipping FedEx Envelopes is Now Carbon-Neutral", http://news.van.fedex.com/shipping-fedex-envelopes-now-carbon-neutral-1#.Unyj-_lWxcY, 2014.

[FL14] Fehling, C. and Leymann, F. "PatternPedia: a Wiki for Patterns", University of Stuttgart, Technical Report No. 2014/03, 2014.

[FLR+11] Fehling, C., Leymann, F., Retter, R., Schumm, D. and Schupeck, W. "An Architectural Pattern Language of Cloud-based Applications", Proceedings of the 18th Conference on Pattern Languages of Programs, ACM, New York, NY, 2011, pp. 2:1-2:11.

[FLR+14] Fehling, C., Leymann, F., Retter, R., Schupeck, W. and Arbitter, P. "Cloud Computing Patterns: Fundamentals to Design, Build, and Manage Cloud Applications", Springer-Verlag New York Incorporated, 2013.

[Fen14] Fenix Outdoor E-Com AB "Responsibility - The Fjällräven Way", <http://www.fjallraven.com/responsibility>, 2014.

[FHS+02] Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S. and Wagner, M. "The Sustainability Balanced Scorecard – linking sustainability management to business strategy", Business Strategy and the Environment (11:5), 2002, pp. 269-284.

[Fin14] Finnair "Transparency and Sustainability", http://www.finnairgroup.com/group/group_12_4.html, 2014.

[Fir14] First Climate AG "Spezialist für Green Investments, Klimaneutral- und Wasser-Dienstleistungen sowie Umweltberatung", <http://www.firstclimate.com>, 2014.

Literaturverzeichnis

- [Fit90] Fitz-Gibbon, C. "Performance Indicators, Multilingual Matters", 1990.
- [FSC14] Forest Stewardship Council "International Center", <https://ic.fsc.org/>, 2014.
- [Fow03] Fowler, M. "Patterns of Enterprise Application Architecture", Addison-Wesley, 2003.
- [Fow97] Fowler, M. "Analysis Patterns: Reusable Object Models", Addison-Wesley, 1997.
- [FPla13] FreshPlaza "Albert Heijn opts for bio-degradable packaging", http://www.freshplaza.com/2005/12sep/rn2_nl_albertheijn.htm, 2013.
- [Gad09] Gadatsch, A. "Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge Für Die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker“, Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- [Gal97] Gallopín, G. C. "Indicators and their use: Information for Decision-making", in Moldan, B. and Billharz, S., ed., 'Sustainability Indicators. Report of the project of indicators of Sustainable Development', Wiley, 1997.
- [GHJ+95] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. and Vlissides, J. "Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software", Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1995.
- [GHH+10] Ghose, A., Hoesch-Klohe, K., Hinsche, L. and Le, L.-S. "Green Business Process Management: A Research Agenda", Australasian Journal of Information Systems (16:2), 2010.
- [Gla08] Gladen, W. "Performance Measurement: Controlling mit Kennzahlen", Gabler Verlag, 2008.
- [GKK95] Gladwin, T. N., Kennelly, J. J. and Krause, T.-S. "Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research", The Academy of Management Review 20(4), in 22/1/06, R., ed., 1995, pp. 874+.
- [GM05] Glushko, R. J. and Mcgrath, T. "Document Engineering: Analyzing and Designing Documents for Business Informatics and Web Services", The MIT Press, 2005.

Literaturverzeichnis

- [GEC00] Goedkoop, M., Effting, S. and Collignon, M. "The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life-cycle Impact Assessment: Manual for Designers", PRé Consultants, 2000.
- [GJN+10] Goiri, I., Julia, F., Nou, R., Berral, J. L., Guitart, J. and Torres, J. "Energy-Aware Scheduling in Virtualized Datacenters", Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Cluster Computing, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2010, pp. 58-67.
- [Goo95] Goodland, R. "The Concept of Environmental Sustainability", Annual Review of Ecology and Systematics (26:1), 1995, pp. 1-24.
- [Goo76] Goodman, N. "Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols", Hackett, 1976.
- [Goo14a] Google "EMail from Google", <http://mail.google.com>, 2014.
- [GVB+99] Grubb, M., Vrolijk, C., Brack, D. "The Kyoto protocol: a guide and assessment", Energy and Environmental Program, Royal Institute of International Affairs, 1999.
- [GKW08] Gschwind, T., Koehler, J. and Wong, J. "Applying patterns during business process modeling", in Shan (Ed.), BPM 2008, LNCS, 2008, pp. 4-19.
- [GS02] Gulledge, T. R. and Sommer, R. A. "Business process management: public sector implications", Business Proc. Manag. Journal (8:4), 2002, pp. 364-376.
- [Hab06] Habenicht, W. "Vorlesung: Entscheidungsmodelle" Universität Hohenheim, 2006.
- [HKW12] Hak, T., Kovanda, J. and Weinzettel, J. "A method to assess the relevance of sustainability indicators: Application to the indicator set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy", Ecological Indicators (17), 2012, pp. 46-57.
- [Ham10] Hammer, M. "Handbook on Business Process Management 1", in vom Brocke, J. and Rosemann, M., ed., Springer, 2010.
- [Ham90] Hammer, M. "Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate", Harvard Business Review, 1990, pp. 104-112.
- [HC94] Hammer, M. and Champy, J. "Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution", HarperBusiness, 1994.

Literaturverzeichnis

[Han12] Hanmer, R. "Pattern Mining Patterns", in Proceedings of the 19th Pattern Languages of Programs Conference, 2012.

[Har91] Harrington, J. H. "Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness", McGraw-Hill, 1991.

[Hay96] Hay, D. "Data Model Patterns: Conventions of Thought", Dorset House Pub., 1996.

[Hay11] Hayward, P. "The Real Deal? Hotels grapple with greenwashing", Lodging Magazine online, http://www.ahla.com/uploadedFiles/AHLA/Programs_and_Initiatives/Green/The%20Real%20Deal.pdf, 2011.

[HBN13] HBR Blog Network "Insourcing at GE: The Real Story", <http://blogs.hbr.org/2013/07/insourcing-at-ge-the-real-stor/>, 2013.

[Hev08] Hevesi, D. "Michael Hammer, who made reengineering a 1990s buzzword", <http://www.livemint.com/Politics/H8376j7zq4fVbOwTFomHeO/Michael-Hammer-who-made-reengineering-a-1990s-buzzword.html>, 2008.

[HLD+05] Hepp, M., Leymann, F., Domingue, J., Wahler, A. and Fensel, D. "Semantic business process management: a vision towards using semantic Web services for business process management", IEEE International Conference on e-Business Engineering, IEEE, 2005, pp. 535-540.

[HR07] Hepp, M. and Roman, D. "An Ontology Framework for Semantic Business Process Management", Proceedings of Wirtschaftsinformatik (2007), 2007.

[HFC+11] Herva, M., Franco, A., Carrasco, E. F. and Roca, E. "Review of corporate environmental indicators", Journal of Cleaner Production (19:15), 2011, pp. 1687 - 1699.

[HHS05] Hervani, A. A., Helms, M. M. and Sarkis, J. "Performance measurement for green supply chain management", An International Journal (12), 2005, pp. 330 -- 353.

[HMW13] Herzberg, N., Meyer, A. and Weske, M. "An Event Processing Platform for Business Process Management", in Gasevic, D., Hatala, M., Nezhad, H. R. M. and Reichert, M., ed., 'EDOC', IEEE, 2013, pp. 107-116.

- [HGK09] Hinge, K., Ghose, A. K. and Koliadis, G. "Process SEER: A Tool for Semantic Effect Annotation of Business Process Models", In Proceedings of EDOC 2009, IEEE Computer Society, 2009, pp. 54-63.
- [HG10a] Hoesch-Klohe, K. and Ghose, A. "Business Process Improvement in Abnoba", in Maximilien, E. M., Rossi, G., Yuan, S.-T., Ludwig, H. and Fantinato, M., ed., 'ICSOC Workshops', 2010, pp. 193-202.
- [HGL10] Hoesch-Klohe, K., Ghose, A. and Lê, L.-S. "Towards Green Business Process Management", Proceedings of IEEE SCC, IEEE Computer Society, 2010, pp. 386-393.
- [HG10] Hoesch-Klohe, K. and Ghose, A. K. "Carbon-Aware Business Process Design in Abnoba", in Maglio, P. P., Weske, M., Yang, J. and Fantinato, M., ed., 'ICSOC', 2010, pp. 551-556.
- [HW03] Hohpe, G. and Woolf, B. "Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions", Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2003.
- [HDE95] Holdren, J. P., Daily, G. C. and Ehrlich, P. R. "The Meaning of Sustainability: Biogeophysical Aspects", World Bank, 1995.
- [Hol95] Hollingsworth, D. "Workflow Management Coalition - The Workflow Reference Model", Technical report, Workflow Management Coalition, 1995.
- [HJJ96] Hopfenbeck, W., Jasch, C. and Jasch, A. "Lexikon des Umweltmanagements", Verl. Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1996.
- [HRF+10] Houy, C., Reiter, M., Fettke, P. and Loos, P. "Towards Green BPM - Sustainability and Resource Efficiency through Business Process Management", in zur Muehlen, M. and Su, J., ed., 'Business Process Management Workshops', Springer, 2010, pp. 501-510.
- [HRF+12] Houy, C., Reiter, M., Fettke, P., Loos, P., Hoesch-Klohe, K. and Ghose, A. "Advancing Business Process Technology for Humanity - Opportunities and Challenges of Green BPM for Sustainable Business Activities", in vom Brocke, J., Seidel, S. and Recker, J., ed., 'Green Business Process Management - Towards the Sustainable Enterprise', Springer, 2012, pp. 75-92.

Literaturverzeichnis

- [II12] Iba, T. and Isaku, T. "Holistic Pattern-Mining Patterns" in Proceedings of the 19th Pattern Languages of Programs Conference, 2012.
- [IBM14] IBM Corporation "Server consolidation services", <http://www-935.ibm.com/services/us/en/it-services/server-optimization-and-integration-services-server-consolidation.html>, 2014.
- [ISO14] International Organization for Standardization "ISO14000 - Environmental Management", <http://www.iso.org/iso/iso14000>, 2014.
- [ISO14a] International Organization for Standardization "ISO 9000 - Quality management", http://www.iso.org/iso/iso_9000, 2014.
- [ISO14b] International Organization for Standardization "ISO/IEC 27001 - Information Security Management", <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso27001.htm>, 2014.
- [JB96] Jablonski, S. and Bussler, C. "Workflow management - modeling concepts, architecture and implementation", International Thomson, 1996.
- [JNF+00] Jennings, N. R., Norman, T. J., Faratin, P., O'Brien, P. and Odgers, B. "Autonomous Agents for Business Process Management", 2000.
- [Jet14] JET Tankstellen Deutschland GmbH "Klimaneutral tanken bei JET", <http://www.arktik.de/jetzt-mitmachen-beim-klimaschutz/klimaneutral-tanken-bei-jet>, 2014.
- [Jun06] Jung, H. "Allgemeine Betriebswirtschaftslehre", Oldenbourg, 2006.
- [KvLL+08] Karastoyanova, D., van Lessen, T., Leymann, F., Ma, Z., Nitsche, J., Wetzstein, B., Bhiri, S., Hauswirth, M. and Zarembo, M. "A Reference Architecture for Semantic Business Process Management Systems.", in Bichler, M., Hess, T., Krcmar, H., Lechner, U., Matthes, F., Picot, A., Speitkamp, B. and Wolf, P., ed., Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, GITO-Verlag, Berlin, 2008.
- [KLN+06] Karastoyanova, D., Leymann, F., Nitsche, J., Wetzstein, B. and Wutke, D. "Utilizing Semantic Web Service Technologies for Automatic Execution of Parameterized BPEL Processes", XML Tage 2006, Technical report, University of Stuttgart, Faculty of Computer Science, Electrical Engineering, and Information Technology, Germany, 2006.

Literaturverzeichnis

- [KG95] Kettinger, W. J. and Grover, V. "Special Section: Toward a Theory of Business Process Change Management", *Journal of Management Information Systems* (12:1), 1995, pp. 9-30.
- [KKL07] Khalaf, R., Karastoyanova, D. and Leymann, F. "Pluggable Framework for Enabling the Execution of Extended BPEL Behavior", *Proceedings of the 3rd International Workshop on Engineering Service-Oriented Application (WESOA2007)*, Springer, 2007, pp. 376-387.
- [Kha04] Khan, R. "Business Process Management: A Practical Guide", Meghan-Kiffer Press, 2004.
- [KSvW05] Kleindorfer, P. R., Singhal, K. and van Wassenhove, L. N. "Sustainable Operations Management," *Production and Operations Management* (14:4), 2005, pp. 482-492.
- [KBA+10] Kliazovich, D., Bouvry, P., Audzevich, Y. and Khan, S. "GreenCloud: A Packet-Level Simulator of Energy-Aware Cloud Computing Data Centers", *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*, IEEE, 2010, pp. 1-5.
- [Koc11] Koch, S. "Einführung In Das Management Von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen Und TQM", Springer, 2011.
- [KMW+09] Kopp, O., Martin, D., Wutke, D. and Leymann, F. "The Difference Between Graph-Based and Block-Structured Business Process Modelling Languages", *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures* (4:1), 2009, pp. 3-13.
- [KK13] Kostka, C. and Kostka, S. "Der Kontinuierliche Verbesserungsprozess: Methoden des KVP", Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2013.
- [KLC99] Kottmann, H., Loew, T. and Clausen, J. "Umweltmanagement mit Kennzahlen", Vahlen Franz GmbH, 1999.
- [LLH+13] Lannoo, B., Lambert, S., Heddeghem, W. V., Pickavet, M., Kuipers, F., Koutitas, G., Niavis, H., Satsiou, A., Beck, M. T., Fischer, A., de Meer, H., Alcock, P., Papaioannou, T., Viet, N. H., Plagemann, T. and Aracil, J. "D8.1. Overview of ICT energy consumption", FP7-288021 – The EINS Consortium, 2013.

Literaturverzeichnis

- [LS87] Larkin, J. H. and Simon, H. A. "Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words", *Cognitive Science* (11:1), 1987, pp. 65-100.
- [LA10] Laue, R. and Awad, A. "Visualization of Business Process Modeling Anti Patterns", *ECEASST* (25), 2010.
- [Lau05] Laux, H. "Entscheidungstheorie", Springer, 2005.
- [LBF+97] Lawrence, P., Bouzeghoub, M., Fabret, F. and Matulovic-Broqué, M. "Workflow Handbook", in *Proceedings of the International Workshop on Design and Management of Data Warehouses*, 1997.
- [LDG+09] Lazovik, E., den Dulk, P., de Groote, M., Lazovik, A. and Aiello, M. "Services Inside the Smart Home: A Simulation and Visualization Tool", in Baresi, L., Chi, C.-H. and Suzuki, J., ed., 'ICSOC/ServiceWave', 2009, pp. 651-652.
- [LBM+09] Le, K., Bianchini, R., Martonosi, M. and Nguyen, T. "Cost-and energy-aware load distribution across data centers", *Proceedings of HotPower*, 2009.
- [LC01] Leuf, B. and Cunningham, W. "The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web", Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 2001.
- [Ley11] Leymann, F. "Vorlesung: Workflow Management 1" Universität Stuttgart, 2011.
- [LR00] Leymann, F. and Roller, D. "Production Workflow: Concepts and Techniques", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2000.
- [LRS02] Leymann, F., Roller, D. and Schmidt, M.-T. "Web services and business process management", *IBM Systems Journal: Web services and business process management* (41:2), 2002, pp. 198--211.
- [LWL+09] Liu, L., Wang, H., Liu, X., Jin, X., He, W. B., Wang, Q. B. and Chen, Y. "GreenCloud: a new architecture for green data center", *Proceedings of the 6th international conference industry session on Autonomic computing and communications industry session*, ACM, New York, NY, USA, 2009, pp. 29-38.
- [LMM+12] Lucanin, D., Maurer, M., Mastelic, T. and Brandic, I. "Energy Efficient Service Delivery in Clouds in Compliance with the Kyoto Protocol", in Huusko, J., de Meer, H., Klingert, S. and Somov, A., ed., 'E2DC', Springer, 2012, pp. 93-104.

Literaturverzeichnis

- [LPF+09] Lutter, S., Pirgmaier, E., Frühmann, J., Burger, E., Mayr, M. and Polzin, C. "Measuring Performance towards Sustainable Consumption and Production", Action Town, 2009.
- [MR05] Mansar, S. L. and Reijers, H. A. "Best practices in business process redesign: validation of a redesign framework", *Computers in Industry* (56:5), 2005, pp. 457-471.
- [Med14] MediaWiki.org "MediaWiki", <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki>, 2014.
- [MD97] Meszaros, G. and Doble, J. "A pattern language for pattern writing", Addison-Wesley Software Pattern Series (), 1997, pp. 529-574.
- [Mil11] Miller, R. "Amazon's Cloud Goes Modular in Oregon", <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2011/03/28/amazons-cloud-goes-modular-in-oregon/>, 2011.
- [Min07] Mingay, S. "Green IT: The New Industry Shock Wave", <https://www.gartner.com/doc/559709>, 2007.
- [MN06] Moen, R. and Norman, C. "Evolution of the PDCA cycle", 2006.
- [Moo09] Moody, D. L. "The Physics of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering", *IEEE Transactions on Software Engineering* (35:6), 2009, pp. 756-779.
- [Mot11] Motavalli, J. "A History of Greenwashing: How Dirty Towels Impacted the Green Movement", <http://www.dailyfinance.com/2011/02/12/the-history-of-greenwashing-how-dirty-towels-impacted-the-green/>, 2011.
- [MH05] zur Muehlen, M. and Ho, D. T.-Y. "Risk Management in the BPM Lifecycle", in Bussler, C. and Haller, A., ed., 'Business Process Management Workshops', 2005, pp. 454-466.
- [MKS+11] Müller, R., Kovacs, P., Schilbach, J. and Eisenecker, U. "Generative Software Visualizaion: Automatic Generation of User-Specific Visualisations", International Workshop on Digital Engineering, ACM, 2011, pp. 45-49.
- [Mur08] Murugesan, S. "Harnessing Green IT: Principles and Practices", *IT Professional* (10:1), 2008, pp. 24-33.

[NABU14] NABU – Naturschutzbund Deutschland e.V. "Donate for Nature", <http://www.nabu.de/en/spendenundhelfen/spenden/>, 2014.

[NNS10] Naumer, H.-J., Nacken, D. and Scheurer, S. "The sixth Kondratieff - long waves of prosperity", https://www.allianz.com/v_1339501901000/media/press/document/kondratieff_en.pdf, 2010.

[NBL09] Nawrocka, D., Brorson, T. and Lindhqvist, T. "ISO 14001 in environmental supply chain practices", *Journal of Cleaner Production* (17:16), 2009, pp. 1435-1443.

[Nef07] Nefiodow, L. A. "Der sechste Kondratieff", Rhein-Sieg-Verl., Sankt Augustin, 2007.

[NMR+11] Niedermann, F., Maier, B., Radeschütz, S., Schwarz, H. and Mitschang, B. "Automated Process Decision Making Based on Integrated Source Data", in Abramowicz, W., ed., 'BIS', Springer, 2011, pp. 160-171.

[NRM10] Niedermann, F., Radeschutz, S. and Mitschang, B. "Design-Time Process Optimization through Optimization Patterns and Process Model Matching", *Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology (CEC'05)*, 2010, pp. 48-55.

[NRM11] Niedermann, F., Radeschütz, S. and Mitschang, B. "Business Process Optimization Using Formalized Optimization Patterns", in Abramowicz, W., ed., 'BIS', Springer, 2011, pp. 123-135.

[NG08] Niemeijer, D. and de Groot, R. S. "A conceptual framework for selecting environmental indicator sets", *Ecological indicators* (8:1), 2008, pp. 14-25.

[NC99] Nordbotten, J. C. and Crosby, M. E. "The effect of graphic style on data model interpretation", *Inf. Syst. J.* (9:2), 1999, pp. 139-156.

[NBL+13] Nowak, A., Binz, T., Leymann, F. and Urbach, N. "Determining Power Consumption of Business Processes and their Activities to Enable Green Business Process Reengineering", *Proceedings of the 17th IEEE International EDOC Conference (EDOC 2013)*, IEEE, 2013, pp. 259-266.

[NKL+12] Nowak, A., Karastoyanova, D., Leymann, F., Rapoport, A. and Schumm, D. "Flexible Information Design for Business Process Visualizations", *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, IEEE Xplore, 2012.

Literaturverzeichnis

- [NL12] Nowak, A. and Leymann, F. "Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Nachhaltige Geschäftsprozesse", <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/21339693/nachhaltige-geschaeftsprozesse-v3.html>, Springer Gabler Verlag, 2012.
- [NLM10] Nowak, A., Leymann, F. and Mietzner, R. "Towards Green Business Process Reengineering", Proceedings of the First International Workshop on Services, Energy, & Ecosystem: SEE2010, San Francisco, USA, December 07, 2010, Springer, 2010, pp. 187-192.
- [NLS+11] Nowak, A., Leymann, F., Schumm, D. and Wetzstein, B. "An Architecture and Methodology for a Four-Phased Approach to Green Business Process Reengineering", in Kranzlmüller, D. and Tjoa, A. M., ed., 'ICT-GLOW', Springer, 2011, pp. 150-164.
- [OAS07] OASIS "Web Services Business Process Execution Language Version 2.0", OASIS, 2007.
- [Oes95] Oesterle, H. "Business Engineering. Prozeß- und Systementwicklung: Band 1: Entwurfstechniken", Springer, 1995.
- [Ols09] Olson, E. "Better Green Business: Handbook for Environmentally Responsible and Profitable Business Practices", Pearson Education, 2009.
- [OMG13] OMG "Business Process Model and Notation (BPMN)", OMG, 2013.
- [OGmb14] Optris GmbH "Prozessoptimierung durch Temperaturüberwachung", <http://www.optris.de/prozessoptimierung-durch-temperaturueberwachung>, 2014.
- [Ora14] Oracle "Session state in the web tier", <http://www.oracle.com/technetwork/java/session-state-138517.html>, 2014.
- [Ort05] Ortega-Cerdà, M. "Sustainability indicators as discursive elements", 6th International Conference of the European Society for Ecological Economics, 2005.
- [Pai90] Paivio, A. "Mental Representations: A Dual Coding Approach", Oxford University Press, Incorporated, 1990.
- [Par10] Parmenter, D. "Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs", Wiley, 2010.

- [PA97] Pearce, D. and Atkinson, G. "Acknowledgments The Concept of Sustainable Development: An Evaluation of its Usefulness Ten Years After Brundtland", 1997.
- [Pet95] Petre, M. "Why Looking isn't Always Seeing: Readership Skills and Graphical Programming", *Commun. ACM* (38:6), 1995, pp. 33-44.
- [PLM10a] Petrucci, V., Loques, O. and Mossé, D. "A Dynamic Optimization Model for Power and Performance Management of Virtualized Clusters", *Proceedings of the 1st International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking*, ACM, New York, NY, USA, 2010, pp. 225-233.
- [PVD+08] Pickavet, M., Vereecken, W., Demeyer, S., Audenaert, P., Vermeulen, B., Develder, C., Colle, D., Dhoedt, B. and Demeester, P. "Worldwide energy needs for ICT: The rise of power-aware networking", *2nd International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems*, 2008, pp. 1-3.
- [Por85] Porter, M. E. "Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance", Free Press, New York and London, 1985.
- [Pos13] PostgreSQL "PostgreSQL 9.2 Release Notes", <http://www.postgresql.org/about/news/1415/>, 2013.
- [RSN13] Radeschütz, S., Schwarz, H. and Niedermann, F. "Business impact analysis — a framework for a comprehensive analysis and optimization of business processes", *Computer Science – Research and Development*, 2013, pp. 1-18.
- [RBC09] Rasmussen, N., Bansal, M. and Chen, C. "Business Dashboards: A Visual Catalog for Design and Deployment", Wiley, 2009.
- [Rec11] Recker, J. C. "Green, Greener, BPM?", *BPTrends* (5:7), 2011, pp. 1-8.
- [Rei12] Reichert, M. "Visualizing Large Business Process Models: Challenges, Techniques, Applications", in Rosa, M. L. and Soffer, P., ed., 'Business Process Management Workshops', Springer, 2012, pp. 725-736.
- [RZ96] Riehle, D. and Züllighoven, H. "Understanding and Using Patterns in Software Development", *TAPOS* (2:1), 1996, pp. 3-13.

Literaturverzeichnis

- [Rom08] Romero, P. "Beware of green marketing, warns Greenpeace exec", <http://www.abs-cbnnews.com/special-report/09/16/08/beware-green-marketing-warns-greenpeace-exec>, 2008.
- [Roo98] Roome, N. "Sustainability Strategies for Industry: The Future of Corporate Practice", Island Press, 1998.
- [Ros05] Rosenkranz, F. "Geschäftsprozesse. Modell- und computergestützte Planung", Springer, Berlin, 2005.
- [RHE+05] Russell, N., ter Hofstede, A. H. M., Edmond, D. and van der Aalst, W. M. P. "Workflow Data Patterns: Identification, Representation and Tool Support", Proceedings of the 24th International Conference on Conceptual Modeling, Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 353-368.
- [RHE05] Russell, N., Hofstede, A. H. M. T. and Edmond, D. "Workflow Resource Patterns: Identification, Representation and Tool Support", Proceedings of the 17th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE'05), vol. 3520, Springer, 2005, pp. 216-232.
- [Saf14] Safeway "Global Packaging Project", <http://www.safeway.ca/community/environment.html>, 2014.
- [Sal14] Salesforce.com "Dell harnesses the power of the Sales Cloud and the Force.com platform to drive innovation", <http://www.salesforce.com/showcase/stories/dell.jsp>, 2014.
- [dSB04] dos Santos, S. and Brodlie, K. "Gaining understanding of multivariate and multidimensional data through visualization", Computers & Graphics (28:3), 2004, pp. 311-325.
- [SAG10] SAP AG "SAP Sustainability Report", <http://www.sapsustainabilityreport.com>, 2010.
- [Sau09] Sauer, M. "Operations Research kompakt", Oldenbourg, 2009.
- [Sch02a] Schaltegger, S. "Nachhaltig managen mit der Balanced Scorecard.: Konzepte und Fallstudien", Gabler, Betriebswirt.-Vlg, 2002.
- [SS90] Schaltegger, S. and Sturm, A. "Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten", Swiss Journal of Business Research and Practice, 1990.

Literaturverzeichnis

- [SS01] Schaltegger, S. and Synnestvedt, T. "The Forgotten Link Between green and Economic Success: Environmental Management as the Crucial Trigger Between Environmental and Economic Performance", CSM, 2001.
- [Sch02] Scheer, A.-W. "ARIS - vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem", Springer, Berlin, 2002.
- [ST10] Schiersmann, C. and Thiel, H. "Organisationsentwicklung: Prinzipien und Strategien von Veränderungsprozessen", VS Verlag für Sozialw., 2010.
- [SAL+10] Schleicher, D., Anstett, T., Leymann, F. and Schumm, D. "Compliant Business Process Design Using Refinement Layers", in Meersman, R., Dillon, T. S. and Herrero, P., ed., 'OTM Conferences', Springer, 2010, pp. 114-131.
- [SFG+11] Schleicher, D., Fehling, C., Grohe, S., Leymann, F., Nowak, A., Schneider, P. and Schumm, D. "Compliance Domains: A Means to Model Data-Restrictions in Cloud Environments", Proceedings of 17th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2011, pp. 257-266.
- [SLS+10] Schleicher, D., Leymann, F., Schumm, D. and Weidmann, M. "Compliance scopes: Extending the BPMN 2.0 meta model to specify compliance requirements", 'SOCA', IEEE, 2010, pp. 1-8.
- [SS08] Schmelzer, H. and Sesselmann, W. "Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen"; Hanser, 2008.
- [Sch06] Schuh, G. "Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte", Springer, 2006.
- [Sch09] Schulz, G. "The Green and Virtual Data Center", Auerbach Publications, Boston, MA, USA, 2009.
- [Sch11] Schumm, D. "Information Design for Business Process Management", 5th Summer School on SOC, 2011.
- [SAL+10a] Schumm, D., Anstett, T., Leymann, F. and Schleicher, D. "Applicability of Process Viewing Patterns in Business Process Management", Proceedings of the International Workshop on Models and

Model-driven Methods for Service Engineering (3M4SE 2010), IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, 2010, pp. 79-88.

[SCF+11] Schumm, D., Cai, J., Fehling, C., Karastoyanova, D., Leymann, F. and Weidmann, M. "Composite Process View Transformation", in Huemer, C. and Setzer, T., ed., 'EC-Web', Springer, 2011, pp. 52-63.

[SLM+10] Schumm, D., Leymann, F., Ma, Z., Scheibler, T. and Strauch, S. "Integrating Compliance into Business Processes: Process Fragments as Reusable Compliance Controls", in Schumann/Kolbe/Breitner/Frerichs, ed., Proceedings of the Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI'10), Göttingen, Germany, February 23-25, 2010, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, 2010, pp. 2125-2137.

[SLS10] Schumm, D., Leymann, F. and Streule, A. "Process Viewing Patterns" in Proceedings of the 14th IEEE International EDOC Conference, EDOC 2010, 25-29 October 2010, Vitória, Brazil', IEEE Computer Society, 2010, pp. 89-98.

[Sch13] Schweiger, B. "Prozessoptimierung im Ersatzteillager mit Barcode und RFID", http://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20240/13-02-07_Vortrag-FEN_Schweiger.pdf, 2013.

[SvBR11] Seidel, S., vom Brocke, J. and Recker, J. C. "Call for action: investigating the role of business process management in green IS ", in Hasan, H. and Dwyer, C., ed., 'SIGGreen Pre-ICIS Workshop: Information Systems and Environmentally Sustainable Development', Association for Information Systems, Saint Louis, Missouri, 2011.

[SV06] Shaft, T. M. and Vessey, I. "The Role of Cognitive Fit in the Relationship Between Software Comprehension and Modification", MIS Quarterly (30:1), 2006, pp. 29-55.

[Sia04] Siau, K. "Informational and Computational Equivalence in Comparing Information Modeling Methods", J. Database Manag. (15:1), 2004, pp. 73-86.

[SMG+09] Singh, R. K., Murty, H., Gupta, S. and Dikshit, A. "An overview of sustainability assessment methodologies", Ecological Indicators (9:2), 2009, pp. 189 - 212.

[Sma13] Smart2020 "SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age", <http://www.smart2020.org/>, 2013.

Literaturverzeichnis

- [SQP+13] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P. M. "Climate Change 2013: The Physical Science Basis", <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Ukk9v4bIZGg>, 2013.
- [Sur08] Suryodiningrat, M. "Commentary: When CSR is neither profit nor public good", The Jakarta Post, <http://www.thejakartapost.com/news/2008/08/28/commentary-when-csr-neither-profit-nor-public-good.html>, 2008.
- [Swi14] Swiss International Air Lines "Swiss Und MyClimate - Klimaschutz, Handeln mit Weitsicht", <http://swiss.myclimate.org>, 2014.
- [Tch14] Tchibo GmbH "Auf dem Weg zu einer 100% nachhaltigen Geschäftstätigkeit", <http://www.tchibo.com/content/893150/-/de/nachhaltigkeit.html;jsessionid=299E91E5D9AC529C11CF047953D05667>, 2014.
- [TCC14] The Coca-Cola Company "Die PlantBottle Flasche", <http://www.plantbottle.info/index.shtml>, 2014.
- [TGG07] Grid, T. G. "Green Grid Metrics: Describing Datacenter Power Efficiency", Technical report, The Green Grid, 2007.
- [TjF14] jQuery Foundation, T. "jQuery JavaScript library", <http://jquery.com/>, 2014.
- [TSG07] Thompson, A. A., Strickland, A. J. and Gamble, J. E. "Crafting and executing strategy", McGraw-Hill/Irwin, Boston [u.a.], 2007.
- [UEPA14] U.S. Environmental Protection Agency "Environmental Indicators", <http://www.epa.gov/roe/>, 2014.
- [ULM+08] Unger, T., Leymann, F., Mauchart, S. and Scheibler, T. "Aggregation of Service Level Agreements in the Context of Business Processes", 12th International IEEE Enterprise Distributed Object Computing Conference, IEEE, 2008.
- [UPS14] United Parcel Service of America "Shipping carbon neutral with UPS", <http://www.ups.com/content/us/en/resources/ship/carbon-neutral/shipping.html>, 2014.
- [UM05] Upham, P. J. and Mills, J. N. "Environmental and Operational sustainability of airports: core indicators and stakeholder communication", Benchmarking: An International Journal (12:2), 2005, pp. 166-179.

- [VVL07] Vanhatalo, J., Völzer, H. and Leymann, F. "Faster and More Focused Control-Flow Analysis for Business Process Models Through SESE Decomposition", Proceedings of the 5th International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007, pp. 43-55.
- [VE01] Veleva, V. and Ellenbecker, M. "Indicators of sustainable production: framework and methodology", Journal of Cleaner Production (9:6), 2001, pp. 519-549.
- [VTM08] Vergidis, K., Tiwari, A. and Majeed, B. "Business Process Analysis and Optimization: Beyond Reengineering", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (38:1), 2008, pp. 69-82.
- [VHA05] Vu, L.-H., Hauswirth, M. and Aberer, K. "QoS-Based Service Selection and Ranking with Trust and Reputation Management", Proceedings of the 2005 Confederated International Conference on Meaningful Internet Systems, Springer, 2005, pp. 466-483.
- [WSM08] Walker, H., Sisto, L. D. and McBain, D. "Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: Lessons from the public and private sectors", Journal of Purchasing and Supply Management (14:1), 2008, pp. 69-85.
- [WB07] Walls, C. and Breidenbach, R. "Spring in Action", Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 2007.
- [WHM98] Walton, S. V., Handfield, R. B. and Melnyk, S. A. "The Green Supply Chain: Integrating Suppliers into Environmental Management Processes", International Journal of Purchasing and Materials Management (34:1), 1998, pp. 2-11.
- [WB12] Watson, R. and Boudreau, M. "Energy Informatics and the Difference Between Green IT and Green IS", 2012.
- [WBC10] Watson, R. T., Boudreau, M.-C. and Chen, A. J. "Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the IS community", MIS quarterly (34:1), 2010, pp. 23-38.
- [WF11] Wellhausen, T. and Fiesser, A. "How to write a pattern? A rough guide for first-time pattern authors", Proceedings of the 16th European Conference on Pattern Languages of Programs, 2011.

Literaturverzeichnis

[Wes07] Weske, M. "Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures", Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2007.

[WKL08] Wetzstein, B., Karastoyanova, D. and Leymann, F. "Towards Management of SLA-Aware Business Processes Based on Key Performance Indicators", Proceedings of the 9th Workshop on Business Process Modeling, Development, and Support (BPMDS'08), 2008.

[WSL09] Wetzstein, B., Strauch, S. and Leymann, F. "Measuring Performance Metrics of WS-BPEL Service Compositions", in Mauri, J. L., Giner, V. C., Tomas, R., Serra, T. and Dini, O., ed., 'Proceedings of the Fifth International Conference on Networking and Services, IEEE Computer Society, 2009, pp. 49-56.

[Wie13] Wieland, M. "Methoden zur Modellierung und Ausführung kontextbezogener Workflows in Produktionsumgebungen", 2013.

[Win14] WindMade "WindMade Labels", <http://www.windmade.org/windmade>, 2014.

[Win90] Winn, W. "Encoding and retrieval of information in maps and diagrams", Professional Communication, IEEE Transactions on (33:3), 1990, pp. 103-107.

[WUL14] Workday U.K. Ltd "Workday and Symantec: Value Comes from the Cloud", <http://www.workday.com/Documents/uk/pdf/case-studies/case-study-symantec-uk.pdf>, 2014.

[WCED1987] World Commission on Environment and Development "Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development", Published as Annex to General Assembly document A/42/427, 1987.

[W3C10] World Wide Web Consortium "Scalable Vector Graphics (SVG)", 2010.

[YL05] Yu, T. and Lin, K.-J. "Service Selection Algorithms for Composing Complex Services with Multiple QoS Constraints", Proceedings of the 3rd International Conference on Service-Oriented Computing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 130-143.

[YL04] Yu, T. and Lin, K.-J. "Service Selection Algorithms for Web Services with End-to-End QoS Constraints", Proceedings of the IEEE

Literaturverzeichnis

International Conference on E-Commerce Technology, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2004, pp. 129-136.

[ZS01] Zimmermann, W. and Stache, U. "Operations-Research: quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung", Oldenbourg, 2001.

[ZSL11] Zor, S., Schumm, D. and Leymann, F. "A Proposal of BPMN Extensions for the Manufacturing Domain", Proceedings of the 44th CIRP International Conference on Manufacturing Systems, 2011.

Alle Onlineverweise wurden zuletzt am 08.01.2014 aufgerufen.

Pattern Icons Kapitel 5.4.5:  <http://www.cloudcomputingpatterns.org>

LISTE DER MATHEMATISCHEN FORMELN & SYMBOLE

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit verwendeten mathematischen Formeln und Symbole sowie das Kapitel ihrer erstmaligen Einführung.

Tabelle 19: Mathematische Symbole und Funktionen der vorliegenden Arbeit

Formel / Symbol	Beschreibung
$KEI = \{ \dots, kei_i, \dots \}$	Definiert eine Menge von Key Ecological Indicators $kei \in KEI$ (Kap. 3.2.2.3)
$kei = (\mathcal{M}, zf)$	Definiert einen Key Ecological Indicator $kei \in KEI$ (Kap. 3.2.2.3)
$\mathcal{M} = \{ \dots, m_i, \dots \}$	Definiert eine Menge ökologisch relevanter Measures $m \in \mathcal{M}$ (Kap. 3.2.2.3)
zf	Definiert eine Zielfunktion, welche sich aus den zu erreichenden Umweltzielen eines Unternehmens ableitet (Kap. 3.2.2.3)
$\mathcal{R} = \{ \dots, r_i, \dots \}$	Definiert eine Menge aller Ressourcenmodelle $r \in \mathcal{R}$ (Kap. 4.3.1)
$r = (PM, PA, AR, MR)$	Definiert ein Ressourcenmodell $r \in \mathcal{R}$ (Kap. 4.3.1)
PM	Definiert eine Menge von Prozessmodellen $p \in PM$ (Kap. 4.3.1)
PA	Definiert eine Menge von Aktivitäten $a \in PA$ (Kap. 4.3.1)
AR	Definiert eine Menge von Ressourcen $ar \in AR$ (Kap. 4.3.1)

Liste der mathematischen Formeln & Symbole

$MR \subseteq PA \times AR$	Definiert eine Menge von Mappings, welche Ressourcen aus AR auf Prozessaktivitäten aus PA abbilden (Kap. 4.3.1)
$\mathfrak{M} = \{\dots, m_i, \dots\}$	Definiert eine Menge an Monitoringmodellen $m \in \mathfrak{M}$ (Kap. 4.4.1)
$m = \left(\begin{array}{l} KEI, \mathcal{R}, MP, \\ MPREL, TL, PR \end{array} \right)$	Definiert ein Monitoringmodell $m \in \mathfrak{M}$ (Kap. 4.4.1)
MP	Definiert eine Menge von Messpunkten $mp \in MP$ (Kap. 4.4.1)
$MPREL \subseteq R \times MP$	Definiert eine Menge von Relationen zwischen Ressourcenmodellen und Messpunkten (Kap. 4.4.1)
TL	Definiert eine Menge von typisierten Laufzeitinformationen $tl \in TL$ (Kap. 4.4.1)
PR	Definiert eine Menge von Regeln, welche die typisierten Laufzeitinformationen aus TL auf eine Menge von Prozessaktivitäten aus PA abbilden (Kap. 4.4.1)
$TS = ts_1 \cup \dots \cup ts_k$	Definiert eine Menge von Stichproben von Performance Countern (Kap. 4.4.2.1)
ts_k	Definiert eine Teilmenge aus TS (Kap. 4.4.2.1)
P_{system}	Definiert den Gesamtenergieverbrauch eines Systems (Kap. 4.4.2.1)
P_{idle}	Definiert den Gesamtenergieverbrauch im Idle-Zustand (Kap. 4.4.2.1)
$P_{service}$	Definiert den Gesamtenergieverbrauch des betrachteten Services (Kap. 4.4.2.1)
$P_{otherServices}$	Definiert den Gesamtenergieverbrauch ohne $P_{service}$ (Kap. 4.4.2.1)
$PCR_{service}$	Definiert den durchschnittlichen Energieverbrauch pro Service Aufruf (Kap. 4.4.2.1)

Liste der mathematischen Formeln & Symbole

$ req_{service} $	Definiert die Anzahl der Service Aufrufe (Kap. 4.4.2.1)
M_k	Definiert ein Regressionsmodell k (Kap. 4.4.2.1)
x_i	Definiert einen Vektor von Hardware Performance Countern (Kap. 4.4.2.1)
β_i	Definiert einen Vektor für die Gewichtung von x_i (Kap. 4.4.2.1)
C	Definiert eine Konstante für ein Regressionsmodell M (Kap. 4.4.2.1)
I	Definiert eine Menge von Prozessinstanzen $i \in I$ (Kap. 4.4.2.2)
ψ	Definiert eine Funktion, um den variierenden Energieverbrauch pro Service Aufruf abzubilden (Kap. 4.4.2.2)
t	Definiert die Laufzeit einer Aktivität a (Kap. 4.4.2.2)
PC_i^a	Definiert den Energieverbrauch einer Aktivität a einer Prozessinstanz i (Kap. 4.4.2.2)
PC_i	Definiert den Energieverbrauch einer Prozessinstanz $i \in I$ (Kap. 4.4.2.2)
E	Definiert eine den Energieverbrauch der Ausführungsumgebung eines Prozesses (Kap. 4.4.2.2)
Φ	Definiert eine Aggregationsfunktion (Kap. 4.4.2.2)
PC_{total}	Definiert den aggregierten Energieverbrauch eines Prozessmodells (Kap. 4.4.2.2)
PC_{total}^a	Definiert den aggregierten Energieverbrauch einer Aktivität a eines Prozessmodells (Kap. 4.4.2.2)

Liste der mathematischen Formeln & Symbole

p_f^a	Definiert die Wahrscheinlichkeit, dass der Kontrollfluss an einer Verzweigung f in Richtung einer Aktivität a verläuft (Kap. 4.4.2.2)
p^a	Definiert die Wahrscheinlichkeit, dass der Kontrollfluss Aktivität a erreicht (Kap. 4.4.2.2)
T	Definiert die Typen der Messwerte $m \in \mathcal{M}$ (Kap. 4.5.1.5)
\mathcal{A}	Definiert eine spezifische Menge von Aktivitäten $\mathcal{A} \subseteq PA$ (Kap. 4.5.1.5)
A	Definiert eine Alternativenmenge $am \in A$ von Patterns (Kap. 5.5.3)
Z	Definiert eine Menge von Umweltzuständen $z \in Z$ (Kap. 5.5.3)
$K = f(A, Z)$	Definiert die Ergebnisse der Anwendung der Alternativenmenge A in den Umweltzuständen Z (Kap. 5.5.3)
$B(K)$	Definiert Bewertungsvorschriften für die Erstellung einer Präferenzordnung von Patterns ans A (Kap. 5.5.3)
$O \subset A \times A$	Definiert eine Präferenzordnung (Kap. 5.5.3)

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel: „Green Business Process Management: Methode und Realisierung“

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit erkläre ich, dass ich die beigefügte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

Ort, Datum

Unterschrift