

# **Life Cycle Assessments als Instrument zur Messung der ökologischen Auswirkungen von Informationssystemen**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors  
der Wirtschaftswissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Osnabrück

vorgelegt  
von

Florian Stiel, Dipl. Wirt.-Ing.

Osnabrück, 2. Mai 2016

Dekan des Fachbereichs: Prof. Dr. Joachim Wilde  
Referenten: Prof. Dr. Frank Teuteberg, Prof. Dr. Oliver Thomas  
Datum der Disputation: 2. Mai 2016

## **Hinweise zur Verwendung geschlechtsneutraler Formulierungen**

In der vorliegenden Arbeit wird den Empfehlungen der Redaktion des Dudens zur sprachlichen Gleichstellung von Frauen und Männern gefolgt (Eickhoff, 1999). Demzufolge wird zugunsten der Lesbarkeit und Verständlichkeit auf die Verwendung von Doppelnennungen und Kurzformen verzichtet. Um die sprachliche Gleichbehandlung von Frauen und Männern zu gewährleisten, wird deshalb, sofern möglich, auf Partizipien oder Sachbezeichnungen anstelle von Personenbezeichnungen zurückgegriffen. Wenn dies aus Gründen der sprachlichen Ästhetik nicht sinnvoll erscheint, wird stellvertretend für beide Geschlechter und ohne Einschränkung der sprachlichen Gleichbehandlung von Frauen und Männern, die männliche Form verwendet.

## **Hinweise zum Aufbau des Dokuments**

Die vorliegende kumulative Dissertation ist in zwei Teile gegliedert: Teil A gibt eine einleitende Übersicht über die enthaltenen Beiträge und setzt diese in einen Gesamtzusammenhang. Neben einer Diskussion der angewandten Theorien und Methoden werden die Ergebnisse der jeweiligen Beiträge diskutiert. Im Anschluss werden die wesentlichen Implikationen für Wissenschaft, Praxis sowie Gesellschaft und Politik, Limitationen sowie Ansatzpunkte für zukünftige Forschung zusammengefasst. Teil A stellt somit ein eigenständiges Dokument mit entsprechenden Verzeichnissen am Anfang und Literaturverzeichnis am Ende dar.

Der sich anschließende Teil B enthält die im Rahmen von Teil A vorgestellten Forschungsbeiträge inklusive deren Anhänge. Die Formatierungen und Zitationsstile der Beiträge entsprechen jeweils den Vorgaben der jeweiligen Publikationsorgane, in denen sie veröffentlicht worden sind.

## Inhaltsverzeichnis

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Teil A: Dachbeitrag .....</b>                                  | <b>IV</b>    |
| <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>                                 | <b>V</b>     |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                | <b>VI</b>    |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                  | <b>VII</b>   |
| <b>1 Einleitung .....</b>   | <b>1</b>     |
| 1.1 Motivation und Forschungsbedarf .....                         | 1            |
| 1.2 Zielsetzung .....   | 4            |
| <b>2 Wissenschaftlicher Beitrag .....</b>                         | <b>6</b>     |
| 2.1 Übersicht über die ausgewählten Forschungsleistungen.....     | 6            |
| 2.2 Methodische Einordnung der Forschungsleistungen .....         | 7            |
| <b>3 Ergebnisse .....</b>   | <b>10</b>    |
| <b>4 Diskussion .....</b>   | <b>15</b>    |
| 4.1 Implikationen .....   | 15           |
| 4.1.1 Implikationen für die Wissenschaft.....                     | 15           |
| 4.1.2 Implikationen für Gesellschaft und Unternehmenspraxis ..... | 17           |
| 4.2 Limitationen und Ausblick.....                                | 17           |
| <b>5 Fazit .....</b>  | <b>18</b>    |
| <b>Literatur.....</b>   | <b>XII</b>   |
| <b>Eidesstattliche Erklärung (Hilfsmittel) .....</b>              | <b>XVIII</b> |
| <b>Eidesstattliche Erklärung (entgeltliche Hilfe) .....</b>       | <b>XIX</b>   |
| <b>Teil B: Einzelbeiträge .....</b>                               | <b>XX</b>    |

---

# Teil A: Dachbeitrag

---

## Abkürzungsverzeichnis

|      |  |
|------|--|
| IS   | Informationssystem                                 |
| IT   | Informationstechnologie                            |
| LCA  | Life Cycle Assessment                              |
| UML  | Unified Modeling Language                          |
| ISO  | International Organization for Standardization     |
| EMAS | Eco-Management and Audit Scheme                    |
| VHB  | Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft |
| WKWI | Wissenschaftliche Kommission Wirtschaftsinformatik |

---

## Abbildungsverzeichnis

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <i>Abb. 1:</i> | Überblick der wissenschaftlichen Methode .....   | 8  |
| <i>Abb. 2:</i> | Forschungszyklus der Theoriebildung in der Wirtschaftsinformatik.....                          | 9  |
| <i>Abb. 3:</i> | Ordnungsrahmen des Dissertationsvorhabens.....   | 10 |
| <i>Abb. 4:</i> | Verortung der Teilrahmenwerke innerhalb eines Life Cycle Assessments .....                     | 11 |
| <i>Abb. 5:</i> | Meta-Modell zur Erstellung von Sachbilanzen hybrider Systeme .....                             | 12 |
| <i>Abb. 6:</i> | Rahmenwerk zur Abbildung hybrider Systeme .....  | 13 |
| <i>Abb. 7:</i> | Grundidee einer Einbindung von Wirkungsmodellen in betriebliche<br>Entscheidungsprozesse ..... | 14 |



---

## Tabellenverzeichnis

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <i>Tab. 1:</i> | Überblick über die aufgenommenen Beiträge.....                            | 6  |
| <i>Tab. 2:</i> | Übersicht der in den Beiträgen durchgeführten Forschungsaktivitäten. .... | 10 |

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Forschungsbedarf

Mit seiner zwischen den Jahren 1996 und 1998 erstellten Trilogie *The Information Age: Economy, Society and Culture* (Castells, 1996, 1997, 1998) prägte der Soziologe Manuel Castells den Begriff des *Informationszeitalters* zur Beschreibung heutiger westlicher Wirtschafts- und Gesellschaftsformen. Im Informationszeitalter bildet die Verfügbarkeit von informationstechnischen Kapazitäten nach Castells (1998) den Kern der individuellen und gesellschaftlichen Schaffung von Wohlstand, der Ausübung von Macht sowie der Generierung kultureller Codes. Das Informationszeitalter unterscheidet sich damit vom Industriezeitalter, in dem die Kapazitäten zur Bereitstellung von Energie die technologische Grundlage für gesellschaftliche Entwicklungen schuf (Castells, 2005). Hilbert & López (2011) beziffern die kumulierte jährliche Wachstumsrate der weltweiten informationstechnischen Kapazitäten zwischen 1986 und 2007 auf 28 % für Telekommunikationskapazitäten (Telefonie, Briefverkehr, Internetverkehr), auf 58 % für Rechenkapazitäten menschengesteuerter Mehrzweckcomputer (PC, Server, mobile Endgeräte, Spielekonsolen, Taschenrechner) und auf 83 % für Rechenkapazitäten für anwendungsspezifische Computer (Steuerungssysteme ohne Zugriff auf die Rechenlogik).

Vor dem Hintergrund der, auf nationaler wie internationaler Ebene geführten, Diskussion um eine nachhaltige gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung (vgl. Chouinard, Ellison, & Ridgeway, 2011; Elkington, 1998; Enquete Kommission, 1998; Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972; Nidumolu, Prahalad, & Rangaswami, 2009; United Nations, 2002), welche „die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ (WCED, 1987), gewinnt diese stark zunehmende Verbreitung von informationstechnologischer Kapazität auch in ökologischer Hinsicht an Bedeutung. Einerseits beansprucht der Aufbau informationstechnischer Kapazitäten, durch Verbrauch wertvoller und seltener Metalle bei der Herstellung sowie durch den Verbrauch von Energie beim Betrieb der Hardware, zunehmend die ökologischen Systeme unseres Planeten (vgl. Bringezu et al., 2011; Dompke et al., 2004; Hintemann, Fichter, & Stobbe, 2010; Stobbe et al., 2009). So werden durch den Stromverbrauch der Informationstechnologie (IT) ca. 2 % der weltweiten Treibhausgasemissionen bedingt (Gartner and WWF, 2008). Andererseits tragen informationstechnische Kapazitäten dazu bei, die ökologischen Auswirkungen von Produktions- und Transportprozesse zu analysieren, zu steuern, zu verringern, betriebliche und gesellschaftliche Entscheidungsträger über Missstände zu in-

formieren und auf diese Weise die übrigen 98 % der weltweiten Treibhausgasemissionen zu reduzieren (Gartner and WWF, 2008). Zur wissenschaftlichen Untersuchung dieser konträren Wechselwirkungen im Spannungsfeld von Informationstechnologie, menschlichem Verhalten und unserer Umwelt haben sich innerhalb der deutschen Wirtschaftsinformatik sowie ihrer englischsprachigen Schwesterdisziplin Information Systems Research zwei Forschungsansätze herausgebildet, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit mit den Begriffen *Green Information Technology (Green IT)* und *Green Information Systems (Green IS)* bezeichnet werden.

Im Fokus der Green IT Forschung stehen Phänomene und Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der ökologischen Auswirkungen von IT führen (Corbett, 2010; Loeser, 2013; Loos et al., 2011; Murugesan, 2008). Die Systemgrenzen der Green IT Forschung werden durch den Betrachtungshorizont der betrieblichen IT vorgegeben (Molla and Abareshi, 2011). Green IT Phänomene und Maßnahmen umfassen insbesondere (Loeser, 2013): 1. die Berücksichtigung von Umweltaspekten bei der Beschaffung von IT Infrastruktur und Dienstleistungen, z. B. die Beschaffung umweltfreundlicher PCs, Monitore und Drucker (Erek et al., 2011); 2. die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in Rechenzentren und in Büroumgebungen, z. B. durch Virtualisierung und Thin-Clients (Berl et al., 2010; Boehm et al., 2011); sowie 3. die umweltfreundliche Verwertung und Entsorgung von IT Infrastruktur, z. B. durch Recycling von IT Komponenten (Murugesan, 2008).

Im Gegensatz dazu betrachtet die Green IS Forschung IT-induzierte Phänomene und Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der ökologischen Auswirkungen von sozio-ökonomischen und sozio-technischen Systemen führen (Loeser, 2013; vom Brocke et al., 2012). Die in der Literatur beschriebenen Green IS Phänomene und Maßnahmen umfassen die Reduzierung der ökologischen Auswirkungen dieser Systeme durch Delokalisierung (Seidel et al., 2013), durch eine Verbesserung des Input/Output Managements (Hilty et al., 2006; Seidel et al., 2013), durch eine Reflexion ökologisch relevanten Verhaltens (Seidel et al., 2013; Stolze et al., 2011), durch eine Demokratisierung des Zugangs zu Umweltinformationen (Seidel et al., 2013), durch Dematerialisierung (Hilty et al., 2006) sowie durch eine Vermeidung von Rebound Effekten (Hilty et al., 2006). Die Systemgrenzen zur Beschreibung dieser Phänomene und Maßnahmen werden dabei in drei Abstufungen unterschiedlich weit gefasst. Verbreitet sind zum einen Ansätze, die neben einer Berücksichtigung der betrieblichen IT auch organisatorische Maßnahmen im Sinne einer umweltfreundlichen IT-Governance umfassen (Loeser et al., 2013, 2012; Stolze et al., 2011). Zum anderen werden die Systemgrenzen auch auf die betrieblichen Prozesse jenseits der IT erweitert, um die Wirkung von Green IT auf die umge-

benden physischen Systeme zu berücksichtigen (vom Brocke et al., 2013; Watson et al., 2010). Am weitesten greifen Ansätze, die auch Einflussgrößen und Auswirkungen von Informationssystemen auf den Gesamtmarkt bzw. auf das gesamtgesellschaftliche Verhalten umfassen (Elliot, 2011; Hilty et al., 2006; Melville, 2010; R. T. Watson et al., 2012a). Im Zusammenhang mit diesen unterschiedlichen Definitionen der Systemgrenzen zur Beschreibung von Green IS Phänomenen und Maßnahmen verwenden Hilty et al. (2006) auch die Bezeichnung *Systeme erster, zweiter und dritter Ordnung*.

Obwohl die Reduzierung ökologischer Auswirkungen ein zentrales Konzept der Green IS Forschung ist (vom Brocke et al., 2013), herrscht ebendort nur eine vage Vorstellung von *Umweltwirkungen* oder *ökologischen Auswirkungen*. Jenkin, Webster, & McShane (2011) bemerken hierzu: “Yet, despite acknowledging its importance, much of the literature in this area is conceptual or the meaning of the term [environmental impact] is left ambiguous. For instance, numerous articles suggest reducing and understanding organizational environmental impacts or stress the importance of organizations having a low negative environmental impact without detailing what is meant by environmental impact.” Besonders die Quantifizierung positiver ökologischer Auswirkungen von Informationssystemen jenseits von Energieverbräuchen und CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde bisher von der Green IS Forschung vernachlässigt. Melville (2010) schreibt hierzu: “Research is needed to examine and quantify this effect [Anm.: Transformation von Transport- und Logistikprozessen durch Informationssysteme], including the efforts of equipment producers to produce greener equipment”. Somit ist ein Bedarf der Green IS Forschung nach Konzepten, Metriken und Methoden zur Beschreibung und Messung von Umweltwirkungen festzustellen. Dies scheint auf den ersten Blick verwunderlich, da in der nahe verwandten Green IT Literatur bereits Konzepte, Metriken und Methoden zur Messung der Umweltwirkungen bzw. der ökologischen Auswirkungen von IT beschrieben sind (vgl. Bonvoisin, Lelah, Mathieux, & Brissaud, 2012; Boyd, Horvath, & Dornfeld, 2009, 2010; Maga, Hiebel, & Knermann, 2012; Moberg, Borggren, & Finnveden, 2011; Moberg, Johansson, Finnveden, & Jonsson, 2010; Taylor & Koomey, 2008; Weber, Koomey, & Matthews, 2009; Weber, 2012). Die Green IT Literatur macht sich dabei Konzepte, Metriken und Methoden aus dem Bereich der Umweltforschung und der Ingenieurwissenschaften zu Nutze, die bisher jedoch nur in Ansätzen auf die Green IS Forschung übertragen wurden.

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich aus der Definition der Systemgrenzen der Green IS Forschung. So geht die Beschreibung von Green IS Phänomenen und Maßnahmen über die

Betrachtung rein informationeller Problemstellungen hinaus und umfasst im Speziellen die Betrachtung hybrider Systeme aus informationellen und physischen Systemelementen (Loeser, 2013; R. T. Watson et al., 2012b). Traditionelle Green IS Forschungsansätze bleiben jedoch in der Regel auf informationelle Systemelemente beschränkt (vgl. Marett, Otondo, & Taylor, 2013; Seidel et al., 2013; Wati & Koo, 2012). Watson, Lind, et al., (2012) bemerken hierzu: „IS scholars have generally paid little attention to the physical systems of our world. This has been left to engineers, but we have information management and analysis skills they lack, and they have engineering knowledge in which we are highly deficient. [...] Jointly, through modeling and simulation, we can create a new class of information systems that aims to optimize from an ecological perspective our built environment.“ Da in verwandten Forschungsbereichen der Wirtschaftsinformatik bzw. des Information Systems Research die Anwendung von Simulationen zur Beschreibung von Systemverhalten bereits Eingang gefunden hat, z. B. durch Jacob et al. (2010) und Schiefer et al. (2007), wäre zu erwarten, dass auch in der Green IS Forschung Ansätze zur Simulation der beschriebenen hybrider Systeme aus informationellen und physischen Systemelementen unternommen wurden. Nach Watson, Lind, et al., (2012) hat eine Verfolgung dieser Ansätze paradoxerweise bisher nicht stattgefunden, obwohl die Nutzung von Simulationen zur Beschreibung physischer Systemelemente eine stärkere Berücksichtigung dynamischer Wechselwirkungen zwischen physischen und informationellen Systemen erlauben würde.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Inauguraldissertation ist es, zum Verständnis der in der Green IS Forschung beschriebenen Phänomene/Maßnahmen beizutragen. Hierzu ist, wie in Anlehnung an Watson, Lind et al. (2012), Jenkin, Webster, & McShane (2011) und Melville (2010) eingangs beschrieben, erstens eine Schärfung des Verständnisses von Umweltwirkungen im Sinne einer messbaren Größe und zweitens ein besseres Verständnis der dynamischen Wechselwirkungen zwischen informationellen und physischen Systemelementen durch die Anwendung von Simulationsstudien notwendig. Nach vom Brocke et al. (2013) kann ein solches Verständnis im Sinne der Green IS Forschung nicht alleine durch wissenschaftliche Theoriebildung erreicht werden. Vielmehr solle die wissenschaftliche Theoriebildung mit einer Anwendung interdisziplinärer Methoden und der Gestaltung von Artefakten mit gesellschaftlichem Nutzen einhergehen.

---

Die vorliegende Inauguraldissertation befasst sich daher mit der Adaption und Weiterentwicklung von Instrumenten, Methoden und Modellen zur Beschreibung der ökologischen Auswirkungen von Informationssystemen sowie der Modellierung dynamischer Wechselwirkungen zwischen informationellen und physischen Systemelementen. Dabei werden Ansätze aufgegriffen, die im Rahmen der Green IT Forschung bereits zur Untersuchung von betrieblichen IT Systemen innerhalb engerer Systemgrenzen angewendet wurden. Hierzu gehören insbesondere Life Cycle Assessments und Carbon Footprints (ISO, 2013, 2009a) sowie ereignisdiskrete Simulationen (Brito et al., 2011). Durch die Verknüpfung dieser Ansätze mit Green IS Phänomenen und Maßnahmen als Untersuchungsgegenstand erhofft sich der Autor einen tieferen Einblick in die ökologische Wirkung von Informationssystemen. Insbesondere die Nutzung von umweltwissenschaftlichen Metriken (z. B. CO<sub>2</sub>-Äquivalente, Wasserfußabdruck) sowie die Modellierung unterschiedlicher Szenarien im Rahmen von Simulationsstudien soll es dabei ermöglichen, die Wirksamkeit von Green IS Phänomenen und Maßnahmen in Bezug auf die ökologischen Auswirkungen hybrider Systeme nachzuweisen. Die Modellierung der Wechselwirkungen zwischen physischen und informationellen Systemelementen erlaubt außerdem die Beobachtung dynamischer Effekte, welche über die bisher beschriebenen Green IS Phänomene/Maßnahmen hinausgehen, so z. B. die Verschiebung von ökologischen Auswirkungen in andere Wirkungskategorien.

## 2 Wissenschaftlicher Beitrag

### 2.1 Übersicht über die ausgewählten Forschungsleistungen

Im folgenden Abschnitt werden die erbrachten Forschungsleistungen des vorliegenden Dissertationsvorhabens dargestellt. Die aufgenommenen Beiträge sind in Tab. 1 aufgeführt. Neben den aufgenommenen Beiträgen wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten weitere Arbeiten verfasst, die im Rahmen der vorliegenden Inauguraldissertation nicht berücksichtigt wurden. Hierzu gehören Beiträge mit geringem Bezug zum vorgestellten Themenbereich sowie Beiträge, die zum Zeitpunkt der Einreichung der Dissertation nicht mehr den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Diskussion widerspiegeln.

Zur Einschätzung der Qualität der aufgenommenen Beiträge wurde eine Verortung gemäß Thomson Reuters Impact Factor<sup>1</sup> (nur Journalbeiträge) sowie gemäß des Jourqual 3 Rankings des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (VHB)<sup>2</sup> und der Orientierungsliste der Wissenschaftliche Kommission Wirtschaftsinformatik (WKWI)<sup>3</sup> vorgenommen. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass mittels Rankings nur eine grobe Bewertung der Beitragsqualität, vorwiegend methodischen Kriterien, vorgenommen werden kann (Loos et al., 2013).

| # | Beitrag   | VHB/<br>WKWI | Impact<br>Factor | Referenz   |
|---|---|--------------|------------------|--|
| 1 | Towards a Conceptual Framework for Life Cycle Assessment in Sustainable Information Systems Management                                | B/A          | -                | <b>Stiel, F., Teuteberg, F.:</b> Towards a Conceptual Framework for Life Cycle Assessment in Sustainable Information Systems Management, In: ECIS Proceedings, Utrecht, 2013.  |
| 2 | Measuring the Environmental Impact of IT/IS Solutions - A Life Cycle Impact Modelling Approach  | -/-          | 4,420            | <b>Stiel, F., Teuteberg, F.:</b> Measuring the Environmental Impact of IT/IS Solutions - A Life Cycle Impact Modelling Approach, Environmental Modelling & Software, Vol. 56 No. 11, pp. 94-104.                     |
| 3 | On the Use of Discrete Event Simulation in Green IS Research - Developing a Conceptual Framework                                      | B/A          | -                | <b>Stiel, F.:</b> On the Use of Discrete Event Simulation in Green IS Research - Developing a Conceptual Framework, In: ECIS Proceedings, Tel Aviv, 2014.  |
| 4 | Enhancing Manufacturing and Transportation Decision Support Systems with LCA Add-ins  | B/-          | 3,844            | <b>Stiel, F., Michel, T., Teuteberg, F.:</b> Enhancing Manufacturing and Transportation Decision Support Systems with LCA Add-ins, Journal of Cleaner Production, (in press).  |
| 5 | Environmental-Oriented Information Systems Design - The Concept of Life Cycle Impact Modelling and Its Application to Cloud Computing | C/C          | -                | <b>Stiel, F., Teuteberg, F.:</b> Environmental-Oriented Information Systems Design - The Concept of Life Cycle Impact Modelling and Its Application to Cloud Computing, In: Informatik Proceedings, Stuttgart, 2014. |
| 6 | On the Environmental Footprint of an IS Conference  | C/C          | -                | <b>Stiel, F., Teuteberg, F.:</b> On the Environmental Footprint of an IS Conference, In: Informatik Proceedings, Cottbus, 2015.  |
| 7 | Web-Portal und Reifegradmodell für ein Benchmarking des betrieblichen Umweltmanagements   | C/C          | -                | <b>Frehe, V., Stiel, F., Teuteberg, F.:</b> Web-Portal und Reifegradmodell für ein Benchmarking des betrieblichen Umweltmanagements, In: Informatik Proceedings, Koblenz, 2013.                                      |

Tab. 1: Überblick über die aufgenommenen Beiträge

<sup>1</sup> Verfügbar unter <http://admin-apps.webofknowledge.com/JCR/JCR?SID> [letzter Zugriff 21.10.2015]

<sup>2</sup> Verfügbar unter <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-3/gesamtliste/> [letzter Zugriff 21.10.2015]

<sup>3</sup> Verfügbar unter <http://wi.vhbonline.org/zeitschriftenrankings/> [letzter Zugriff 21.10.2015]

Der Verfasser der vorliegenden Inauguraldissertation hat zu allen Beiträgen wesentliche wissenschaftliche Leistungen erbracht. Im Verlauf des Dissertationsvorhabens wurde er dabei durch Prof. Dr. Frank Teuteberg begleitet. Prof. Dr. Frank Teuteberg war bei den Arbeiten 1, 2 sowie 4-7 wesentlich an der inhaltlichen und methodischen Ausrichtung insbesondere durch eine kritische Reflexion der Beiträge beteiligt. Am Lektorat der englischsprachigen Beiträge waren Frau Marita Imhorst sowie Frau Ruth Bonazza beteiligt. Der Verfasser wurde außerdem durch die Herren Adrian Fietz, Michael Pelka und Patrik Richter durch Vorarbeiten, wie z. B. Literaturbeschaffungen und -voranalysen unterstützt. Herr Tobias Michel führte Konzeptions- und Implementierungsarbeiten sowie Softwaretests durch, die als Grundlage der Kapitel 5 (Software Architektur) und 6 (Evaluation) des Beitrags 4 genutzt wurden. Beitrag 7 entstand in Gemeinschaftsarbeit des Verfassers der vorliegenden Inauguraldissertation mit Herrn Volker Frehe. Sämtliche Kapitel des Beitrags wurden in engem Austausch der beteiligten Autoren erstellt. Die Schwerpunkte der Arbeiten von Herrn Frehe lagen dabei auf der Darstellung der Ergebnisse sowie der Aufbereitung verwandter Arbeiten, die des Verfassers der vorliegenden Inauguraldissertation auf der Darstellung der Motivation und Forschungsmethodik sowie auf der Evaluation der Ergebnisse.

## **2.2 Methodische Einordnung der Forschungsleistungen**

Zur methodischen Einordnung der Forschungsleistungen wird im folgenden die Zielstellung der vorliegenden Inauguraldissertation (siehe Abschnitt 1.2) in den Prozess des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns eingeordnet. Abb. 1 zeigt hierzu die wissenschaftliche Methode als eine Abfolge deduktiver, induktiver und gestaltender Arbeitsschritte deren Iteration zu einer Konvergenz von realweltlichen Phänomenen in ihrem Naturzustand und deren theoretischer Beschreibung führt (Gauch, 2003).



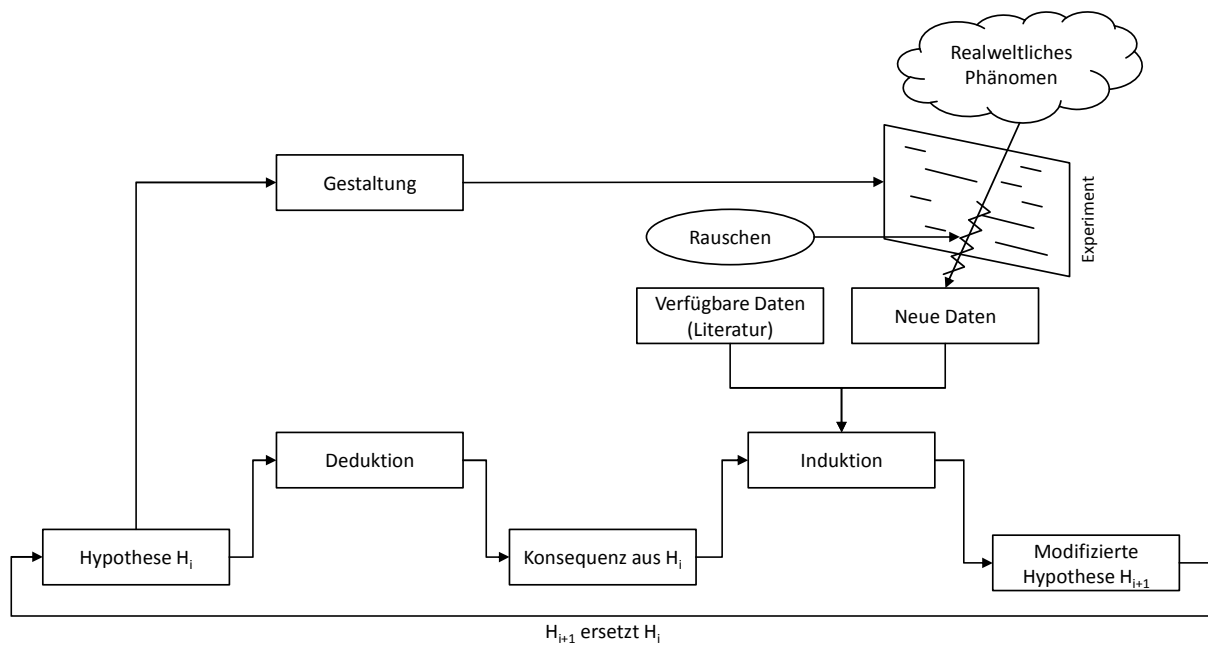


Abb. 1: Überblick der wissenschaftlichen Methode (Gauch, 2003)

Innerhalb der dargestellten wissenschaftlichen Methode befasst sich die Green IS Forschung mit der theoretischen Beschreibung realweltlicher Phänomene, die einen Zusammenhang zwischen der Wirkung von Informationssystemen und der Reduzierung von ökologischen Auswirkungen sozio-ökonomischer sowie sozio-technischer Systeme darstellen (Loeser, 2013; vom Brocke et al., 2012). Die experimentelle Untersuchung dieser Zusammenhänge ist jedoch kritisch, wenn sie wie von Jenkin et al., (2011) beschrieben auf einer unscharfen konzeptionellen Beschreibung dieser ökologischen Auswirkungen beruht.

Als Beispiel einer unscharfen Beschreibung der ökologischen Auswirkungen von sozio-ökonomischen Systemen sei an dieser Stelle die Grundannahme der Energieinformatik genannt, die eine Reduzierung der ökologischen Auswirkungen eines Systems durch eine Reduzierung des Energieverbrauchs operationalisiert (Watson et al., 2010). Obwohl diese Operationalisierung in vielen Fällen zutreffen mag, vernachlässigt sie den Einfluss physischer Wirkungszusammenhänge, z. B. die Art der Energieerzeugung, auf den Zusammenhang von Energieverbrauch und ökologischer Auswirkung in Form von  $\text{CO}_2$ -Emissionen. So kann ein auf dieser Grundannahme basierendes Experiment genau dann zu falschen Ergebnissen führen, wenn eine mit geringer ökologischer Belastung erzeugte hohe Energiemenge (z. B. aus Windkraft) durch eine geringe Energiemenge mit hoher ökologischer Belastung (z. B. aus Kohlekraft) substituiert wird. Somit liegt die wissenschaftliche Aufgabe der vorliegenden Inauguraldissertation in der Gestaltung geeigneter Instrumente zur experimentellen Untersu-

chung von Green IS Phänomenen, welche dieses Rauschen einer fehlenden Berücksichtigung physischer Wirkungszusammenhänge reduzieren.

In der Wirtschaftsinformatik sowie im Information Systems Research wird der enge Zusammenhang zwischen der Gestaltung von Artefakten und dem damit verbundenen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bereits seit mehr als 40 Jahren intensiv diskutiert. So bemerken Newell & Simon (1972): "Each new program that is built is an experiment. It poses a question to nature, and its behavior offers clues to the answer." Insbesondere in der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik ist mit der Gestaltung von Artefakten (March and Smith, 1995; Simon, 1996) darüber hinaus auch ein konkreter Nutzen für Wirtschaft und Gesellschaft verbunden (vgl. Österle et al., 2011). Dabei ist vor allem der Bau von Prototypen auf Basis argumentativ-deduktiver Analysen eine Besonderheit der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik (Wilde and Hess, 2007). Nach Hevner, March, Park, & Ram (2004) sind gestaltungsorientierte Methoden notwendig, um den Forschungszyklus zur Theoriebildung zu schließen (siehe Abb. 2) und zur Konvergenz von realweltlichen Phänomenen im IT-Kontext und ihrer theoretischer Beschreibung beizutragen. Der Forschungszyklus umfasst somit neben Aktivitäten zum Entdecken und Begründen von Theorie auch Aktivitäten zur Erstellung und Evaluation von Artefakten (March and Smith, 1995).

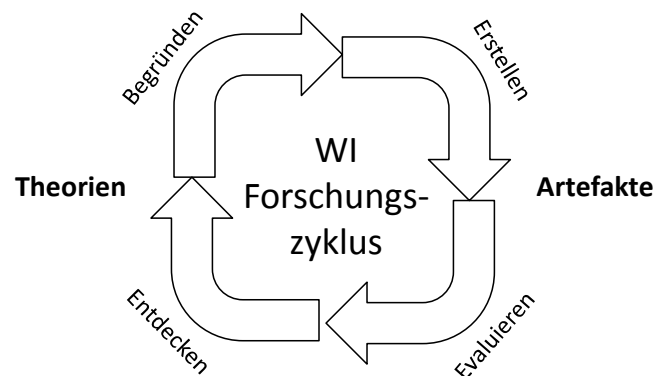


Abb. 2: Forschungszyklus der Theoriebildung in der Wirtschaftsinformatik (Hevner et al., 2004; March and Smith, 1995; Niehaves and Becker, 2006)

Da das Ziel der vorliegenden Inauguraldissertation vor allem in der Gestaltung geeigneter Instrumente zur experimentellen Untersuchung von Green IS Phänomenen bestand, umfassen die einzelnen Beiträge zum Großteil Forschungsaktivitäten zur Erstellung und Evaluation von Artefakten (Beiträge 1-5, Beitrag 7). Darüber hinaus wurde in Beitrag 6 der Forschungszyklus durch die Anwendung der erstellten Instrumente zur quantitativen Untersuchung mehrerer Green IS Phänomene mittels Simulation geschlossen. Ein Überblick über die in den Beiträ-

gen 1-7 durchgeführten Forschungsaktivitäten im Rahmen des Forschungszyklus der Wirtschaftsinformatik sowie der dabei erzielten Ergebnisse ist in Tab. 2 dargestellt.

|                      |           | Forschungsaktivitäten |               |           |           |
|----------------------|-----------|-----------------------|---------------|-----------|-----------|
|                      |           | Erstellen             | Evaluieren    | Entdecken | Begründen |
| Forschungsergebnisse | Konstrukt | 1                     | 1             | 6         | 6         |
|                      | Modell    | 1, 2, 3, 5, 7         | 1, 2, 4, 5, 7 |           |           |
|                      | Methode   | 1, 3, 4, 5            | 4, 5          |           |           |
|                      | Instanz   | 4, 7                  | 4, 7          |           |           |

Tab. 2: Übersicht der in den Beiträgen durchgeführten Forschungsaktivitäten

### 3 Ergebnisse

Die inhaltliche Beziehung der Beiträge die dieser kumulativen Dissertation zu Grunde liegen ist in Abb. 3 in Form eines Ordnungsrahmens dargestellt. Der in der ersten Zeile dargestellte Verlauf in drei Phasen entspricht dabei der logischen Abfolge der Beiträge und nicht der zeitlichen Abfolge der Publikationsdaten. Die zweite Zeile enthält, neben einem Verweise auf die einzelnen Beiträge gemäß Tab. 1, einen Hinweis auf das Ergebnis des Beitrags sowie des gewählte Bezugssystem, dessen Elemente durch das Ergebnis beschrieben werden. Die dritte Zeile verweist auf die angewendeten Forschungsmethoden der Einzelbeiträge.

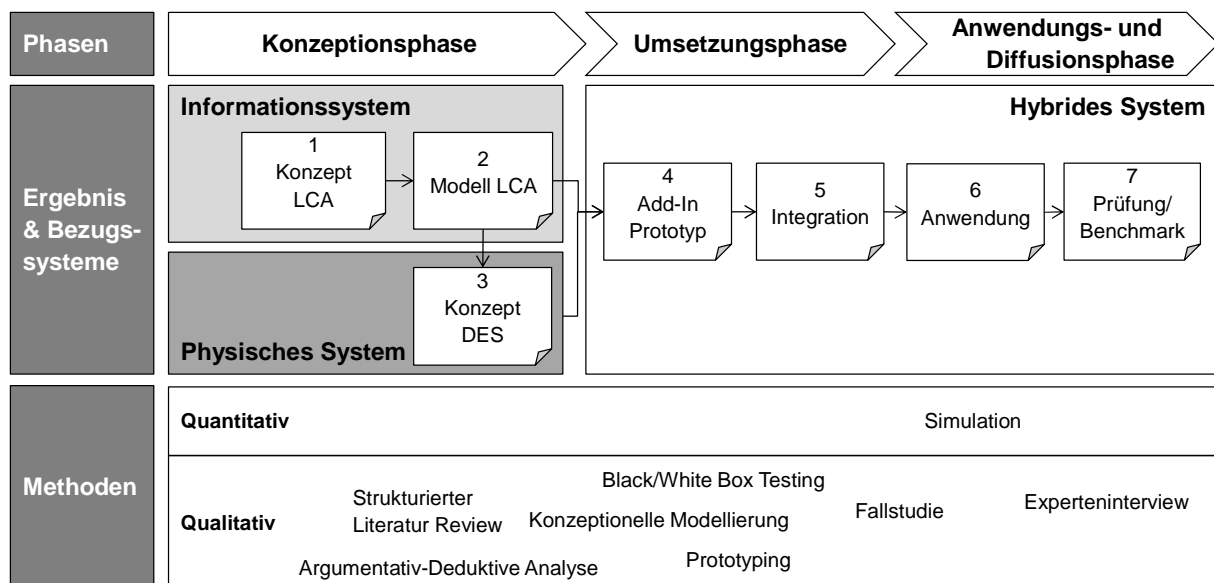


Abb. 3: Ordnungsrahmen des Dissertationsvorhabens

Die Ergebnisse der Konzeptionsphase wurden im Rahmen von drei Beiträgen dokumentiert. Hauptbestandteil der Konzeptionsphase war die Gestaltung und Beschreibung von Konstrukten und Rahmenwerken.

Beitrag 1 befasst sich mit der Entwicklung eines konzeptionellen Rahmenwerks zur Quantifizierung der ökologischen Auswirkungen von Informationssystemen. Das Rahmenwerk baut auf Konzepten zur Erstellung von Life Cycle Assessments (Finnveden et al., 2009; ISO, 2009a) sowie zur Beschreibung von Informationssystemen (Pal, 2008; Zarnekow et al., 2006) auf. Basierend auf den Ergebnissen einer Literaturanalyse werden bestehende Konzepte adaptiert, um eine generische Beschreibung der Funktionalitäten von Informationssystemen im Rahmen der Durchführung von Life Cycle Assessments zu ermöglichen. Zwei detailliertere Teilrahmenwerke widmen sich außerdem der Definition funktioneller Einheiten sowie der Definition des Untersuchungsrahmens von Life Cycle Assessments (vgl. Klöpffer and Grahl, 2009). Abb. 4 zeigt die Verortung der Teilrahmenwerke innerhalb der vier Phasen eines Life Cycle Assessments nach ISO 14040 (2009).

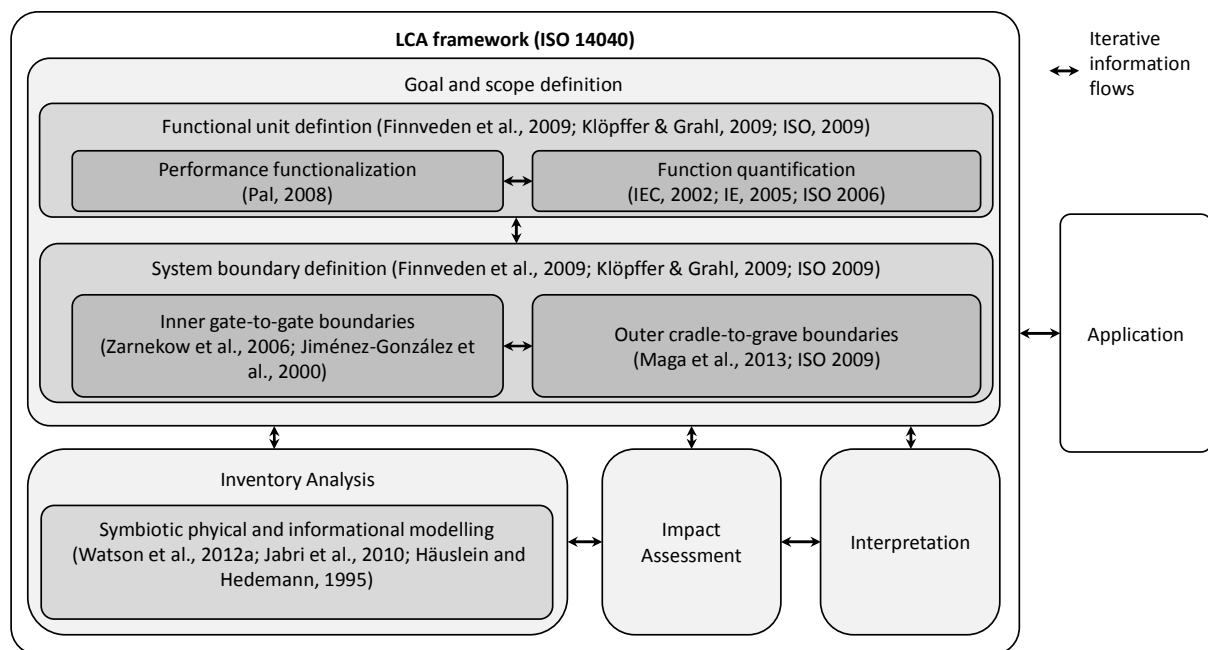


Abb. 4: Verortung der Teilrahmenwerke innerhalb eines Life Cycle Assessments

Die Evaluation des Rahmenwerkes zeigte, dass es durch dessen Anwendung ermöglicht wird Informationssysteme mit unterschiedlicher Funktionalität innerhalb eines Life Cycle Assessments abzubilden und miteinander zu vergleichen. Die dargestellten Ergebnisse des Beitrags beschränken sich auf die erste der vier Phasen eines Life Cycle Assessments, die Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens. Besonderheiten der Abbildung von Informationssystemen in den anderen Phasen werden in Beitrag 1 nicht thematisiert.

Beitrag 2 adressiert diese Lücke und erweitert das Rahmenwerk um die zweite Phase eines Life Cycle Assessments, die Sachbilanzphase. Hierzu greift der Beitrag Ideen zur Abbildung hybrider Systeme (R. T. Watson et al., 2012b) sowie Ansätze zur Modellierung von Energie- und Materialflüssen mittels Petri-Netzen (Möller and Rolf, 1995; Valk, 2004) auf. Darauf aufbauend wird ein Meta-Modell zur Berücksichtigung von Informationsflüssen innerhalb der Sachbilanzphase entwickelt (siehe Abb. 5).

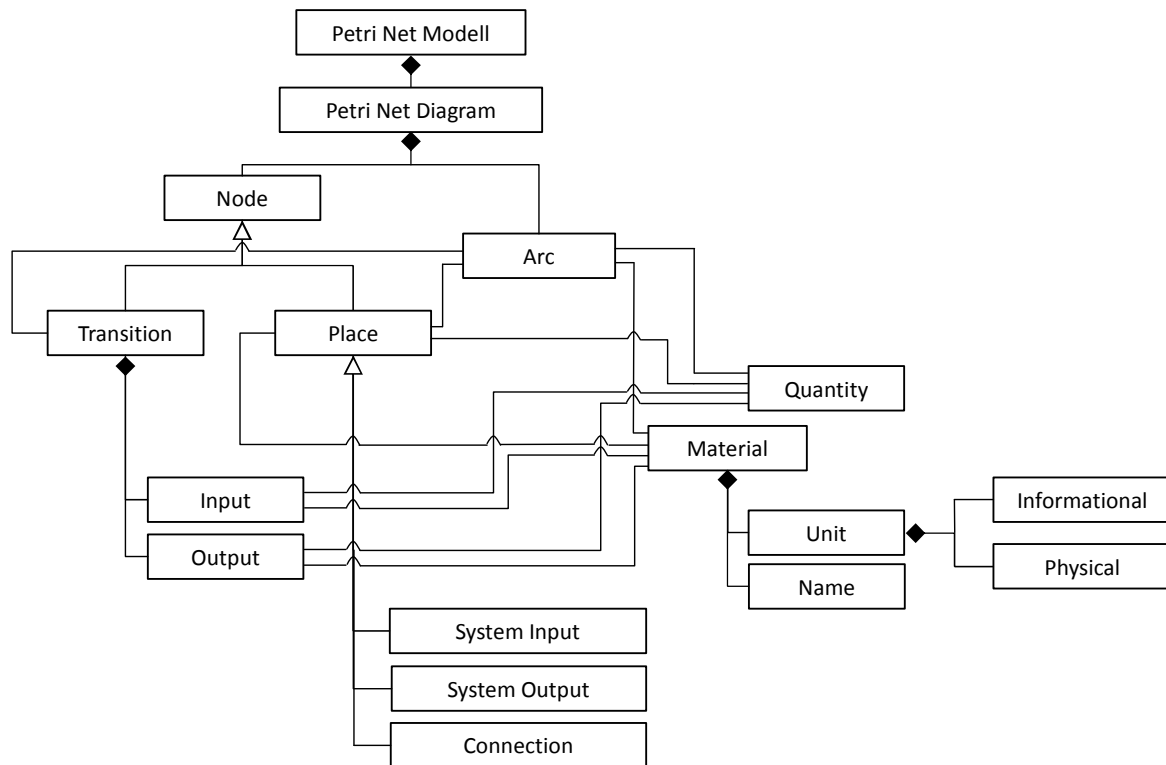


Abb. 5: Meta-Modell zur Erstellung von Sachbilanzen hybrider Systeme basierend auf (Häuslein and Hedemann, 1995; Jabri et al., 2010; Möller and Rolf, 1995; R. T. Watson et al., 2012b)

In der Evaluation konnte gezeigt werden, dass durch eine Einbindung von Informationsflüssen in Energie- und Materialflussmodelle die Kausalbeziehungen zwischen den informationellen Merkmalen von Informationssystemen und ihren ökologischen Auswirkungen feingranularer abgebildet werden können, als dies im Rahmen klassischer Sachbilanzmodelle möglich ist. Rückwirkungen physischer Systemelemente auf Informationssysteme wurden in Beitrag 2 zunächst noch nicht betrachtet.

In Beitrag 3 wird diese verbliebene Lücke in der Abbildung hybrider Systeme durch ein Konzept zur Modellierung der dynamischen Rückwirkungen physischer Systemelemente auf Informationssysteme geschlossen. Ausgehend von Colemans (1986) und Melvilles (2010) Mikro-Makro-Rahmenwerk wurde ein umfassendes Rahmenwerk zur Abbildung der wechsel-

seitigen Beziehungen zwischen informationellen und physischen Systemelementen (entities) entwickelt (siehe Abb. 6). Darüber hinaus wird im Beitrag ein methodisches Toolkit zur Abbildung hybrider Systeme abgeleitet.

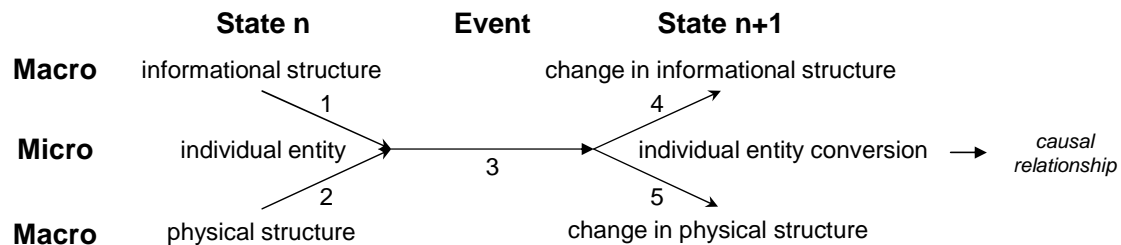


Abb. 6: Rahmenwerk zur Abbildung hybrider Systeme

Beitrag 3 schließt damit die Konzeptionsphase der vorliegenden Inauguraldissertation ab. Im Rahmen der Umsetzungsphase beschäftigten sich in der Folge die Beiträge 4 und 5 mit Umsetzung der beschriebenen Konzepte in einen ausführbaren Softwareprototyp sowie mit einer Einbindung der Ergebnisse von Life Cycle Assessments in betriebliche Entscheidungsprozesse.

Im Rahmen von Beitrag 4 werden die beschriebenen Konzepte zur Entwicklung eines simulationsbasierten Softwareprototyps zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt. Der Beitrag bezieht sich ebenso wie Beitrag 2 auf die Erstellung von Sachbilanzen. Der Prototyp verbindet Bestandteile kommerzieller Life Cycle Assessment Tools und Bestandteile von Tools zur ereignisdiskreten Simulation mittels eines Add-Ins für Simulationssoftwaretools. Diese Kombination ermöglicht zum einen die realitätsnahe Modellierung physischer Systeme, z. B. die Modellierung von Produktionsstätten oder Logistiksystemen, durch Nutzung ereignisdiskreter Simulationsalgorithmen sowie die Nutzung einer grafischen Benutzeroberfläche des angebundenen Simulationstools. Zum anderen ermöglicht der Prototyp die Nutzung von Sachbilanzdatenbanken und damit eine Modellierung der ökologischen Auswirkungen der abgebildeten Systeme. Zur Generalisierung des erstellten Softwareprototyps wurden die typischen Anwendungsfälle, Aktivitäten und Datenstrukturen eines Life Cycle Assessment Add-Ins für simulationsbasierte Softwaretools mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML) (Object Management Group, 2013) im Beitrag dargestellt. Aus wissenschaftlicher Sicht wird durch Beitrag 4 die Lücke zwischen der traditionell statischen Modellierung im Rahmen kommerzieller Life Cycle Assessment Tools und den dynamischen Modellen simulationsbasierter Softwaretools zur Entscheidungsunterstützung geschlossen. Aus Anwendersicht besteht im Vergleich zur Nutzung kommerzieller Tools ein Mehrwert dadurch, dass die Erstellung des Sach-

bilanzmodells im Rahmen der vorhandenen und bekannten Benutzeroberfläche des Simulationsstools umgesetzt werden kann.

Während die Beiträge 1-4 primär die ersten beiden Phasen der Durchführung eines Life Cycle Assessments behandeln, zielt Beitrag 5 auf die dritte Phase, die Wirkungsabschätzung, ab. Aufbauend auf der Nutzung von Potenzialmodellen bei der Gestaltung von betrieblichen Informationssystemen (Thomas and vom Brocke, 2009; vom Brocke et al., 2009) wird im Beitrag die Einbeziehung der Umweltwirkungen in den betrieblichen Entscheidungsprozess erörtert. Die Grundidee des Beitrags ist in Abb. 7 schematisch dargestellt. Ausgehend von einer Beschreibung des Ist-Zustandes eines Geschäftsprozesses (As-Is-Model) werden unterschiedliche Handlungsalternativen anhand von drei Modellen (Life Cycle Impact Models) dargestellt. Neben einer Beschreibung der Auswirkungen einer Handlungsalternative auf den Geschäftsprozess (Factual Model) sowie der Auswirkungen auf die physische Umwelt (Inventory Model) wird dabei auch ein resultierendes Wirkungsmodell (Inventory Model) genutzt, um die indirekten ökologischen Auswirkungen der potentiellen Handlungsalternativen zu beschreiben.

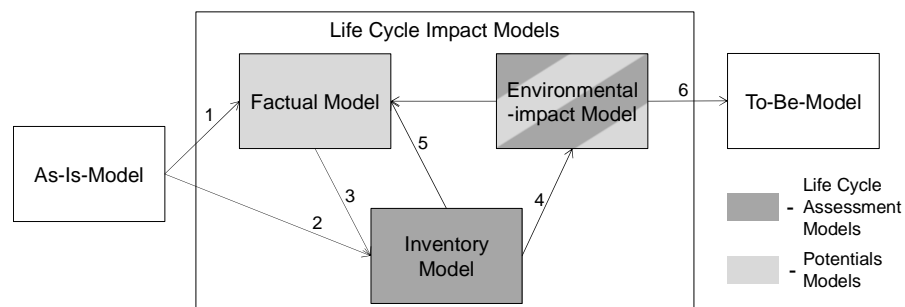


Abb. 7: Grundidee einer Einbindung von Wirkungsmodellen in betriebliche Entscheidungsprozesse

Durch die Einbeziehung der Wirkungsmodelle wird es dem Entscheider so ermöglicht, die ökologischen Auswirkungen seiner Handlungsalternativen zu berücksichtigen. Als Anwendungsbeispiel wird im Beitrag die Gestaltung eines Informationssystems zur Unterstützung des Redaktionsprozesses eines Zeitungsverlages beschrieben.

Eine vertiefende Anwendung von Life Cycle Assessments wird im Rahmen der letzten Phase der vorliegenden Inauguraldissertation, der Anwendungs- und Diffusionsphase, vorgenommen. Zwei Beiträge beschäftigen sich zum einen mit der Generierung von neuem Wissen im Bereich der Green IS Forschung und zum anderen mit dem Anwendungskontext von Life Cycle Assessments im betrieblichen Umweltmanagement.

In Beitrag 6 werden die ökologischen Auswirkungen einer papierlosen Konferenz durch Anwendung von Life Cycle Assessments untersucht. Dabei werden durch die Modellierung

unterschiedlicher Gestaltungsalternativen die Green IS Phänomene/Maßnahmen Dematerialisierung und Delokalisierung durch Informationssysteme untersucht. Der Beitrag zeigt, dass insbesondere Delokalisierungsmaßnahmen zu einer wesentlichen Reduzierung der Umweltwirkung von Konferenzen beitragen können. Darüber hinaus konnte beobachtet werden, dass Dematerialisierungsmaßnahmen immer genau dann zu einer signifikanten Reduzierung von Umweltwirkungen beitragen, wenn auch korrespondierende Materialströme von den Materialeinsparungen betroffen sind. So entfallen im Rahmen einer papierlosen Konferenz beispielsweise die obligatorischen Tragetaschen für den Transport der Konferenzmaterialien, was zu zusätzlichen positiven ökologischen Effekten führt. Im dargestellten Szenario übertrafen diese Einsparungen sogar die beabsichtigten positiven Effekte durch die Einsparungen des Papiers. Durch die Modellierung konnte außerdem ein weiteres Green IS Phänomen, das *Burdon Shifting durch Informationssysteme*, im Sinne einer Verschiebung von Umweltwirkungen in andere Wirkungskategorien, z. B. eine Verbesserung der Treibhausgasbilanz bei gleichzeitiger Verschlechterung des Wasserfußabdrucks, beschrieben werden. So konnte anhand eines papierlosen Konferenzszenarios gezeigt werden, dass Green IS Maßnahmen diese Verschiebungen begünstigen können.

Beitrag 7 ist auf den unternehmerischen Kontext von Life Cycle Assessments im Rahmen des betrieblichen Umweltmanagements ausgerichtet. Ziel des Beitrags war es, den formalen Rahmen des betrieblichen Umweltmanagements aufzuarbeiten, zu abstrahieren und der Praxis durch die Implementierung eines Web-Portals leichter zugänglich zu machen. Die Evaluation anhand von Experteninterviews zeigt zum einen, dass die in der Forschung zum Thema Green IS erarbeiteten Modelle in der Lage sind, vorhandenes theoretisches Wissen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit für die wirtschaftliche Praxis anwendbar zu machen. Zum anderen zeigt die Arbeit, in welchem formalen Kontext Life Cycle Assessments in der Unternehmenspraxis eingesetzt werden können.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Implikationen**

#### **4.1.1 Implikationen für die Wissenschaft**

Die Implikationen der vorliegenden Inauguraldissertation lassen sich zum einen aus der Sicht der einzelnen Beiträge für die jeweils dort abgeleiteten Forschungslücken und zum anderen



aus der Gesamtbetrachtung aller Beiträge ableiten. An dieser Stelle soll nur auf die Implikationen der Gesamtbetrachtung eingegangen werden. Der Fokus dieser Arbeit lag gemäß Kapitel 1.2 erstens auf einer Schärfung des Verständnisses der Umweltwirkung von Informationssystemen sowie zweitens auf der Beschreibung von dynamischen Wechselwirkungen zwischen informationellen und physischen Systemelementen.

Kernbeiträge zu einer Schärfung des Verständnisses der Umweltwirkungen im Sinne von Jenkin, Webster, & McShane (2011) können vor allem aus den Beiträgen 1, 2, 5 und 6 abgeleitet werden. Dabei konnte vor allem eine starke Einbindung von Life Cycle Assessment Methoden in die Green IS Forschung, wie von Melville (2010) gefordert, erreicht werden. So wurden in Beitrag 1 Metriken zur leistungsabhängigen Quantifizierung der Umweltwirkung von Informationssystemen durch Nutzung von Life Cycle Assessments entwickelt und evaluiert. Beitrag 2 befasst sich insbesondere mit einer Veränderung von Stoff- und Energieströmen durch Informationssysteme. Beitrag 5 und 6 erörtern Anwendung von Wirkungsabschätzungsmethoden. Aus dem Vorgehen und den Ergebnisse der Beiträge 1, 2, 5 und 6 kann insgesamt das folgende Verständnis der Umweltwirkung von Informationssystemen abgeleitet werden:

*Eine Umweltwirkung eines Informationssystems ist eine Veränderung von Stoff- oder Energieströmen, welche durch die Speicherung, Übertragung oder Verarbeitung von Informationen hervorgerufen wird und durch Wirkungsabschätzungsmethoden quantifiziert werden kann.*

Beitrag 1, 2 und 5 bilden darüber hinaus durch die Bereitstellung von Artefakten zur Modellierung und Simulation eine Basis für die empirische Untersuchung von Green IS Phänomenen und Maßnahmen. Im Rahmen von Beitrag 6 wird ein Teil dieser Artefakte angewendet, um die durch Seidel et al. (2013) und Hilty et al. (2006) beschriebenen Green IS Phänomene, *Delokalisierung* und *Dematerialisierung*, zu beschreiben. Darüber hinaus konnte ein weiteres Phänomen, das *Burden Shifting durch Informationssysteme*, beobachtet und beschrieben werden.

Kernbeiträge zur Diskussion der Beschreibung dynamischer Wechselwirkungen zwischen informationellen und physischen Systemelementen (R. T. Watson et al., 2012b) wurden durch die Beiträge 2, 3 und 4 geleistet. Beitrag 2 bildet dabei die Grundlage für eine Berücksichtigung von Informationsflüssen im Rahmen der Sachbilanzphase von Life Cycle Assessments. Durch Beitrag 3 und 4 wurden der wissenschaftlichen Community darüber hinaus Artefakte zur Beschreibung hybrider Systeme bereitgestellt. Die Artefakte erlauben es, hybride Systeme

durch Anwendung ereignisdiskreter Simulationsalgorithmen abzubilden und im Hinblick auf ihre Umweltwirkung zu analysieren. Sie bilden damit die Grundlage für Simulationsstudien zur Untersuchung der Umweltwirkung hybrider Systeme. Beitrag 4 konnte zeigen, dass eine Modellierung hybrider Systeme insbesondere dann sinnvoll ist, wenn dynamischen Wechselwirkungen zwischen den informationellen und physischen Systemelementen existieren.

#### **4.1.2 Implikationen für Gesellschaft und Unternehmenspraxis**

Implikationen der vorliegenden Inauguraldissertation für die Unternehmenspraxis, bzw. die Praxis gesellschaftlicher Akteure wie etwa der Politikberatung oder der Verbandsarbeit, resultieren vor allem aus den anwendungsorientierten Beiträgen sowie aus der Dokumentation der entwickelten Artefakte. So bietet sich insbesondere die Nutzung und Weiterentwicklung des entwickelten LCA Add-Ins in der Praxis an. Beitrag 4 zeigt, dass der gewählte Ansatz einer Nutzung von LCA Add-Ins mittelfristig zu erheblichen Einsparungen im Vergleich zu den am Markt vorhandenen Stand-alone Softwarelösungen führen kann. Diese Einsparungen sind vor allem auf einen geringeren Personal- und Schulungsbedarf zurückzuführen.

Weitere Implikationen für das betriebliche Umweltmanagement ergeben sich aus Beitrag 7. Das im Beitrag dokumentierte Reifegradmodell ermöglicht es Unternehmen, ihre eigenen Umweltaktivitäten vor dem Hintergrund aktueller Standards (vgl. EU, 2009; ISO, 2009b) einzuordnen. Darüber bietet das implementierte Webportal die Möglichkeit eines anonymen Benchmarks mit anderen teilnehmenden Unternehmen. In ihrer Gesamtheit stellen die Beiträge außerdem eine Grundlage für die Entwicklung und Erweiterung der aktuellen (Branchen-) Standards und Leitfäden dar.

## **4.2 Limitationen und Ausblick**

Die gewählten Forschungsmethoden und Forschungsergebnisse unterliegen sowohl innerhalb der Einzelbeiträge wie auch in ihrer Gesamtbetrachtung einigen Limitationen. Lediglich die Limitationen der Gesamtbetrachtung der vorgestellten Arbeiten sollen jedoch an dieser Stelle vertieft werden.

Zunächst kann es als Limitation der Arbeit angesehen werden, dass keine empirischen Untersuchungen zu Einstellungen und Erwartungen potentieller Nutzer der entwickelten Artefakte durchgeführt wurden. Die an die Artefakte gerichteten Anforderungen sind außerdem stark literaturbasiert. Diese Limitationen sind zum größten Teil darauf zurückzuführen, dass die Artefakte sich vorwiegend an ein spezialisiertes Publikum richten. Vorwiegend werden mit

den Artefakten Nutzer im betrieblichen Umweltmanagement sowie Life Cycle Assessment Spezialisten in Wissenschaft, anwendungsorientierter Forschung und Unternehmenspraxis adressiert. Aufgrund dieses begrenzten Adressatenkreises wurden Interviews, Fallstudien sowie White-Box Tests zur Evaluation eingesetzt. Im Bereich der Anforderungserhebung wurde bereits eine Vielzahl an Anforderungen für Life Cycle Assessment basierte Instrumente und Methoden sowohl aus praktischer als auch wissenschaftlicher Sicht in der Literatur dokumentiert (vgl. Hilty et al., 2006; Masanet & Chang, 2014; Melville, 2010; R. T. Watson, Lind, et al., 2012). Somit lag es nahe, auf diese bereits erhobenen und dokumentierten Anforderungen zurück zu greifen.

Obwohl festzustellen ist, dass die entwickelten Artefakte die dokumentierten Anforderungen in weiten Teilen erfüllen, besteht in einigen Bereichen Bedarf nach einer Weiterentwicklung von Life Cycle Assessment Tools und es ergeben sich somit Ansätze für zukünftige Forschung. Erstens zielen die vorgestellten Beiträge in erster Linie auf die Phase der Definition von Systemgrenzen und die Durchführung von Sachbilanz-Analysen im Rahmen von Life Cycle Assessments ab. Neue Modelle und Indikatoren zur Wirkungsabschätzung wurden jedoch nicht erarbeitet. Im Hinblick auf eine stärkere Berücksichtigung von Effekten dritter Ordnung (Hilty et al., 2006) können somit nur solche Effekte erfasst und modelliert werden, die im Rahmen der Sachbilanzierung einen unmittelbaren Einfluss auf ein informationelles oder physisches System haben. Die Beschreibung von Rückwirkungen auf Konsummuster oder Nachfrageeffekte sind im Rahmen des vorgestellten Ansatzes nicht möglich. Die vorgestellten Beiträge bieten damit Anknüpfungspunkte für eine stärkere Einbindung von Sozialtheorien/Nachfragetheorien in die Wirkungsabschätzungsmodelle von Life Cycle Assessments.

## 5 Fazit

Die vorliegende Inauguraldissertation umfasst die Adaption und Weiterentwicklung von Instrumenten, Methoden und Modellen des Life Cycle Assessments für die Green IS Forschung. Durch den Einsatz unterschiedlicher Forschungsmethoden wurden Artefakte gestaltet, die sowohl einen wissenschaftlichen als auch praktisch-gesellschaftlichen Nutzen aufweisen. Darüber hinaus tragen die wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu einer Schärfung des Verständnisses der Umweltwirkungen von Informationssystemen sowie der dynamischen Wechselwirkungen zwischen Informationssystemen und physischen Systemen bei. Auf diese Weise

---

konnte, neben den bereits in der Green IS Literatur beschriebenen Effekten, auch der Effekt des Burdon Shifting durch den Einsatz von Informationssystemen beschrieben werden.

---

## Literatur

- Berl, A., Race, N., Ishmael, J., de Meer, H., 2010. Network Virtualization in Energy-Efficient Office Environments. *Computer Networks* 54, 2856–2868. doi:10.1016/j.comnet.2010.07.019
- Boehm, M., Freundlieb, M., Stolze, C., Thomas, O., Teuteberg, F., 2011. Towards an Integrated Approach for Resource- Efficiency in Server Rooms and Data Centers, in: *Proceedings of the 2011 European Conference on Information Systems*.
- Bonvoisin, J., Lelah, A., Mathieux, F., Brissaud, D., 2012. An Environmental Assessment Method for Wireless Sensor Networks. *Journal of Cleaner Production* 33, 145–154. doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.016
- Boyd, S.B., Horvath, A., Dornfeld, D., 2009. Life-Cycle Energy Demand and Global Warming Potential of Computational Logic. *Environmental Science & Technology* 43, 7303–7309. doi:10.1021/es901514n
- Boyd, S.B., Horvath, A., Dornfeld, D. a, 2010. Life-Cycle Assessment of Computational Logic Produced from 1995 through 2010. *Environmental Research Letters* 5, 1–8. doi:10.1088/1748-9326/5/1/014011
- Bringezu, S., Wittmer, D., Scharp, M., Ritthoff, M., Erren, M., Lauwigi, C., Giegrich, J., Lucas, R., Wilts, H., Steger, S., Fekkak, M., 2011. *Metallische Rohstoffe, weltweite Wiedergewinnung von PGM und Materialien für Infrastrukturen*. Wuppertal.
- Brito, T.B., Trevisan, E.F.C., Botter, R.C., 2011. A Conceptual Comparison between Discrete and Continuous Simulation to Motivate the Hybrid Simulation Methodology, in: *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 3910–3922. doi:10.1109/WSC.2011.6148082
- Castells, M., 2005. The Network Society: from Knowledge to Policy, in: Castells, M., Cardoso, G. (Eds.), *The Network Society: From Knowledge to Policy*. John Hopkins Center For Transatlantic Relations, Washington, DC, 3–22. doi:10.1002/car.1158
- Castells, M., 1996. *The Information Age: Economy, Society, and Culture, Vol. I, The Rise of the Network Society*. Wiley-Blackwell, New Jersey. doi: 10.1002/9781444319514
- Castells, M., 1997. *The Information Age: Economy, Society, and Culture, Vol. II, The Power of Identity*. Wiley-Blackwell, New Jersey. doi: 10.1002/9781444318234
- Castells, M., 1998. *The Information Age: Economy, Society, and Culture, Vol. III, End of Millenium*. Wiley-Blackwell, New Jersey. doi: 10.1002/9781444323436
- Chouinard, Y., Ellison, J., Ridgeway, R., 2011. The Sustainable Economy. *Harvard Business Review* 10, 2–12.
- Coleman, J., 1986. Social Theory, Social Research, and a Theory of Action. *American Journal of Sociology* 91, 1309–1335.

- Corbett, J., 2010. Unearthing the Value of Green IT. Proceedings of the 2010 International Conference on Information Systems.
- Dompke, M., Geibler, J. Von, Göhring, W., Herget, M., Hilty, L.M., Isenmann, R., Kuhndt, M., Naumann, S., Quack, D., Seifert, E., 2004. Memorandum Nachhaltige Informationsgesellschaft. Fraunhofer IRB, Stuttgart.
- Eickhoff, B., 1999. Gleichstellung von Frauen und Männern in der Sprache. Sprachspiegel 55, 2–6.
- Elkington, J., 1998. Partnerships from Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st-Century Business. *Environmental Quality Management* 8, 37–51. doi:10.1002/tqem.3310080106
- Elliot, S., 2011. Transdisciplinary Perspectives on Environmental Sustainability: a Resource Base and Framework for IT-enabled Business Transformation. *MIS Quarterly* 35, 197–236.
- Enquete Kommission, 1998. Konzept Nachhaltigkeit-Vom Leitbild zur Umsetzung. Final report, BT-Drucksache.
- Erek, K., Schmidt, N.-H., Glau, T., 2011. Green IT im IT-Dienstleistungszentrum Berlin, in: Zarnekow, R., Erek, K. (Eds.), *Research Papers in Information Systems Management* 6. Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin.
- EU, 2009. Eco-Management and Audit Scheme (EMAS). Europäische Union, Brüssel.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S., 2009. Recent Developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* 91, 1–21. doi:10.1016/j.jenvman.2009.06.018
- Gartner, WWF, 2008. Assessment of Global Low- Carbon and Environmental Leadership in the ICT Sector. Stamford.
- Gauch, H.G., 2003. *Scientific Method in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Häuslein, A., Hedemann, J., 1995. Die Bilanzierungssoftware Umberto und mögliche Einsatzgebiete, in: Schmidt, M., Schorb, A. (Eds.), *Stoffstromanalysen in Ökobilanzen Und Öko-Audits*. Springer, Berlin, 59–78.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S., 2004. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* 28, 75–105.
- Hilbert, M., López, P., 2011. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science* 332, 60–65. doi:10.1126/science.1200970
- Hilty, L.M., Arnfalk, P., Erdmann, L., Goodman, J., Lehmann, M., Wäger, P. A., 2006. The Relevance of Information and Communication Technologies for Environmental Sustainability – A Prospective Simulation Study. *Environmental Modelling & Software* 21, 1618–1629. doi:10.1016/j.envsoft.2006.05.007

- Hintemann, R., Fichter, K., Stobbe, L., 2010. Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- IEC, 2005. Letter Symbols to be Used in Electrical Technology - Part 2: Telecommunications and Electronics (IEC 60027-2). International Electrotechnical Commission, Geneva.
- IEC, 2002. Letter Symbols to be Used in Electrical Technology - Part 3: Logarithmic and Related Quantities, and their Units (IEC 60027-3). International Electrotechnical Commission, Geneva.
- ISO, 2013. Carbon Footprint of Products — Requirements and guidelines for Quantification and Communication (ISO 14067). International Organization for Standardization, London.
- ISO, 2009a. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO 14040). International Organization for Standardization, London.
- ISO, 2009b. Environmental Management Systems - Requirements with Guidance for Use (ISO 14001). International Organization for Standardization, London.
- ISO, 2006. Quantities and Units -- Part 3: Space and Time (ISO 80000-3). International Organization for Standardization, London.
- Jabri, S., Kourisi, E.M., Bourdeaud’huy, T., Lemaire, E., 2010. European Railway Traffic Management System Validation Using UML/Petri Nets Modelling Strategy. *European Transport Research Review* 2, 113–128. doi:10.1007/s12544-010-0030-5
- Jacob, M., Suchan, C., Ferstl, O.K., 2010. Modeling of Business Systems using Hybrid Simulation : A New Approach, in: *Proceedings of the 2010 European Conference on Information Systems*.
- Jenkin, T. a., Webster, J., McShane, L., 2011. An Agenda for “Green” Information Technology and Systems Research. *Information and Organization* 21, 17–40. doi:10.1016/j.infoandorg.2010.09.003
- Jiménez-González, C., Kim, S., Overcash, M.R., 2000. Methodology for Developing Gate-to-Gate Life Cycle Inventory Information. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5, 153–159. doi:10.1007/BF02978615
- Klöpffer, W., Grahl, B., 2009. *Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. Wiley, Weinheim.
- Loeser, F., 2013. Green IT and Green IS: Definition of Constructs and Overview of Current Practices, in: *Proceedings of the 2013 Americas Conference on Information Systems*.
- Loeser, F., Ereik, K., Limbach, F., Zarnekow, R., 2013. Shared Domain Knowledge in Strategic Green IS Alignment: An Analysis from the Knowledge-Based View, in: *Proceedings of the 2013 Hawaii International Conference on System Sciences*, 3515–3524. doi:10.1109/HICSS.2013.479

- Loeser, F., Ereik, K., Zarnekow, R., 2012. Towards a Typology of Green IS Strategies: Insights from Case Study Research, in: Proceedings of the 2012 International Conference on Information Systems.
- Loos, P., Mertens, P., Eymann, T., Hirschheim, R., Schwenker, B., Hess, T., 2013. Qualification Profile of University Professors in Business and Information Systems Engineering (BISE). *Business & Information Systems Engineering* 5, 107–114. doi:10.1007/s12599-013-0252-x
- Loos, P., Nebel, W., Marx Gómez, J., Hasan, H., Watson, R.T., Brocke, J., Seidel, S., Recker, J., 2011. Green IT: Ein Thema für die Wirtschaftsinformatik? *Wirtschaftsinformatik* 53, 239–247. doi:10.1007/s11576-011-0278-y
- Maga, D., Hiebel, M., Knermann, C., 2013. Comparison of Two ICT Solutions: Desktop PC versus Thin Client Computing. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18, 861–871. doi:10.1007/s11367-012-0499-3
- March, S.T., Smith, G.F., 1995. Design and Natural Science Research on Information Technology. *Decision Support Systems* 15, 251–266. doi:10.1016/0167-9236(94)00041-2
- Marett, K., Otondo, R.F., Taylor, G.S., 2013. Assessing the Effects of Benefits and Institutional Influences on the Continued Use of Environmentally Munificent Bypass Systems in Long-Haul Trucking. *MIS Quarterly* 37, 1301–1312.
- Masanet, E., Chang, Y., 2014. Who Cares About Life Cycle Assessment? *Journal of Industrial Ecology* 18, 787–791. doi:10.1111/jiec.12189
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W., 1972. *Limits to Growth*. Books Ltd., London.
- Melville, N., 2010. Information Systems Innovation for Environmental Sustainability. *MIS Quarterly* 34, 1–21.
- Moberg, Å., Borggren, C., Finnveden, G., 2011. Books from an Environmental Perspective - Part 2: E-Books as an Alternative to Paper Books. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16, 238–246. doi:10.1007/s11367-011-0255-0
- Moberg, Å., Johansson, M., Finnveden, G., Jonsson, A., 2010. Printed and Tablet E-Paper Newspaper from an Environmental Perspective - A Screening Life Cycle Assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 30, 177–191. doi:10.1016/j.eiar.2009.07.001
- Molla, A., Abareshi, A., 2011. Green IT Adoption: A Motivational Perspective, in: Proceedings of the 2011 Pacific Asia Conference on Information Systems.
- Möller, A., Rolf, A., 1995. Methodische Ansätze zur Erstellung von Stoffstromanalysen unter besonderer Berücksichtigung von Petri-Netzen, in: Schmidt, M., Schorb, A. (Eds.), *Stoffstromanalysen in Ökobilanzen Und Öko-Audits*. Springer, Berlin, pp. 33–58.



- Murugesan, S., 2008. Harnessing Green IT: Principles and Practices. *IT Professional* 10, 24–33. doi:10.1109/MITP.2008.10
- Newell, A., Simon, H.A., 1972. *Human Problem Solving*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Nidumolu, R., Prahalad, C.K., Rangaswami, M.R., 2009. Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard Business Review* 87, 56–64.
- Niehaves, B., Becker, J., 2006. Design Science Perspectives on IT-Consulting, in: *Proceedings der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2006*.
- Object Management Group, 2013. *OMG Unified Modeling Language*. Massachusetts.
- Österle, H., Becker, J., Frank, U., Hess, T., Karagiannis, D., Krcmar, H., Loos, P., Mertens, P., Oberweis, A., Sinz, E.J., 2011. Memorandum on Design-Oriented Information Systems Research. *European Journal of Information Systems* 20, 7–10. doi:10.1057/ejis.2010.55
- Pal, S.K., 2008. 21st Century Information Technology Revolution. *Ubiquity* 9. doi:10.1145/1399616.1399619
- Schiefer, J., Roth, H., Suntinger, M., Schatten, A., 2007. Simulating Business Process Scenarios for Event-based Systems, in: *Proceedings of the 2007 European Conference on Information Systems*.
- Seidel, S., Recker, J., Brocke, J. Vom, 2013. Sensemaking and Sustainable Practicing: Functional Affordances of Information Systems in Green Transformations. *MIS Quarterly* 37, 1275–1300.
- Simon, H.A., 1996. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, Cambridge.
- Stobbe, L., Nissen, N., Proske, M., Middendorf, A., Schlomann, B., Friedewald, M., Georgieff, P., Leimbach, T., 2009. Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Fraunhofer IZM. Berlin, Karlsruhe.
- Stolze, C., Boehm, M., Thomas, O., 2011. Towards Sustainable IT by Teaching Dependencies, in: Nüttgens, M., Gadatsch, A., Kautz, K., Schirmer, I., Blinn, N. (Eds.), *Governance and Sustainability in Information Systems. Managing the Transfer and Diffusion of IT*. Springer, Berlin.
- Taylor, C., Koomey, J.G., 2008. Estimating Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Internet Advertising.
- Thomas, O., vom Brocke, J., 2009. A Value-driven Approach to the Design of Service-oriented Information Systems – Making Use of Conceptual Models. *Information Systems and e-Business Management* 8, 67–97. doi:10.1007/s10257-009-0110-z
- United Nations, 2002. *Report of the World Summit on Sustainable Development*. Johannesburg.

- Valk, R., 2004. Object Petri-Nets, in: Desel, J., Reisig, W., Rozenberg, G. (Eds.), *Lectures on Concurrency and Petri Nets*, Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 819–848. doi:10.1007/b98282
- Vom Brocke, J., Loos, P., Seidel, S., Watson, R.T., 2012. Green IS – Information Systems for Environmental Sustainability; BISE – Call for Papers Issue 5/2013. *Business & Information Systems Engineering* 4, 47–51. doi:10.1007/s12599-011-0195-z
- Vom Brocke, J., Sonnenberg, C., Simons, A., 2009. Value-oriented Information Systems Design: The Concept of Potentials Modeling and its Application to Service-oriented Architectures. *Business & Information Systems Engineering* 1, 223–233. doi:10.1007/s12599-009-0046-3
- Vom Brocke, J., Watson, R.T., Dwyer, C., Elliot, S., Melville, N., 2013. Green Information Systems: Directives for the IS Discipline. *Communications of the AIS* 33, 509–520.
- Wati, Y., Koo, C., 2012. Toward Green IS Adoption Behaviors: A Self-Determination Perspective, in: *Proceedings of the 2012 Hawaii International Conference on System Sciences*, 1207–1216. doi:10.1109/HICSS.2012.598
- Watson, R.T., Bourdreau, M.-C., Chen, A.J., 2010. Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community. *MIS Quarterly* 34, 23–38.
- Watson, R.T., Corbett, J., Bourdreau, M.C., Webster, J., 2012a. An Information Strategy for Environmental Sustainability. *Communications of the ACM* 55, 28. doi:10.1145/2209249.2209261
- Watson, R.T., Lind, M., Haraldson, S., 2012b. The Emergence of Sustainability as the New Dominant Logic: Implications for Information Systems, in: *Proceedings of the 2012 International Conference on Information Systems*.
- WCED, 1987. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- Weber, C.L., 2012. Uncertainty and Variability in Product Carbon Footprinting. *Journal of Industrial Ecology* 16, 203–211. doi:10.1111/j.1530-9290.2011.00407.x
- Weber, C.L., Koomey, J.G., Matthews, H.S., 2010. The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods. *Journal of Industrial Ecology* 14, 754–769. doi:10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x
- Wilde, T., Hess, T., 2007. Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik – Eine empirische Untersuchung. *Wirtschaftsinformatik* 49, 280–287. doi: 10.1007/s11576-007-0064-z
- Zarnekow, R., Brenner, W., Pilgram, U., 2006. *Integrated Information Management: Applying Successful Industrial Concepts in IT*. Springer, Berlin.

---

## **Eidesstattliche Erklärung (Hilfsmittel)**

Hiermit erkläre ich, dass ich meine Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück ohne unzulässige Hilfe Dritter angefertigt und die benutzten Hilfsmittel vollständig und deutlich angegeben habe.

Die jeweiligen Beiträge der Koautoren sind Kapitel 2.1 zu entnehmen.

---

Florian Stiel

Osnabrück, 22. Oktober 2015

## **Eidesstattliche Erklärung (entgeltliche Hilfe)**

Hiermit erkläre ich, dass ich keine entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberatern oder anderen Personen) in Anspruch genommen habe und niemand von mir geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten hat, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der Dissertation stehen.

---

Florian Stiel

Osnabrück, 22. Oktober, 2015

# Teil B: Einzelbeiträge

---

**Towards a Conceptual Framework for Life Cycle Assessment in  
Sustainable Information Systems Management**

---

Autoren Stiel, F., Teuteberg, F.

Jahr 2013

Publikationsorgan Proceedings of the 21st European Conference on  
Information Systems (ECIS 2013), Utrecht,  
Netherlands

Kennzeichnung ISBN 978-90-393-6112-2

Online [http://aisel.aisnet.org/ecis2013\\_cr/91/](http://aisel.aisnet.org/ecis2013_cr/91/)

---

---

## **Towards a Conceptual Framework for Life Cycle Assessment in Sustainable Information Systems Management**

Florian Stiel, Frank Teuteberg

### **Abstract**

Information Systems (IS) play an important role for the sustainable development of business organisations. New metrics and methodologies are required to explore the interactions between IS, organisations and the environment. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology already proved its ability to measure environmental impacts of complex systems in other industries. However, when trying to adopt these methods to IS, researchers face problems as to comparability and transparency, two major aspects within the concept of LCA. Therefore, our work suggests a framework for LCA in Sustainable IS Management to avoid emerged methodical problems. Thereby, our research follows the design science approach, merging LCA methodologies with characteristics of Sustainable IS. The outcome of our approach is a conceptual framework of methodologies, supporting the assessment of IS solutions in early stages. The evaluation of the framework is applied by functional testing and the assessment of a business scenario.

**Keywords:** environmental sustainability, life cycle assessment, conceptual framework, design science approach

---

**Measuring the Environmental Impact of IT/IS Solutions –  
A Life Cycle Impact Modelling Approach**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Stiel, F., Teuteberg, F.  |
| Jahr              | 2014  |
| Publikationsorgan | Environmental Modelling & Software  |
| Kennzeichnung     | DOI 10.1016/j.envsoft.2013.12.014   |
| Online            | <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003174">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003174</a> |

---



---

# Measuring the Environmental Impact of IT/IS Solutions – A Life Cycle Impact Modelling Approach

Florian Stiel, Frank Teuteberg

## Abstract

The academic community has already taken notice of the interactions between information technologies (IT), information systems (IS), business organizations and the environment. Despite the interest garnered, research and modelling approaches on the environmental impact of IT/IS are usually explored only through qualitative approaches. This paper introduces a way for researchers and practitioners to engage with the environmental impact of IT/IS solutions in a more quantitative manner using flow based life cycle assessments (LCA). Distinct from other life cycle assessment studies, this research paper confirms that integration of information flows within life cycle inventory analysis can be both useful and viable. Our work presents a conceptual framework for flow-based LCA within the context of IT/IS consisting of possibilities for defining functional units, a meta model for building symbiotic inventory models, the use of established software tools and databases as well as concrete actions to apply our framework within simulation studies. We hope that better knowledge of the environmental impact of IT/IS solutions will facilitate an effort for more sustainable solutions. The framework was derived by literature review, design science research and evaluated via a simulation.

## Highlights:

- We provide a conceptual framework for life cycle assessment in the context of IT/IS
- We extend the scope of inventory analysis using information flows
- We evaluate our approach by simulation
- We used established LCA software tools and databases

**Keywords:** life cycle assessment; information technology; information systems; life cycle inventory analysis; conceptual framework; design science, symbiotic modelling

---

**On the Use of Discrete Event Simulation in Green IS Research –  
Developing a Conceptual Framework**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Stiel, F.   |
| Jahr              | 2014  |
| Publikationsorgan | Proceedings of the 22nd European Conference on<br>Information Systems (ECIS 2014), Tel Aviv, Israel                           |
| Kennzeichnung     | ISBN 978-0-9915567-0-0  |
| Online            | <a href="http://aisel.aisnet.org/ecis2014/proceedings/track22/8/">http://aisel.aisnet.org/ecis2014/proceedings/track22/8/</a> |

---

---

## **On the Use of Discrete Event Simulation in Green IS Research – Developing a Conceptual Framework**

Stiel, Florian

### **Abstract**

Discrete event simulation is a widely established approach in research on supply chain structures. However, discrete event simulation is rarely used within the context of environmental sustainability. A conceptual framework is suggested to discuss the value of discrete event simulation in Green IS research. The content of the framework is based on a systematic literature review and the structure builds upon the belief-action-outcome model. The framework contains research issues for the use of discrete event simulation in Green IS research and illustrates the causal relations between organizational, social and physical structures, individual objects as well as the outcomes in their interaction. A methodological toolkit is included to provide a starting point for the development of suitable research methodologies within the field. Due to the interdisciplinary approach of this work, the framework may be restrictive in its view on information systems. Therefore, the results do not claim to be deterministic or constrictive. Scientists and practitioners are encouraged to enter the discourse on discrete event simulation to enhance Green IS research.

**Keywords:** Green Information Systems, Environmental Sustainability, Discrete Event Simulation, Conceptual Framework, Belief-Action-Outcome Model

---

**Enhancing Manufacturing and Transportation Decision Support Systems  
with LCA Add-ins**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Stiel, F., Michel, T., Teuteberg, F.  |
| Jahr              | 2015  |
| Publikationsorgan | Journal of Cleaner Production   |
| Kennzeichnung     | DOI 10.1016/j.jclepro.2015.07.140   |
| Online            | <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010719">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010719</a> |

---

---

## Enhancing Manufacturing and Transportation Decision Support Systems with LCA Add-ins

Florian Stiel, Tobias Michel, Frank Teuteberg

### Abstract

The current life cycle assessment software landscape contributes not sufficiently to the dynamic behavior of manufacturing and transportation systems. This work presents a conceptual framework as well as conceptual software architecture to foster the integration of life cycle assessment software tools with dynamic manufacturing and transportation decision support tools. The results reveal interfaces and overlap between the existing life cycle assessment and decision support concepts as well as starting points to bridge this existing gap between static and dynamic approaches. In contrast to recent life cycle assessment approaches, mostly relying on static modelling concepts and calculation engines, the introduced software architecture is able to comprise dynamic modelling approaches and software engines within life cycle assessment. A descriptive case scenario suggests that the use of life cycle assessment add-ins for manufacturing and transportation decision support systems is capable to generate more valid environmental impact data compared to traditional life cycle

assessment approaches. Moreover, a higher resolution of the generated data as well as a reduced modelling effort makes life cycle assessment add-ins desirable not only for the use within research but also for the use within manufacturing and transportation practice. Implementations and architectures will, however, need to be explored with more complex cases in manufacturing and transportation.

**Keywords:** life cycle assessment; design science; discrete-event simulation, decision support systems

---

**Environmental-Oriented Information Systems Design – The  
Concept of Life Cycle Impact Modelling and its Application to  
Cloud Computing**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Stiel, F., Teuteberg, F.  |
| Jahr              | 2014  |
| Publikationsorgan | GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI):<br>Informatik 2014 Big Data – Komplexität Meistern   |
| Kennzeichnung     | ISBN 978-3-88579-626-8  |
| Online            | <a href="https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2014/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-232.html">https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2014/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-232.html</a> |

---

---

# **Environmental-Oriented Information Systems Design – The Concept of Life Cycle Impact Modelling and its Application to Cloud Computing**

Florian Stiel, Frank Teuteberg

## **Abstract**

Information technology is increasingly perceived not only as a driver of economic value creation, but also as a critical factor in the context of environmental sustainability. However, it is uncertain how the adoption of a new information technology within a specific organizational context can be evaluated from an environmental perspective. Consequently, there is a great need for methods relating the organizational use of IT with environmental assessments of different information system design alternatives. This work uses an outwardlooking, problem solving and interdisciplinary research approach to address this problem. It aims to evaluate the environmental impact associated with the use of information technology within an organizational context, proposing an approach to compare different design alternatives for the implementation of an information system. Thus, existing information modelling approaches are extended by (life cycle) impact modelling; a concept that is grounded in the widely considered Life Cycle Assessment (LCA) approach. The methodological foundation for this work is therefore constructivist and design science oriented.

---

**On the Environmental Footprint of an IS Conference**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Stiel, F., Teuteberg, F.  |
| Jahr              | 2015  |
| Publikationsorgan | GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI):<br>Informatik 2015 Informatik, Energie, Umwelt   |
| Kennzeichnung     | ISBN 978-3-88579-640-4  |
| Online            | <a href="https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2015/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-246.html">https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2015/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-246.html</a> |

---



---

## On the Environmental Footprint of an IS Conference

Florian Stiel , Frank Teuteberg

### **Abstract**

The IS research community has paid significant attention to climate change and other ecological problems. However, the communities own environmental footprint has been subject to little research so far. This work reports on the results of a Life Cycle Assessment that was conducted to identify the main determinants for the environmental footprint of an IS conference. It brings up the painful subject that also the scientific community has its substantial contribution to environmental degradation. Our work suggests that this contribution can be significantly reduced by only a few very effective instruments. Scientists are encouraged to enter the discourse on the environmental footprint of academic work in order to enhance Green IS research.

**Keywords:** Green IS, Environmental Footprint, Life Cycle Assessment, Academic Practice, Greenhouse Gases, Water Depletion, Emission of Toxic Substances, Umberto Software

---

**Web-Portal und Reifegradmodell für ein Benchmarking des betrieblichen Umweltmanagements**

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| Autoren           | Frehe, V., Stiel, F., Teuteberg, F.   |
| Jahr              | 2015  |
| Publikationsorgan | GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI):<br>Informatik 2013 Informatik angepasst an Mensch,<br>Organisation und Umwelt  |
| Kennzeichnung     | ISBN 978-3-88579-614-5  |
| Online            | <a href="https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2013/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-220.html">https://www.gi.de/service/publikationen/lni/gi-edition-proceedings-2013/gi-edition-lecture-notes-in-informatics-lni-p-220.html</a> |

---

---

## **Web-Portal und Reifegradmodell für ein Benchmarking des betrieblichen Umweltmanagements**

Volker Frehe, Florian Stiel, Frank Teuteberg

### **Abstract**

Das wachsende Bewusstsein von Verbrauchern für die ökologische Wirkung von Produkten und Dienstleistungen hat auch bei vielen Unternehmen zu einem Umdenken geführt. Ein betriebliches Umweltmanagement (UM) dient heute nicht mehr ausschließlich der Erfüllung gesetzlicher Auflagen, sondern dem Dialog mit Stakeholdern oder einer Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz von Geschäftsprozessen. Die Entwicklung des UM ist jedoch in den einzelnen Branchen und Unternehmen stark divergent. In diesem Beitrag wird ein branchenübergreifendes Instrument zur Erfassung und Beurteilung des betrieblichen UM vorgestellt. Das Instrument wurde mit Hilfe des Design Science Ansatzes entwickelt und prototypisch als Web-Portal implementiert. Der Implementierung liegt ein Reifegradmodell zur Beurteilung des UM auf Basis etablierter Normen zum Umweltmanagement zu Grunde. Für Unternehmen bietet sich durch die Nutzung des Web-Portals die Möglichkeit eines brancheninternen oder branchenübergreifenden Vergleichs ihres UM. Für die Wissenschaft eröffnen sich Möglichkeiten zur Analyse des aktuellen Stands des betrieblichen Umweltmanagements über eine große Anzahl an Unternehmen hinweg.