



# **Beiträge zur Vereinbarkeit von Ökonomie und Ökologie in der Wirtschaftsinformatik**

**Dissertation**

**der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät**

**der Universität Augsburg**

**zur Erlangung des Grades eines Doktors**

**der Wirtschaftswissenschaften**

**(Dr. rer. pol.)**

**vorgelegt**

**von**

**Philipp Mette**

**(Diplom-Kaufmann, B.Sc.)**

**Augsburg, Oktober 2013**

Erstgutachter:

Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Marco C. Meier

Vorsitzender der mündlichen Prüfung:

Prof. Dr. Axel Tuma

Datum der mündlichen Prüfung:

03. Dezember 2013

# Literaturverzeichnis

<b>Verzeichnis der Beiträge.....</b>	<b>iv</b>
<b>I Einleitung.....</b>	<b>I-1</b>
<i>I.1 Aufbau dieser Dissertationsschrift.....</i>	<i>I-4</i>
<i>I.2 Fachliche Einordnung und fokussierte Forschungsfragen.....</i>	<i>I-5</i>
<i>I.3 Literatur.....</i>	<i>I-12</i>
<b>II Die Absicherung von Rohstoffrisiken (Beitrag 1) .....</b>	<b>II-1</b>
<b>III Planung und Bewertung von Investitionen zur Vereinbarung von Ökonomie und Ökologie.....</b>	<b>III-1</b>
<i>III.1 Beitrag 2: „Planung von Investitionen in Green Information Systems“.....</i>	<i>III-2</i>
<i>III.2 Beitrag 3: “The value of information exchange in electric vehicle charging“.....</i>	<i>III-14</i>
<i>III.3 Beitrag 4: „Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy“.....</i>	<i>III-35</i>
<i>III.4 Beitrag 5: „Evaluating energy efficiency investments: Combining ecology and economy by considering risk“.....</i>	<i>III-55</i>
<i>III.5 Beitrag 6: „Multivendor Portfolio Strategies in Cloud Computing“.....</i>	<i>III-77</i>
<b>IV Fazit und Ausblick .....</b>	<b>IV-1</b>
<i>IV.1 Fazit.....</i>	<i>IV-1</i>
<i>IV.2 Ausblick.....</i>	<i>IV-3</i>

*Anmerkung:* Eine fortlaufende Seitennummerierung wird pro Kapitel vorgenommen. Ein Literaturverzeichnis sowie die Anhänge werden jeweils am Ende eines jeden Kapitels aufgeführt.

---

## Verzeichnis der Beiträge

In dieser Dissertation werden die folgenden Beiträge vorgestellt:

- B1 Fridgen G, König C, Mette P, Rathgeber A (2013) Die Absicherung von Rohstoffrisiken - Eine Disziplinen übergreifende Herausforderung für Unternehmen. ZfbF Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 65(2):167-190 (VHB JOURQUAL 2.1: 7,21 Punkte, Kategorie B)
- B2 Mette P (2012) Planung von Investitionen in Green Information Systems. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 49(285):104-111<sup>1</sup> (VHB JOURQUAL 2.1: 5,16 Punkte, Kategorie D)
- B3 Fridgen G, Mette P (2013) The value of information exchange in electric vehicle charging. Diskussionspapier WI-416. Zur Begutachtung bei: Electronic Markets (VHB JOURQUAL 2.1: 6,85 Punkte, Kategorie C)
- B4 Buhl HU, Gaugler T, Mette P (2011) Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy. Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems (ECIS), Helsinki, Finnland<sup>1</sup> (VHB JOURQUAL 2.1: 7,37 Punkte, Kategorie B)
- B5 Buhl HU, Gaugler T, Mette P (2011) Evaluating energy efficiency investments: Combining ecology and economy by considering risk. Diskussionspapier WI-356. Zur Begutachtung bei: Environmental Engineering and Management Journal<sup>1</sup> (Impact Factor: 1,004)
- B6 König C, Mette P, Müller HV (2013) Multivendor Portfolio Strategies in Cloud Computing. Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems (ECIS), Utrecht, Niederlande (VHB JOURQUAL 2.1: 7,37 Punkte, Kategorie B)

---

<sup>1</sup> Der Beitrag wurde auf Basis von neuen Erkenntnissen und Gutachterfeedback weiterentwickelt und weicht deshalb an einigen Stellen von der veröffentlichten Version ab.

## I Einleitung

Als Reaktion auf die dramatische Reaktorkatastrophe in Fukushima im März 2011 beschloss der Deutsche Bundestag die Reduktion der Nutzung fossiler Energieträger, sowie die vollständige Abkehr von der Nutzung von Atomkraft bis zum Jahr 2022 (Deutscher Bundestag 2011). Einer drohenden Energieversorgungslücke soll durch die Umsetzung einer nachhaltigen Versorgung mit regenerativen Energien entgegen gewirkt werden, was gemeinhin als Energiewende bezeichnet wird. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist die langfristige Verfügbarkeit und stabile Preisentwicklung energetischer Rohstoffe für Industrie und Gesellschaft notwendig. Darüber hinaus sind diese Eigenschaften aber auch bei nicht-energetischen Rohstoffen erfolgskritisch. So müssen für die Umsetzung der Energiewende sog. Zukunftstechnologien zur Marktreife gebracht werden. Für deren Entwicklung sind jedoch spezifische nicht-energetische Rohstoffe notwendig, bspw. Gallium für Dünnschicht-Photovoltaikanlagen, Platin für Brennstoffzellen oder Neodym für Elektromotoren. Bereits heute ist deshalb die Entwicklung von Zukunftstechnologien einer hohen, stetig steigenden Rohstoffabhängigkeit ausgesetzt (Bleischwitz et al. 2009) und Preis sowie Verfügbarkeit von solchen Rohstoffen (und somit auch der Erfolg der Energiewende) unterliegen vielfältigen Risiken. Diesen Risiken kann aber durch nachhaltige Entwicklung entgegnet werden, die wie folgt definiert ist:

*“Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” (WCED 1987)*

Diese Definition wird durch das so genannte Drei-Säulen-Modell (Elkington 1994, S.99) dahingehend konkretisiert, als dass für nachhaltige Entwicklung nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische und soziale Ziele angestrebt werden müssen, wobei sich diese drei „Säulen der Nachhaltigkeit“ gegenseitig bedingen.

Die Disziplin der Wirtschaftsinformatik beschäftigt sich bereits seit den frühen 90er Jahren mit Nachhaltigkeit. Dabei wird festgestellt, dass die Wirtschaftsinformatik aktiver Gestalter nachhaltiger Entwicklung sein kann (Bengtsson und Pär 2011). Die effiziente Gestaltung der Ressourcen der IT selbst, also von Hardware wie Serverräumen oder Prozessoren, wird dabei als Green Information Technology (IT) bezeichnet. Bspw. kann die Virtualisierung von Servern durch Cloud Computing zu nachhaltiger Entwicklung beitragen. Informationssysteme können aber auch in anderen Geschäftsbereichen zur Reduktion von Ressourcenbedarf und

---

Schadstoffausstoß eingesetzt werden (Buhl und Laartz 2008). Die Konzeption und Realisierung von Informationssystemen (IS), die zu nachhaltigen Geschäftsprozessen beitragen, wird als Green IS bezeichnet (Boudreau et al. 2007).

*Green IS requires an “integrated and cooperating set of people, processes, software, and information technologies to support individual, organizational, or societal goals”* (Watson et al. 2010, S.24).

Große ökologische Potenziale von Green IS bestehen durch IS, die die Effizienz von Immobilien während deren Planung, Konstruktion und Betrieb steigern (The Climate Group 2008, S.41), bspw. durch IS-basierte Planung von Gebäudedesign oder durch IS-gestütztes Gebäudemanagement und Gebäudeautomatisierung (Intelligent Houses). Darüber hinaus birgt die teilweise durch IS erst ermöglichte Optimierung von Transportwegen und Lagerhaltung Potenzial für nachhaltige Entwicklung, ebenso wie der Einsatz von IS zur Steuerung und Optimierung von Energiegenerierung und –distribution (The Climate Group 2008, S.9). Informationssysteme sollen so bis zum Jahr 2020 zu einer globalen Einsparung von 7,8 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>e (Kohlendioxidäquivalente) beitragen können, was ungefähr 15% des weltweiten Emissionsaufkommens entspräche (The Climate Group 2008, S.6).

Trotz der vielversprechenden Wirkungen von Green IT/IS wird jedoch nur zurückhaltend in entsprechende Projekte investiert. So bleibt der Beitrag der Informationstechnologie zur Reduktion des Ressourcenbedarfs und des Schadstoffausstoßes bisher deutlich hinter den Erwartungen zurück und die Wahrscheinlichkeit, dass die Potenziale von Green IT/IS in naher Zukunft ausgeschöpft werden, wird in einer internationalen Befragung mit über 600 CIOs als sehr gering eingeschätzt (Fujitsu 2010). Mögliche Gründe hierfür sind:

*Unwissenheit über Potenziale und Wirkungsweisen von Green IT/IS*

Entscheidungsträger haben in vielen Fällen kein Wissen über die großen Potenziale von IS für nachhaltige Entwicklung.

*Unsicherheit der finanziellen Rückflüsse von IS-Investitionen im Allgemeinen*

Für den Einsatz von Informationssystemen sind in den allermeisten Fällen Investitionszahlungen notwendig. Diese werden aber nach betriebswirtschaftlichen Prinzipien nur dann getätigt werden, wenn sich daraus bedingte Einzahlungen oder Einsparungen ergeben, die nach einer Bewertung der Zahlungsströme die notwendigen (risikoadjustierten) Auszahlungen übersteigen und somit einen positiven Beitrag zum Unternehmenswert erzeugen. In Zukunft liegende Zahlungen sind jedoch typischerweise mit Unsicherheiten

---

behaftet, die aus der Unkenntnis über die zukünftigen Ausprägungen von Faktoren wie bspw. die Entwicklung von Märkten oder Wettbewerb resultieren (Amram und Kulatilaka 1999). IT-Projekte sind in besonderem Maße von Unsicherheiten geprägt, welche dazu führen, dass im Durchschnitt jede sechste IT-Investition die geplanten Auszahlungen um bis zu 200% überschreitet (Flyvbjerg und Budzier 2011, S.4). Aus diesen Gründen ist es möglich, dass auch viele Green IT/IS-Investitionen als zu riskant empfunden und nicht durchgeführt werden. Weiterhin kann die Unsicherheit bzgl. der Verfügbarkeit und Preisentwicklung von Rohstoffen ein zusätzliches Investitionsrisiko sein.

#### *Komplexität von Projektbewertung und Erfolgsmessung*

Der ökonomische Wert von IS ist seit langem Diskussionsgegenstand in Forschung und Praxis (siehe dazu bspw. Silvius 2008, Stewart et al. 2007). Die Bewertung von Green IT/IS-Projekten ist durch deren indirekte Wirkungen besonders herausfordernd: So kann es möglich sein, dass Investitionszahlungen und Schadstoffausstoß der Ressource IT selbst (zunächst) ansteigen müssen, um Effizienzgewinne an anderer Stelle zu ermöglichen (Buhl und Laartz 2008). Da die Gegenüberstellung von Investitionszahlung und dadurch erzielter Einsparung deshalb auf mehrere Geschäftsbereiche oder sogar die gesamte Wertschöpfungskette ausgedehnt werden muss, lässt sich die Vorteilhaftigkeit von Green IS-Investitionen nur schwer ex-ante bemessen oder ex-post nachweisen (Silvius 2012). Lützkendorf und Mrics (2008) kritisieren deshalb den Mangel an adäquaten Methoden, um ökologische Auswirkungen von Investitionen mit deren ökonomischen Auswirkungen zu verknüpfen und zu bewerten. Unternehmen benötigen folglich Planungs- und Bewertungsmodelle, die Green IT/IS-Investitionen ganzheitlich bewerten und sich an den strategischen Unternehmenszielen orientieren (Erek et al. 2010).

Für eine erfolgreiche Erreichung der angestrebten Ziele der Energiewende kann die Wirtschaftsinformatik deshalb bestmöglich beitragen, wenn Unwissenheit beseitigt wird und Instrumente zum Management von Unsicherheit und Bewertungskomplexität bereitgestellt werden. Wissenschaft und Praxis befassen sich dazu vielfach mit der Frage, ob ökologisch sinnvolle Aktivitäten auch einen positiven ökonomischen Beitrag leisten (siehe z.B. Darnall 2009, Stanwick und Stanwick 2000, Kurapatskie und Darnall 2013). Die ökonomische Bewertung von ökologisch vorteilhaften Green IT/IS-Projekten wird in diesem Kontext jedoch meist nicht oder nur rudimentär betrachtet. Entsprechende Untersuchungen könnten aber einen wichtigen Beitrag zur Erweiterung der Wissensbasis darstellen, aber auch für

---

Entscheidungsträger bedeutend sein, da diese nachhaltige Entwicklung nur unterstützen, wenn dabei auch ökonomische Vorteile entstehen (Margolis und Walsh 2003).

Die vorliegende Dissertationsschrift verfolgt deshalb zunächst das Ziel, Rohstoffrisiken darzulegen, die im Allgemeinen und im Zuge der Energiewende für Unternehmen schlagend werden können. Darauf aufbauend soll die Notwendigkeit nachhaltiger Entwicklung sowie das Potenzial der Wirtschaftsinformatik zur Förderung der selbigen illustriert werden. Informationssysteme können so entscheidend dazu beitragen, bestehende Verhaltensmuster zu ändern und so den Ressourcenverbrauch reduzieren (McCalley 2006, Watson et al. 2010, Wilson und Dowlatabadi 2007).

Weiterhin verfolgt diese Dissertationsschrift das Ziel, betriebswirtschaftliche Planungs- und Bewertungsinstrumente für Green IT/IS-Projekte unter Berücksichtigung deren spezifischer Risiken zu entwickeln. Dadurch soll organisatorischer Wandel gefördert werden, der notwendig ist, um das ökologische und ökonomische Potenzial von IS nutzbar zu machen (Silvius 2012). Weiterhin sollen Informationsasymmetrien beseitigt werden, um ökonomische und verhaltensorientierte Lösungsansätze zur Begünstigung nachhaltiger Entwicklung zu ermöglichen (Watson et al. 2010, S. 7). Auf diese Weise soll auch dem Bedarf der Wissenschaft entsprochen werden, die Umsetzung nachhaltiger Geschäftspraktiken zu analysieren und dadurch nachhaltige Entwicklung zu unterstützen (Seidel et al. 2010). Dabei liegt der Fokus in dieser Arbeit auf der ökonomischen Bewertung der größten ökologischen Enabler der Wirtschaftsinformatik, nämlich intelligenter Stromnetze (Smart Grid), intelligenter Gebäudesteuerung (Smart Buildings) und Virtualisierung (insbesondere Cloud Computing). Verzichtet wird indes auf die Betrachtung der Wirtschaftsinformatik als Enabler sozialer Nachhaltigkeit. Hierzu sei bspw. auf die Arbeiten von Dillard et al. (2009) und Figge et al. (2002) hingewiesen.

## **I.1 Aufbau dieser Dissertationsschrift**

Nachdem einleitend die grundsätzliche Zielsetzung der vorliegenden Arbeit erläutert wurde, beschreibt dieser Abschnitt den Aufbau der Arbeit. Abbildung I-1 illustriert diesen und beinhaltet eine Auflistung der einzelnen Teilziele, die in dieser Arbeit verfolgt werden.



<b>I. Einleitung</b>	
Ziel I.1:	Darstellung der Zielsetzung und des Aufbaus der Arbeit
Ziel I.2:	Fachliche Einordnung und Motivation der zentralen Forschungsfragen
<b>II. Die Absicherung von Rohstoffrisiken (B1)</b>	
Ziel II.1:	Untersuchung der Bedeutung von Rohstoffen für unternehmerisches Handeln
Ziel II.2:	Entwicklung eines interdisziplinären und praxisorientierten Gesamtüberblicks über Rohstoffrisiken und mögliche unternehmerische Absicherungsmaßnahmen
<b>III. Planung und Bewertung von Investitionen zur Vereinbarung von Ökonomie und Ökologie (B2, B3, B4, B5, B6)</b>	
Ziel III.1:	Entwicklung eines strukturierten Vorgehens zur Planung von Green IS-Investitionen
Ziel III.2:	Entwicklung eines quantitativen Modells zur Bestimmung des ökonomischen Potenzials von Smart Grid bei Ladevorgängen von Elektromobilen
Ziel III.3:	Entwicklung von Anforderungen an ein Anreizsystem für Nutzer von Elektromobilen zur Partizipation an dem vorgestellten Smart Grid-Ansatz
Ziel III.4:	Entwicklung eines quantitativen Modells zur Bestimmung der optimalen Investitionshöhe in Intelligent Houses
Ziel III.5:	Entwicklung eines quantitativen Modells zur Bestimmung der optimalen Investitionshöhe in Immobilien und Immobilienportfolios
Ziel III.6:	Entwicklung eines quantitativen Modells zur Bewertung von energieeffizienten Computinglösungen am Beispiel von Cloud Computing
<b>IV. Fazit und Ausblick</b>	
Ziel IV.1:	Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse
Ziel IV.2:	Aufzeigen künftigen Forschungsbedarfs

**Abb. I-1: Aufbau und Ziele der Dissertationsschrift**

## **I.2 Fachliche Einordnung und fokussierte Forschungsfragen**

Bezogen auf die vorgestellten Ziele werden nun die Beiträge der Dissertationsschrift fachlich eingeordnet und zentrale Forschungsfragen motiviert.

- Kapitel II: Die Absicherung von Rohstoffrisiken - Eine Disziplinen übergreifende Herausforderung für Unternehmen (B1).

So genannte Zukunftstechnologien, also bspw. Windkraftanlagen oder

---

Energiespeichersysteme (Bleischwitz et al. 2009, S. VI), besitzen im Kontext der Energiewende besonders hohen Stellenwert. Für deren Entwicklung sind bestimmte Rohstoffe unabdingbar. Bereits heute ist die Entwicklung von Zukunftstechnologien einer hohen, stetig steigenden Rohstoffabhängigkeit ausgesetzt und Preis sowie Verfügbarkeit von solchen Rohstoffen unterliegen vielfältigen Risiken. Unternehmen können durch Rohstoffrisiken stark negativ beeinflusst werden und sogar zahlungsunfähig werden (Deutsche Bank 2007). Rohstoffrisiken stellen somit ein Hemmnis für nachhaltige Entwicklung dar und stehen einer erfolgreichen Umsetzung der Energiewende entgegen. Zur Absicherung solcher Risiken können Unternehmen eine Vielzahl von Instrumenten nutzen. Allerdings ist der Einsatz dieser Instrumente komplex. So verfügen bspw. viele kleine und mittlere Unternehmen über einen geringeren Wissensstand über Rohstoffrisiken als größere, obwohl sie generell den gleichen Rohstoffrisiken ausgesetzt sind. Weiterhin beklagt eine Vielzahl mittelständischer Unternehmen die Komplexität der Absicherungsinstrumente und fürchtet sich bspw. vor der Absicherung mit Finanzinstrumenten „fast genauso sehr“ wie vor Rohstoffrisiken selbst (Commerzbank 2011). Andere Absicherungsstrategien, wie bspw. die Erforschung neuer Materialien oder neuer technischer Möglichkeiten (Fam und Rizkalla 2001, Lee et al. 2009) benötigen hingegen Fachwissen aus natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen. Deshalb müssen Unternehmen die Absicherung von Rohstoffrisiken in interdisziplinären Teams und unternehmensbereichsübergreifend vornehmen. Beitrag 1 sammelt und strukturiert typische Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen und ordnet diese in einen Disziplinen übergreifenden und praxisorientierten Gesamtüberblick aus Unternehmenssicht ein. Um Unternehmen Handlungsempfehlungen für den konkreten Einsatz von Absicherungsinstrumenten zu geben, werden daraufhin allgemeingültige Schritte zur Rohstoffrisikoabsicherung ablauforientiert beschrieben und anhand eines Beispiels konkretisiert. Der Beitrag adressiert damit folgende Forschungsfragen:

F II.1 Welche typischen Rohstoffrisiken gibt es und welche unternehmerischen Absicherungsmaßnahmen existieren?

F II.2 Welche Schritte müssen Unternehmen zur wirkungsvollen Absicherung von Rohstoffrisiken durchlaufen?

- Kapitel III: Planung und Bewertung von Investitionen zur Vereinbarung von Ökonomie und Ökologie

*B2: Planung von Investitionen in Green Information Systems*

Die Integration von Technologien in bestehende Prozesse, Systeme oder Infrastruktur und die daraus resultierenden Auswirkungen für Anwender, Organisationen und deren Umwelt wurden bereits in zahlreichen wissenschaftlichen Beiträgen diskutiert (siehe dazu bspw. Delmas und Toffel 2008, Dyllick und Hockerts 2002, Klassen und Whybark 1999). Im Hinblick auf den Beitrag der Informationstechnologie zu nachhaltiger Entwicklung wissen Unternehmen in der Praxis jedoch oftmals nicht, wie Investitionsentscheidungen strukturiert erfolgen können und welche Auswirkungen der Einsatz von Green IT/IS für Unternehmen haben wird. So stellen Ereik et al. (2010) fest, dass Unternehmen oftmals kein strukturiertes Vorgehen im Sinne eines Planungsmodells anwenden, welches zur unternehmensindividuellen Gestaltung von Green IT/IS beiträgt und sich an den strategischen Unternehmenszielen orientiert. Teuteberg und Gómez (2010) fordern darüber hinaus die Entwicklung von Referenzmodellen, welche ein rein ökonomisches Zielsystem um Nachhaltigkeitsaspekte erweitern.

In Beitrag 2 wird deshalb ein Vorgehensmodell entwickelt, welches Unternehmen bei der Planung von Green IT/IS-Investitionen unterstützt. Dabei werden zunächst Besonderheiten von Green IT/IS-Investitionen identifiziert und vorgestellt, welche Green IT/IS-Projekte von konventionellen Projekten unterscheiden. Weiterhin werden sowohl diese Besonderheiten als auch ökonomische und ökologische Einflussfaktoren im Vorgehensmodell abgebildet. Zur Veranschaulichung des entwickelten Modells wird an dieser Stelle auf Daten realer Green IT/IS-Projekte zurückgegriffen, welche bereits erfolgreich abgeschlossen wurden. Dabei wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

F III.1 Welche Schritte müssen Unternehmen bei der Planung von Green IT/IS-Investitionen unter Berücksichtigung aller relevanten ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren durchlaufen?

*B3: The value of information exchange for electric vehicle charging*

Im Zuge der Energiewende wird die Integration erneuerbarer Energien in bestehende Stromnetze deutlich zunehmen und diese substanziell verändern (Römer et al. 2012, S. 486). Die Investitionssumme, die bis 2020 in Europa zur Erreichung der

---

energiepolitischen Ziele und der Klimaschutzziele notwendig ist, wird auf eine Billion € geschätzt, wovon die Hälfte für den Netzausbau, Energiespeicher und Smart Grids aufgebracht werden muss (European Commission 2011, S.13). Durch die unsicheren und stark volatilen Produktionsmengen erneuerbarer Energien bei gleichzeitig unsicherer Stromnachfrage entstehen dabei jedoch verstärkt Ungleichgewichte zwischen Stromangebot und -nachfrage über Tages- und Jahreszeiten hinweg. Die aus ökologischer Sicht positive Integration erneuerbarer Energiequellen bringt deshalb aus ökonomischer Sicht zunächst Nachteile mit sich. So müssen Stromanbieter bzw. Netzbetreiber das vermehrte Auseinanderklaffen von Stromangebot und -nachfrage beseitigen, da sonst Versorgungssicherheit und Stromnetzstabilität nicht mehr gewährleistet werden können. Dazu sind jedoch Auszahlungen nötig, bspw. zum Abbau von Unterkapazitäten durch die Zuschaltung zusätzlicher Kraftwerke oder zur Speicherung von überschüssigen Strommengen in Speicherkraftwerken, was zahlungswirksame Wirkungsgradverluste mit sich bringt. Christian (2010) bezeichnet den Ausgleich von Strombedarf und -angebot als eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte beim Wechsel hin zu einer nachhaltigeren Energiewirtschaft. Aus diesem Grund sind Geschäftsmodelle nötig, die der ökonomisch nachteiligen Integration erneuerbarer Energien entgegenwirken. Beitrag 3 stellt deswegen einen Ansatz zur Nutzung von IS in Smart Grids vor, der auf der Möglichkeit zum Informationsaustausch zwischen Stromanbieter und Kunden durch so genannte Advanced Meters basiert. Auf diese Weise können Informationen über Stromnachfragezeiten und -mengen ausgetauscht werden, die den Stromanbieter befähigen, temporär flexible Stromnachfrage in Zeiten zu verschieben, in denen Stromüberschuss vorliegt, um somit ansonsten notwendige Auszahlungen zu vermeiden. Dazu werden die Batterien von Elektromobilen als dezentrale Stromspeicher genutzt. Dennoch aber bleibt ungewiss, wie Kunden mit neuen Ansätzen, Technologien und Anreizen interagieren (ISO California 2013). Lin et al. (2013) fordern deshalb die Entwicklung neuer Preismechanismen, die die Umsetzung von nachhaltigen Geschäftsmodellen fördern. Aus diesem Grund werden in diesem Beitrag auch Anforderungen aufgestellt, die zur Entwicklung von Preismechanismen bei Advanced Metering beachtet werden müssen. Der Beitrag behandelt die folgenden Forschungsfragen:

F III.2 Wie hoch ist das ökonomische Potenzial eines Advanced Metering Ansatzes zur Nachfragesteuerung bei Elektromobilen?

F III.3 Welche Anforderungen muss ein Anreizsystem für Nutzer von Elektromobilen erfüllen um die Partizipation an dem vorgestellten Advanced Metering Ansatz zu begünstigen?

*B4: Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy*

Gemäß einer ökologischen Potenzialanalyse der Climate Group (Climate Group 2008, S.30) stellt der Einsatz von IS in Immobilien einen großen Enabler von IS für nachhaltige Entwicklung dar. IS-Investitionen in so genannte Intelligent Houses, also bspw. intelligente Lichtsteuerung, Gebäudemanagementsysteme oder IT-gestütztes Gebäudedesign stellen Investitionsobjekte dar, die typischerweise ökologisch vorteilhaft sind, aber oftmals nicht durchgeführt werden, weil sie aus ökonomischer Sicht nicht profitabel erscheinen. Neben den in Kapitel I genannten existiert bei energieeffizienzsteigernden Maßnahmen in Immobilien noch ein weiteres Investitionshemmnis – das Mieter-Vermieter-Dilemma. Direkte Profiteure von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Immobilien sind die Mieter, deren periodisch anfallende Auszahlungen für Energie gesenkt werden. Träger der dafür notwendigen Investitionszahlung sind jedoch die Immobilieneigentümer. Zwar können diese geleistete Investitionszahlungen an ihre Mieter weitergeben, jedoch sind vollständige Umlagen aus marktgegebenen Gründen oftmals nicht möglich. Darüber hinaus können Immobilieneigentümer in Deutschland maximal 11% einer aufgetragenen Investitionssumme pro Jahr auf den Mieter übertragen. Beide Faktoren können sich deshalb unter Umständen investitionshemmend auswirken: Durchschnittlich werden nur 1-1,5% aller Nichtwohngebäude und nur 0,07% aller Wohngebäude im Jahr durch Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz saniert (Rottke 2009). Pinkse und Domisse (2009) erkennen in diesem Zusammenhang eine schwer zu bewältigende Herausforderung, Immobilieneigentümer und Mieter über die genauen Wirkungsweisen sauberer Technologien zu informieren und diese von den Vorteilen zu überzeugen. Gängige Bewertungsmethoden, die zur Unterstützung bei Investitionsentscheidungen herangezogen werden können, vernachlässigen jedoch einen besonderen Effekt: So können energieeffizienzsteigernde Investitionen bei Immobilien Mieter vor Strompreisschwanken schützen und sich somit aus Mietersicht

risikoreduzierend gemäß dem Prinzip einer Versicherung auswirken. Dieser Effekt wird bisher von keinem Investitionsbewertungsmodell berücksichtigt.

Aus diesem Grund wird in Beitrag 4 ein Bewertungsmodell entwickelt, das den Versicherungseffekt energieeffizienzsteigernder Investitionen bei Immobilien quantitativ berücksichtigt. Dabei wird sowohl die Perspektive des Immobilieneigentümers als auch des Mieters eingenommen, um die Auswirkung der Berücksichtigung des Versicherungseffekts auf die Zahlungsbereitschaften beider Parteien zu ermitteln. Darauf aufbauend wird das Modell genutzt um die optimale Investitionshöhe in Intelligent Houses zu ermitteln. Durch eine integrierte Ertrags-/Risikobewertung von Green IS-Investition in Immobilien werden dabei weitere Potenziale zur Vereinbarkeit von Ökonomie und Ökologie sichtbar. Folgende Forschungsfragen werden beantwortet:

F III.4 Wie kann die risikoreduzierende Wirkung von IS-Investitionen in Intelligent Houses quantitativ bestimmt und in einem Bewertungsmodell berücksichtigt werden?

F III.5 Welche Auswirkungen hat die Berücksichtigung dieser Wirkung auf die Zahlungsbereitschaften von Immobilieneigentümern und Mietern?

F III.6 Wie hoch ist die optimale Investitionshöhe in ein Intelligent Houses?

*B5: Evaluating energy efficiency investments: Combining ecology and economy by considering risk*

Wird bei Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz von Immobilien mehr als nur eine Immobilie betrachtet, so steigt die Komplexität einer Investitionsbewertung nochmals an. Dies liegt daran, dass der Energiebedarf von Immobilien eines Portfolios durch unterschiedliche Energieträger erfüllt werden kann und somit Abhängigkeiten zwischen den Energiepreisen verschiedener Energieträger (Da Silva 2007) berücksichtigt werden müssen. Für den Einsatz von energiebedarfsreduzierenden Maßnahmen in mehreren Immobilien müssen die dafür notwendigen Investitionen deshalb aus einer Portfoliosicht bewertet werden. Die dafür notwendigen Berechnungen können durch den Einsatz von IS unterstützt werden. Beitrag 5 stellt eine Erweiterung von Beitrag 4 dar, in welchem das Grundmodell um eine Betrachtung von Immobilienportfolios erweitert wird. Die Entwicklung des

---

Grundmodells findet sich in beiden Beiträgen wieder. Folgende Forschungsfragen werden beantwortet:

F III. 7 Wie können energieeffizienzsteigernde Investitionen in Immobilienportfolios unter Ertrags- und Risikogesichtspunkten bewertet werden?

F III. 8 Wie hoch ist die optimale Investitionshöhe in energieeffizienzsteigernde Maßnahmen eines Immobilienportfolios?

#### *B6: Multivendor Portfolio Strategies in Cloud Computing*

Ein weiterer IS-basierter Potenzialträger für nachhaltige Entwicklung stellt die Virtualisierung von Servern dar (The Climate Group 2008, S. 18). Hierbei fokussieren sich Wissenschaft und Praxis immer mehr auf Cloud Computing. Cloud Computing bezeichnet „das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen“ über das Internet (BSI 2013). Dabei stellen Anbieter Infrastruktur, Plattformen und auch ganze Services über die Cloud zur Verfügung. Neben technischen und ökonomischen Vorteilen von Cloud Computing wie bspw. standardisierter Leistungsumfang oder geringe Fixkosten kann Cloud Computing auch zu nachhaltiger Entwicklung beitragen, indem Server „virtualisiert“ werden, d.h. durch entsprechende Dienste aus der Cloud ersetzt werden. Die damit verbundene Zentralisierung und Automatisierung der Leistungserstellung, sowie die Möglichkeit auf schwankende Leistungsnachfrage flexibel zu reagieren, führen im Vergleich mit konventionellen Lösungen zu besserer Ressourcennutzung und zu höherer Energieeffizienz (Berl et al. 2010, S. 1045). Die positiven ökologischen Wirkungen von Cloud Computing werden bereits in einigen Beiträgen untersucht (siehe bspw. Berl et al. 2010, Gottschalk und Kirn 2013, Kumar und Lu 2010). Damit Unternehmen dieses ökologische Potenzial nutzen können, müssen jedoch auch die Risiken von Cloud Computing aus ökonomischer Sicht analysiert und bewertet werden (ENISA 2009). Dabei muss insbesondere das Ausfallrisiko von Cloud Computing Anbietern berücksichtigt werden, da Anbietersausfall zu starken Produktivitätsverlusten bei Unternehmen führen kann (Lee et al. 2003, S.88), wenn der reibungslose Ablauf abhängiger Geschäftsprozesse nicht mehr gewährleistet ist (Martens und Teuteberg 2011). Venters und Whitley (2012) weisen jedoch darauf hin, dass in vielen Unternehmen nur mangelhaftes Wissen über die Kosten von Cloud Computing vorhanden ist, Nutzeneffekte nicht richtig bewertet, und Risiken nur begrenzt

quantitativ gemessen werden können. Aus diesem Grund wird in Beitrag 6 ein Modell zur Bewertung von Cloud Computing-Services entwickelt, welches insbesondere die korrekte Bewertung des Ausfallrisikos von Cloud Computing-Anbietern ermöglichen soll. Folgende Forschungsfragen werden behandelt:

F III. 9 Wie können Cloud Service-Anbieter korrekt bewertet werden und dabei Auszahlungen und Cloud Computing-spezifische Risiken und Abhängigkeiten berücksichtigt werden, um somit zur Schöpfung des ökonomischen und ökologischen Potenzials von Cloud Computing beizutragen?

F III.10 Wie kann das entwickelte Bewertungsmodell in der Praxis eingesetzt werden?

- Kapitel IV: Fazit und Ausblick

In Kapitel IV werden die wesentlichen Erkenntnisse der vorliegenden Dissertationsschrift zusammengefasst und ein Ausblick auf den künftigen Forschungsbedarf gegeben.

### **I.3 Literatur**

Amram M, Kulatilaka N (1999) Real Options – Managing Strategic Investment in an Uncertain World. Harvard Business School Press, Boston, USA

Bengtsson F, Pär JA (2011) Information Technology as a Change Actant in Sustainability Innovation: Insights from Uppsala. The Journal of Strategic Information Systems 20(1):96-112

Berl A, Gelenbe E, Di Girolamo M, Giuliani G, De Meer H, Dang MQ, Pentikousis K (2010) Energy-efficient cloud computing. The Computer Journal 53(7):1045-1051

Bleischwitz R, Hagelüken C, Lang D, Meißner S, Reller A, Wäger P (2009) Seltene Metalle - Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Schrift der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften 41:1-32

Boudreau MC, Chen A, Huber M (2007) Green IS: Building Sustainable Business Practices. Information Systems, Global Text Project, 1-15

BSI Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Was ist Cloud Computing?  
[https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/CloudComputing/Grundlagen/Grundlagen\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/CloudComputing/Grundlagen/Grundlagen_node.html)



- 
- Buhl HU, Laartz J (2008) Warum Green IT nicht ausreicht – oder: Wo müssen wir heute anpacken, damit es übermorgen immer noch gut geht? WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(4):261-265
- Christian R (2010) Smart Grids are the Key Enabler for green Energy System Deployment Around the Globe. 1<sup>st</sup> IEEE Smart Grid World Forum
- Commerzbank (2011), Rohstoffe und Energie: Risiken umkämpfter Ressourcen. Frankfurt am Main, Deutschland
- Da Silva PP (2007). EU Spot Prices and Industry Structure: Assessing Electricity Market Integration. International Journal of Energy Sector Management 2:340-350
- Darnall N (2009) Environmental Regulations, Green Production Offsets and Organizations' Financial Performance. Public Administration Review 69:418-434
- Delmas MA, Toffel MW (2008) Organizational Responses to Environmental Demands: Opening the Black Box. Strategic Management Journal 29: 1027-1055
- Deutsche Bank (2007) Rohstoff-Risiken managen.  
[https://www.globalbanking.db.com/docs/WiWo\\_Advertorial\\_Rohstoffe\\_0907.pdf](https://www.globalbanking.db.com/docs/WiWo_Advertorial_Rohstoffe_0907.pdf)
- Deutscher Bundestag (2011) Plenarprotokoll 17/117.  
<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btp/17/17117.pdf>
- Dillard J, Dujon V, King MC (2009) Understanding the social dimension of sustainability. Routledge, New York, USA und London, England
- Dyllick T, Hockerts K (2002) Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. Business Strategy and the Environment 11(2): 130-141
- Elkington J (1994) Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. California Management Review 36:90-100
- ENISA (2009) Cloud Computing Risk Assessment.  
[http://www.enisa.europa.eu/activities/risk-management/files/deliverables/cloud-computing-risk-assessment/at\\_download/fullReport](http://www.enisa.europa.eu/activities/risk-management/files/deliverables/cloud-computing-risk-assessment/at_download/fullReport)
- Erek K, Schmidt NH, Zarnekow R, Kolbe LM (2010) Green IT im Rahmen eines nachhaltigen Informationsmanagements. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 47(274):18-27

- 
- European Commission (2011) Directorate-General for Energy, Priorities for 2020 and Beyond - A Blueprint for an Integrated European Energy Network
- Fam A, Rizkalla S (2001) Behavior of axially loaded concrete-filled circular fiber-reinforced polymer tubes. *ACI Structural Journal* 98:280-289
- Figge F, Hahn T, Schaltegger S, Wagner M (2002) The Sustainability Balanced Scorecard: Theory and Application of a Tool for Value-Based Sustainability Management. Proceedings of the Greening of Industry Network Conference, Göteborg, Schweden
- Flyvbjerg B, Budzier A (2011) Why your IT Project may be riskier than you think. *Harvard Business Review* 89(9):23-25
- Fujitsu Inc. (2010) Green IT: The Global Benchmark, A Report on Sustainable IT in the USA, UK, Australia and India.  
[http://www.ictliteracy.info/inf/pdf/green\\_IT\\_global\\_benchmark.pdf](http://www.ictliteracy.info/inf/pdf/green_IT_global_benchmark.pdf)
- Gottschalk I, Kirn S (2013) Eignet sich Cloud-Computing als Instrument zur Förderung ökologischer Ziele? *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 55(5): 299-314
- ISO California: Smart Grid – Roadmap and Architecture.  
<http://www.caiso.com/Documents/SmartGridRoadmapandArchitecture.pdf>
- Klassen RD, Whybark DC (1999) The Impact of Environmental Technologies on Manufacturing Performance. *The Academy of Management Journal* 42(6): 599-615
- Kumar K, Lu YH (2010) Cloud computing for mobile users: can offloading computation save energy? *IEEE Computer* 43(4):51-56
- Kurapatskie B, Darnall N (2013) Which Corporate Sustainability Activities are Associated with Greater Financial Payoffs? *Business Strategy and the Environment* 22:49-61
- Lee JN, Huynh MQ, Kwok RCW, Pi SM (2003) IT Outsourcing Evolution: Past, Present, and Future. *Communications of the ACM* 46(5):84-89
- Lee JY, Yi CK, Jeong HS, Kim SW, Kim J (2009) Compressive response of concrete confined with steel spirals and FRP composites. *Journal of Composite Materials* 44:481-504
- Lin CC, Yang CH, Shyua JZ (2013) A Comparison of Innovation Policy in the Smart Grid Industry Across the Pacific: China and the USA. *Energy Policy* 57:119-132

- 
- Lützkendorf T, Mrics D (2008) Next Generation Decision Support Instruments for the Property Industry – Understanding the Financial Implications of Sustainable Building. World Sustainable Building Conference, Melbourne, Australien
- Margolis JD, Walsh JP (2003) Misery loves companies: Rethinking social initiatives by business. *Administrative Science Quarterly* 48:268-305
- Martens B, Teuteberg F (2011) Decision-making in Cloud Computing Environments: A Cost and Risk Based Approach. *Information Systems Frontiers* 14(4):871-893
- McCalley LT (2006) From Motivation and Cognition Theories to Everyday Applications and Back Again: The Case of Product-Integrated Information and Feedback. *Energy Policy* 34(2):129-137
- Pinkse J, Dommisse M (2009) Overcoming barriers to sustainability: an explanation of residential builders' reluctance to adopt clean technologies. *Business Strategy and the Environment* 18:515-527
- Römer B, Reichhart P, Kranz J, Picot A (2012) The role of smart metering and decentralized electricity storage for smart grids: The importance of positive externalities. *Energy Policy* 50:486-495
- Rottke NB (2009). *Ökonomie vs. Ökologie – Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft*. Immobilien Manager, Köln, Deutschland
- Seidel S, Recker J, Pimmer C, vom Brocke J (2010) Enablers and Barriers to the Organizational Adoption of Sustainable Business Practices. *AMCIS 2010 Proceedings*, Paper 427
- Silvius AJG (2012) The Role of Organizational Change in Green IS: Integrating Sustainability in Projects. *CONF-IRM Proceedings*, Paper 35
- Silvius AJG (2008) The Business Value of IT; Seeing the Forest through the Trees. *European and Mediterranean Conference on Information Systems*, Dubai, Vereinigte Arabische Emirate
- Stanwick SD, Stanwick PA (2000) The Relationship Between Environmental Disclosures and Financial Performance: An Empirical Study of US Firms. *Eco-Management and Auditing* 7:155-164

- 
- Stewart W, Coulson S, Wilson R (2007) Information Technology: When is it Worth the Investment? Communications of the IIMA 7(3), International Information Management Association Inc., San Bernadino, USA
- The Climate Group (2008) Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. <http://www.smart2020.org>
- Teuteberg F, Gómez JM (2010) Green Computing & Sustainability: Status quo und Herausforderungen für betriebliche Umweltinformationssysteme der nächsten Generation. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 47(274):6-17
- Venters W, Whitley EA (2012) A Critical Review of Cloud Computing: Researching Desires and Realities. Journal of Information Technology 27(3):179-197
- Watson RT, Boudreau MC, Chen AJ (2010) Information Systems and Environmentally Sustainable Development; Energy Informatics And New Directions for the IS Community, MIS Quarterly 34(1):1-21
- WCED World Commission on Environment and Development (1987) Our Common Future. Oxford University Press, Oxford, England
- Wilson C, Dowlatabadi H (2007) Models of Decision Making and Residential Energy Use. Annual Review of Environmental Resources 32:169-203

## II Die Absicherung von Rohstoffrisiken (Beitrag 1)

Autoren:	Gilbert Fridgen Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Professur für Wirtschaftsinformatik und nachhaltiges IT- Management Universität Bayreuth, D- 95447 Bayreuth gilbert.fridgen@uni-bayreuth.de  Christian König, Philipp Mette Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg christian.koenig@wiwi.uni-augsburg.de philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de  Andreas Rathgeber Institut für Materials Resource Management, Professur für Wirtschaftsinformatik, insb. Finanz- & Informationsmanagement Universität Augsburg, D-86135 Augsburg andreas.rathgeber@mrm.uni-augsburg.de
Erschienen 2013 in:	ZfbF Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 65(2): 167-190

### **Zusammenfassung:**

*Moderne High-Tech Produkte benötigen spezifische Rohstoffe verschiedener chemischer Elemente. Insbesondere die so genannten seltenen Erden spielen aktuell und künftig eine besonders wichtige Rolle. Dabei unterliegen Verfügbarkeit und Preis dieser Rohstoffe in hohem Maße einer durch viele Einflussfaktoren bedingten Unsicherheit. Da Unternehmen oftmals über Jahre hinweg an bestimmte Rohstoffe gebunden sind, müssen sie dieser Gefahr mit vielfältigen Strategien begegnen. Hierzu wird in diesem Beitrag ein Disziplinen*

---

*übergreifender und praxisorientierter Gesamtüberblick über Rohstoffrisiken und mögliche Absicherungsmaßnahmen gegeben. Diese sollen zunächst vorgestellt und aus Unternehmenssicht strukturiert werden. Anschließend werden ausgewählte Absicherungsmaßnahmen zur Behandlung exemplarischer Rohstoffrisiken näher beleuchtet.*

## **II.1 Einleitung**

Die Entwicklung und Herstellung von modernen Produkten wie Mobiltelefonen, Flachbildschirmen, Windkraftträdern oder Photovoltaikanlagen benötigt eine stetig zunehmende Menge an Rohstoffen einer zunehmenden Anzahl verschiedener chemischer Elemente. Insbesondere die für Deutschland so wichtigen Zukunftstechnologien (Bleischwitz et al. 2009, S. VI) weisen eine hohe, stetig steigende Abhängigkeit von spezifischen Rohstoffen auf (Johnson et al. 2007, S. 1759). So werden beispielsweise für die Herstellung einer einzigen Windkraftanlage durchschnittlich zwei Tonnen des seltenen Metalls Neodym benötigt (Milmo 2010). Bei der Produktion von Flachbildschirmen und Mobiltelefonen sind zwar nur sehr geringe Mengen des Rohstoffs Indium nötig, verfügbare Alternativen ohne den Einsatz von Indium „sind aber den gängigen Lösungen hinsichtlich Produkteigenschaften und Produktionseffizienz unterlegen“ (Christen 2005, S. 61). Das zunehmende Interesse an diesen Produkten insbesondere auch aus den Schwellenländern, deren steigende Kaufkraft und die weiter wachsende Weltbevölkerung lassen eine noch weiter ansteigende Rohstoffnachfrage in der Zukunft erwarten, die „schon bald alle Grenzen sprengen“ (Radermacher und Beyers 2009, S. 12) würde. Obwohl fast alle Rohstoffe aus geologischer Sicht auf absehbare Zeit nicht von Knappheit bedroht sind, ist die Verfügbarkeit wirtschaftlich und politisch nutzbarer Lagerstätten zukünftig nicht gewährleistet. Hinzu kommt, dass die Erschließung einer neuen Mine bis zum regulären Förderbetrieb bis zu zehn Jahre dauern kann (o.V. 2009, S. W1). Verschärft wird diese Situation noch durch erdgeschichtliche Fakten: So wurden Rohstoffe bei der Erdentstehung aufgrund unterschiedlicher geophysikalischer Eigenschaften wie Schmelzpunkt oder Dichte ungleichmäßig verteilt und weisen länderspezifisch konzentrierte Vorkommen auf. Unter anderem als eine Folge davon kann die Volksrepublik China circa 97% der weltweiten Produktion von in der Erdkruste sehr selten vorkommenden Rohstoffen, den so genannten Metallen der seltenen Erden, fördern (European Commission 2010, S. 38). Aufgrund gestiegenen Eigenbedarfs werden dort jedoch die Exporte stetig gedrosselt, beispielsweise Mitte 2011 um 30% (o.V. 2011b, S. 65, Bradsher 2010, S. B4). Somit unterliegen Rohstoffe im Allgemeinen aufgrund der Unmöglichkeit der kurzfristigen

---

Ausweitung des Angebots und der relativ preisunelastischen Nachfrage hohen Preisvolatilitäten, die in den allermeisten Fällen höher als Wechselkurs- und Zinsschwankungen sind (Bartram 2005, S. 163). Unternehmen binden sich aufgrund zum Teil langer Produkt- (wie zum Beispiel in der Flugzeugindustrie) oder Bauteillaufzeiten (wie zum Beispiel im Automobilbau oder in der Elektronikindustrie) teilweise über zehn Jahre an einen Rohstoff. Der strategische Einkauf von Rohstoffen erstreckt sich in den meisten Unternehmen hingegen kaum auf einen längeren Zeitraum als zwei Jahre. Durch dieses Auseinanderklaffen können bei Unternehmen erhebliche Risiken schlagend werden. Dies kann tiefgreifenden Einfluss auf das Betriebsergebnis haben und in extremen Fällen sogar bis zur Zahlungsunfähigkeit führen (o.V. 2007, S. 2).

Dieser Gefahr können Unternehmen mit vielfältigen Absicherungsmaßnahmen begegnen. So beschäftigt sich die betriebswirtschaftliche Fachliteratur beispielsweise mit Rohstoffderivaten zur Risikoabsicherung (bspw. Buhl et al. 2011, Johnson 1960, S. 139-151, Chen et al. 2003, S. 433-465, Gebhardt und Mansch 2001, S. 124-145) oder losgelöst davon mit der deterministischen Optimierung der Lagerbestände und Einkaufsketten, wobei bei letzterem die Risikoabsicherung bisher meist im Hintergrund steht. Materialwissenschaftliche und technische Aspekte bleiben dabei weitgehend unberücksichtigt. Natur- und ingenieurwissenschaftliche Disziplinen beschäftigen sich dagegen mit der Erforschung neuer Materialien, neuer technischer Möglichkeiten wie etwa der Miniaturisierung und Möglichkeiten zur Rohstoffsubstitution (Lee et al. 2009, S. 481-504, Fam und Rizkalla 2001, S. 280-289). Allerdings hat dort eine ökonomische Bewertung meist nur untergeordneten Stellenwert und berücksichtigt keine Aspekte der Risikoabsicherung, die durch eine Substitutionsoption ohne Zweifel vorhanden sein können. Folglich werden diverse Teilaspekte des vorliegenden Problems zwar tiefgehend beleuchtet, ein Disziplinen übergreifender und praxisorientierter Gesamtüberblick über Rohstoffrisiken, die auf Unternehmen einwirken und mögliche Absicherungsinstrumente gegen diese existiert jedoch nicht.

Aus diesem Grund werden im vorliegenden Beitrag zunächst typische Rohstoffrisiken gesammelt, vorgestellt und aus Unternehmenssicht strukturiert. Weiterhin werden mögliche ökonomische und technische Absicherungsmaßnahmen gegen Rohstoffrisiken beschrieben und eingeordnet und beispielhaft ausgewählte, aus verschiedenen Disziplinen stammende, Handlungsstrategien im Umgang mit Rohstoffrisiken beleuchtet. Schließlich werden allgemeine Handlungsempfehlungen für Unternehmen gegeben, die vor der beschriebenen

---

Herausforderung stehen, und diese an einem Beispiel konkretisiert. Auf diese Weise soll eine Grundlage für unternehmerische Entscheidungen, wissenschaftliche Forschung und Kooperationen von Wissenschaft und Praxis geschaffen werden.

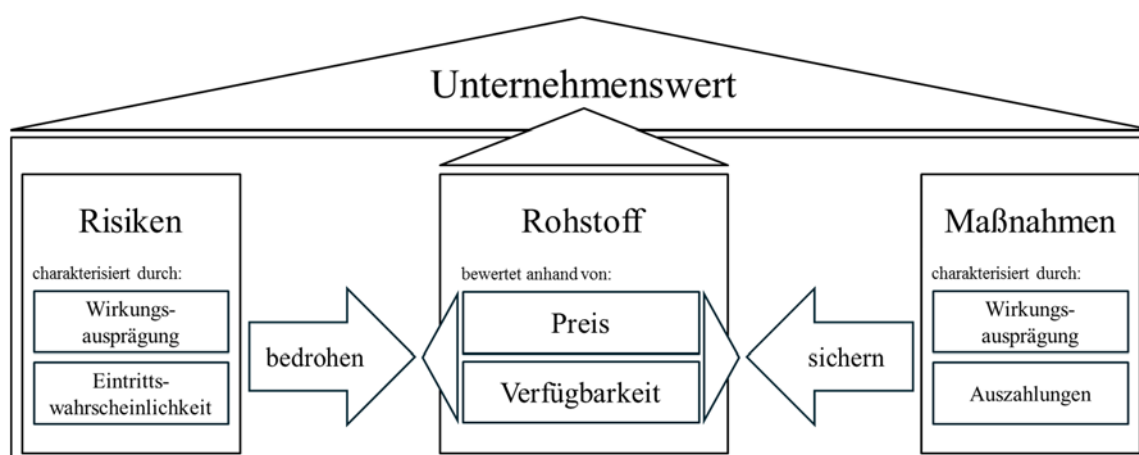
## **II.2 Einführung in das Rohstoffmanagement**

Als Rohstoffe werden alle Güter natürlichen, pflanzlichen oder mineralischen Ursprungs bezeichnet, die entweder nicht oder nur in einem für den Transport und Handel notwendigen Ausmaß be- oder verarbeitet sind (U.S. Office of Public Affairs 1948, IV-A, Article 56). Rohstoffe werden in aller Regel in erneuerbare Rohstoffe (Agrarrohstoffe, Vieh oder Wasser) und nicht-erneuerbare Rohstoffe eingeteilt. Als nicht erneuerbar gelten Gesteine, Salze, metallische Rohstoffe wie Eisen, Aluminium oder Kupfer und fossile Rohstoffe wie Kohle oder Erdöl. Insbesondere bei metallischen Rohstoffen ist die Reproduzierbarkeit nur extrem eingeschränkt möglich, da diese durch die Zahl der Protonen und damit auch durch das Atomgewicht als Element des Periodensystems festgelegt sind (Elemente des Periodensystems können dabei nur durch Kernspaltung oder Kernfusion verändert werden). Elemente und damit auch Metalle, die ein geringes Atomgewicht aufweisen, wie Eisen, Kupfer und Aluminium sind auf der Erde relativ häufig zu finden. In letzter Zeit wurden aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften aber Metalle immer wichtiger, die sich durch ein hohes Atomgewicht auszeichnen, wie etwa Indium, Gallium oder Germanium. Diese Metalle werden dabei auch als seltene Metalle bezeichnet, da sie in der Erdkruste in einer Konzentration von weniger als 0,01 Gewichtsprozenten vorkommen (Skinner 1979, S. 4214). Diese sind jedoch für moderne Technologien aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften äußerst wichtig. So wurden mehr als 80% der Mengen, die seit 1900 aus mineralischen Lagerstätten gewonnen wurden, erst in den vergangenen 30 Jahren abgebaut (Bleischwitz et al. 2009, S. 6). Eine Untergruppe von seltenen Metallen, die so genannten Metalle der seltenen Erden, sind aufgrund ihrer Anwendungsmöglichkeiten im besonderen Fokus der Industrie. Im Gegensatz zu anderen seltenen Metallen existieren für Metalle der seltenen Erden weltweit nur vergleichsweise wenige Lagerstätten, da diese nur in kleinen Mengen und weit verstreut oder als Bestandteil in anderen Mineralien vorkommen.

Natur- und ingenieurwissenschaftlich gesehen richtet sich der Einsatz der verschiedenen Rohstoffe nach deren vielfältigen technischen Eigenschaften wie beispielsweise Brennwert, elektrische Leitfähigkeit, Magnetisierbarkeit, Wärmeleitfähigkeit, Verformbarkeit, Schmelz- und Siedepunkte oder die Eignung für Legierungen. Im Fokus der Wirtschaftswissenschaften



stehen bei gegebenen Einsatzmöglichkeiten der Rohstoffe die beiden ökonomischen Kerneigenschaften *Preis* und *Verfügbarkeit* eines Rohstoffs (siehe Abbildung II-1). Andere möglicherweise ökonomisch relevante Eigenschaften wie Umweltverträglichkeit oder Exportbeschränkungen von Rohstoffen lassen sich grundsätzlich auf diese beiden Kerneigenschaften zurückführen. So ist die politisch intendierte Verknappung der Fördermenge eines Rohstoffs für ein Unternehmen zumindest kurzfristig nicht von direkter Bedeutung. Erst die mit der Verknappung einhergehenden Auswirkungen wie gestiegene Einkaufspreise oder verfügbarkeitsbedingte Produktionsausfälle besitzen ökonomische Relevanz.



**Abb. II-1: Die ökonomischen Kerneigenschaften von Rohstoffen zwischen Risiken und unternehmerischen Absicherungsmaßnahmen**

Risiken, welche mit einer bestimmten *Wahrscheinlichkeit* eintreten, können Veränderungen der Ausprägungen der beiden ökonomischen Kerneigenschaften auslösen. Je nach ihrer *Wirkungsausprägung* können sie dabei auf den Preis, auf die Verfügbarkeit, oder aber auf beide Eigenschaften zugleich Einfluss nehmen. In diesen Fällen weichen realisierte Zahlungsströme, wie beispielsweise der Einkaufspreis eines Rohstoffs oder die Herstellkosten eines Produkts, von erwarteten Werten ab. Dies wird deutlich, wenn man den Unternehmenswert im Sinne der wertorientierten Unternehmensführung betrachtet. Dann lässt sich dieser als Barwert der zukünftigen risikobehafteten Zahlungsüberschüsse darstellen. Diese sind wiederum (neben vielen anderen Einflussfaktoren) von Rohstoffverfügbarkeit und Rohstoffpreisen abhängig:

$$\begin{aligned}
 \text{Unternehmenswert} &= \\
 &= \sum_{t=0}^{\infty} \frac{EZ[\text{Produktionsmenge}(\text{Rohstoffmenge}, \dots)]_t - AZ[\text{Rohstoffmenge und -preise}, \dots]_t}{(1+i)^t}
 \end{aligned}$$

---

(Kapitalkostensatz  $i$ , Planungszeitraum  $t=0$  bis  $\infty$ , *Einzahlungen*  $EZ$  und *Auszahlungen*  $AZ$  als Funktion von Zufallsvariablen)

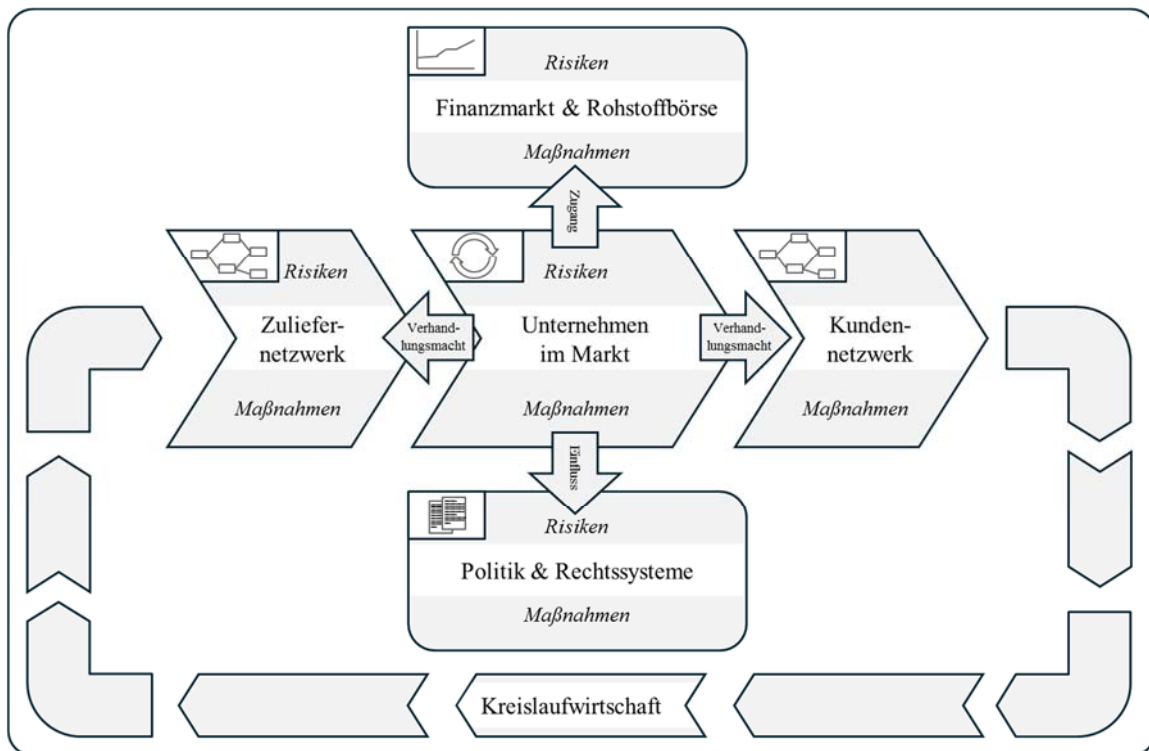
Steigende Rohstoffpreise erhöhen die Auszahlungen  $AZ$  und wirken wertsenkend. Mangelnde Verfügbarkeit senkt zwar die Einkaufsmengen und somit die Auszahlungen, wirkt aber andererseits auch einzahlungs- ( $EZ$ ) und damit wertsenkend.

Gegen diese Risiken können sich Unternehmen durch die Nutzung von Absicherungsmaßnahmen schützen. Absicherungsmaßnahmen, welche zur Erreichung dieses Ziels eingesetzt werden können, lassen sich anhand der *Auszahlungen* ihres Einsatzes und anhand ihrer *Wirkungsausprägung* auf Preis- und/oder Verfügbarkeitsrisiken analog zu den Rohstoffrisiken kategorisieren. Dabei ist zu beachten, dass die Auszahlungsstruktur der Absicherungsmaßnahmen unterschiedlich ist (je nach Ausgestaltung einmalige Anfangsauszahlung oder periodisch wiederkehrende Auszahlungen für die Absicherung).

## **II.3 Rohstoffrisiken und Absicherungsstrategien im Unternehmensumfeld**

### **II.3.1 Systematik**

Die auf Unternehmen einwirkenden Rohstoffrisiken sowie mögliche Absicherungsmaßnahmen werden im Folgenden den verschiedenen Bereichen des Unternehmens und des Unternehmensumfelds zugeordnet. Dabei ist zu beachten, dass die Wirkung der Absicherungsinstrumente, die einem Bereich zugeordnet sind, im Regelfall nicht nur auf die in diesem Bereich auftretenden Rohstoffrisiken beschränkt ist, sondern oftmals auch die Absicherung von Risiken aus anderen Bereichen des Unternehmens und des Unternehmensumfelds ermöglichen. Die Menge aller verfügbaren Absicherungsinstrumente markiert den Möglichkeitsraum unternehmerischen Handels im Umgang mit den beschriebenen Herausforderungen. Von Bedeutung sind dabei auch die Schnittstellen zwischen Unternehmen und Unternehmensumfeld, welche sich auf die Anwendbarkeit eines Absicherungsinstruments auswirken können (beispielsweise die Verhandlungsmacht zu Kunden und Lieferanten). Abbildung II-2 stellt die Zuordnung von Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen zu den Bereichen des Unternehmens und des Unternehmensumfelds im Sinne eines Ordnungsrahmens für das materialwissenschaftliche und ökonomische Rohstoffrisikomanagement dar.



**Abb. II-2: Bereiche des Unternehmens und des Unternehmensumfelds mit Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen**

Im Folgenden sollen die einzelnen Bereiche aus *Abbildung 2* kurz beschrieben werden, wobei einerseits die jeweiligen Rohstoffrisiken und andererseits mögliche Absicherungsmaßnahmen und deren Anwendung in der Praxis exemplarisch aufgeführt werden.

### II.3.2 Unternehmen im Markt

Im Zentrum dieser Betrachtung stehen die Unternehmen, welche aus mehreren Abteilungen, wie Beschaffung, Produktion, Vertrieb oder Finanzen bestehen. Diese Abteilungen sind in unterschiedlichen Rollen am Produktionsprozess und somit an der Verarbeitung von Rohstoffen beteiligt. Diese Aufgaben- und Verantwortungstrennung birgt jedoch Potenzial für Rohstoffrisiken. Sind Unternehmensabteilungen unzureichend miteinander vernetzt oder erfolgt der Wissensaustausch nur wenig professionalisiert, so bestehen Mängel bei der Verknüpfung eigentlich vorhandener aber verteilter Informationen über Abhängigkeiten von einzelnen Rohstoffen. Ebenso können sich Rohstoffrisiken auch aus Informationsüberlastung oder aus mangelnder Verfügbarkeit von benötigten Informationen ergeben (Informationsflut bzw. Informationsmangel) (Krcmar 2009, S. 52). Entscheidungsträger verfügen daher heute häufig gar nicht über die informatorische Ausstattung, um fundierte Entscheidungen über den

Einsatz von Absicherungsmaßnahmen treffen zu können (Rohstoffrisiko: *Informationswirtschaftliches Ungleichgewicht*).

Das Unternehmen im Markt hat jedoch die Möglichkeit sich selbst gegen Rohstoffrisiken abzusichern. So können Maßnahmen und Methoden des modernen Informationsmanagements zur Schaffung einer tragfähigen informatorischen Ausgangssituation und somit zur Herstellung eines informationswirtschaftlichen Gleichgewichts beitragen (Absicherungsmaßnahme: *Unternehmensinternes Informationsmanagement*). Auch technische Maßnahmen beinhalten das Potenzial die Abhängigkeit von Rohstoffen zu reduzieren. So können Produktmodifikationen den Anteil kritischer Rohstoffe am Produkt verändern (Absicherungsmaßnahme: *Forschung & Entwicklung & Substitution*). Weiterhin besteht fast immer die Möglichkeit benötigte Rohstoffe zumindest kurz- bis mittelfristig auch physisch vorzuhalten (Absicherungsmaßnahme: *Lagerung*). Insbesondere beim unternehmensinternen Informationsmanagement besteht in der Praxis noch deutliches Verbesserungspotenzial. Neben IT-gestützten Lösungen zur Informationsbereitstellung sollte ebenso durch die Organisationsstruktur des Unternehmens die Möglichkeit geschaffen werden, benötigte Informationen an zentraler Stelle verfügbar zu machen. Bisher wird dies durch die Trennung der Aufgabenbereiche von beispielsweise Einkauf und Finanzabteilung noch erschwert (KPMG 2007, S. 12), wobei sich der Einkauf gegenüber der Finanzabteilung meist zurückgesetzt fühlt (Roland Berger 2011). Nach einer Studie der Commerzbank nutzt zumindest jedes siebte von 4000 befragten mittelständischen Unternehmen Lagerung zur Absicherung von Risiken, im verarbeitenden Gewerbe sind es immerhin 22% (Commerzbank 2011, S. 44). Forschung & Entwicklung wird nach einer Studie des Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (vbw) von 20% von ca. 2000 befragten Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes in Bayern als Absicherungsmaßnahme eingesetzt (vbw 2011).

### **II.3.3 Zuliefernetzwerk**

Zur Rohstoffbeschaffung nutzen Unternehmen ein Netzwerk aus meist mehreren Zulieferern, welche ihrerseits wiederum über ein Zuliefernetzwerk verfügen und auch ihrerseits untereinander in Beziehung stehen können. Zuliefernetzwerke sind daher häufig so komplex, dass Unternehmen keine genaue Kenntnis mehr haben, welche Beziehungen zwischen den einzelnen Netzwerkteilnehmern bestehen. Über mehrere Stufen der Lieferkette hinweg kann damit eine ganze Branche nur von wenigen Zulieferern oder Lagerstätten abhängig sein. Mögliche Rohstoffrisiken entstehen deshalb durch die Gefahr eines Ausfalls einzelner

---

zentraler Netzwerkteilnehmer (Rohstoffrisiko: *Lieferantenausfall*) oder aber durch Verfügbarkeitschwierigkeiten am Anfang des Liefernetzwerks (Rohstoffrisiko: *Geologische Risiken / Unsichere Verfügbarkeit*). Darüber hinaus unterliegen die meisten Rohstoffe auch einem langfristig ansteigenden Preistrend (Clark 2005, S. 135), welcher auf Inflation und grundsätzliche Endlichkeit der Rohstoffe zurückzuführen ist (Hotelling 1931, S. 137-175, Krautkraemer 1998, S. 2065-2107) (Rohstoffrisiko: *Langfristiger Preisanstieg durch Verknappung*). Darüber hinaus sind durch die zum Teil zwischen den Zulieferern vorherrschenden komplexen Abhängigkeitsstrukturen auch systemische Risiken zu berücksichtigen, die in einem singulären Bereich auftretende Risiken in einem Dominoeffekt zu schwerwiegenden Auswirkungen für alle im System beteiligten Akteure werden lassen können (Rohstoffrisiko: *Systemische Risiken*).

Zur Absicherung von Preis- und/oder Verfügbarkeitsrisiken im Zuliefernetzwerk kann die Rohstoffbeschaffung von mehreren Zulieferern (Absicherungsmaßnahme: *Diversifikation*), die Bindung der Zulieferer durch langfristige Verträge mit vereinbarten fixen oder variablen Preisen (Absicherungsmaßnahme: *Langfristige Lieferverträge*), oder sogar die Rückwärtsintegration (Absicherungsmaßnahme: *Investition in Zulieferer*) genutzt werden. Diese Maßnahmen können umso besser durchgesetzt werden, je mehr Verhandlungsmacht ein Unternehmen gegenüber seinen Zulieferern ausüben kann. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit durch Einkaufsgemeinschaften die Auftragsmenge zu erhöhen, um somit die Verhandlungsposition gegenüber Zulieferern zu stärken (Absicherungsmaßnahme: *Beschaffungskoooperation*). Etwa die Hälfte der Unternehmen ist entsprechend einer Studie der Commerzbank aufgrund der Marktentwicklungen aktuell auf der Suche nach neuen Lieferanten, um sich so breiter zu diversifizieren. Ein Viertel der Unternehmen versucht zudem, den steigenden Preisen durch Bildung von Einkaufsgemeinschaften zu begegnen. Langfristige Lieferverträge sind das mit etwa 80% am häufigsten genannte Absicherungsinstrument. Dagegen halten nur wenige Unternehmen eine Investition in Zulieferer für eine sinnvolle Möglichkeit und handeln demgemäß. So beträgt der Anteil sich unternehmerisch an Rohstoffproduzenten beteiligenden Unternehmen nur 4%, bei den befragten Unternehmen mit mehr als 100 Millionen Euro Umsatz aber immerhin 19% (Commerzbank 2011, S. 44).

### II.3.4 Kundennetzwerk

Die aus Rohstoffen erstellten Produkte werden anschließend an ein Kundennetzwerk weitergegeben. Da die verwendeten Rohstoffe zu diesem Zeitpunkt damit bereits beschafft wurden, sowie die entsprechenden Preise im Regelfall bezahlt beziehungsweise ausgehandelt wurden, bestehen bei der Weitergabe der Produkte an das Kundennetzwerk keine direkten Preis- und/oder Verfügbarkeitsrisiken. Nichtsdestotrotz können entsprechend flexibel gestaltete Lieferverträge mit mehreren Abnehmern zur Absicherung der Einzahlungen beitragen, beispielsweise bei sich ändernden Einkaufspreisen oder bei Lieferschwierigkeiten aufgrund von Verfügbarkeitsengpässen (Absicherungsmaßnahme: *Langfristige Lieferverträge*). Wie im Zuliefernetzwerk, so ist auch im Kundennetzwerk die Verhandlungsmacht entscheidend für die Umsetzung der Absicherungsmaßnahmen. So können Unternehmen in einer ungünstigen Verhandlungsposition gestiegene Preise ihrer Lieferanten nicht an ihre Kunden weitergeben, eine starke Verhandlungsposition kann hingegen neben gestiegenen Preisen möglicherweise auch zwischenzeitliche Verfügbarkeitsengpässe abfedern.

Gerne würden etwa zwei Drittel der Unternehmen Rohstoffrisiken auf ihre Kunden umlegen („Natural Hedging“) (KPMG 2007, S. 14), können dies aber oftmals aufgrund der Marktmacht dieser nicht umsetzen, wie beispielsweise in der Automobilzuliefererindustrie zu beobachten ist (o.V. 2007, S. 4). Bestärkt wird diese Beobachtung durch eine Studie aus dem Jahr 2006 bei 60 Einkaufsmanagern der größten Industrieunternehmen Österreichs. Hiernach gilt die Weitergabe von Preisrisiken an die Kunden, wie zum Beispiel durch Preisgleitklauseln, als probates Absicherungsinstrument (A.T. Kearney 2006). Dabei ist die Weitergabe von gestiegenen Kosten insbesondere in den Bereichen Verkehr und Logistik besonders populär.

### II.3.5 Finanzmarkt & Rohstoffbörse

An Finanzmarkt und Rohstoffbörse können grundsätzlich vorhandene Mechanismen und Strukturen zum Handel von Rohstoffderivaten genutzt werden. Durch ein gesteigertes Spekulationsvolumen ist es denkbar, dass die Volatilität der Preise über das fundamental gerechtfertigte Maß hinaus ansteigt, was bei Finanzinstrumenten teilweise bestätigt wurde (Shiller 1981, S. 421-436) (Rohstoffrisiko: *Preisschwankung durch Spekulation*).

---

Geeignete Hedging-Instrumente wie Optionen oder Futures können jedoch zur Absicherung gegen unsichere Preisentwicklungen genutzt werden. Je nach Ausgestaltung des Finanzinstruments ist dabei nur ein Preis (Barausgleich), oder aber die reale, physische Lieferung des Rohstoffs gesichert. Entscheidend ist hierbei die Verteilung der Rechte zwischen Käufer (Long) und Verkäufer (Short) in den jeweiligen Kontrakten. Bestimmte Derivate lassen sich dabei auch auf andere Bereiche außerhalb von Finanzmarkt & Rohstoffbörse übertragen. So kann das Rohstoffrisiko *Lieferantenausfall* zum Teil mit Finanzinstrumenten wie Credit Default Swaps abgesichert werden (Absicherungsmaßnahme: *Financial Hedging*). Je besser dabei der Zugang der Unternehmen zu Finanzmarkt und Rohstoffbörse ist, das heißt je geringer vorherrschende Informations- und Transaktionskosten sind, desto einfacher und günstiger lassen sich Absicherungsmaßnahmen gegen Rohstoffrisiken im Bereich von Finanzmarkt & Rohstoffbörse anwenden. In der Praxis sichern sich heutzutage nur 10% der Unternehmen durch den gezielten Einsatz von Finanzinstrumenten gegen Rohstoffpreisrisiken ab. Zins- oder Währungsrisiken werden dahingegen von immerhin 40% der Unternehmen mit Finanzinstrumenten abgesichert. Als Gründe für dieses Missverhältnis geben Unternehmen an, dass die Absicherungsprodukte zu teuer, zu komplex und zu riskant seien (Commerzbank 2011, S. 59). Werden Finanzinstrumente zur Absicherung eingesetzt, handelt es sich dabei zumeist um Over-the-Counter Produkte, da mit standardisierten Finanzinstrumenten die jeweiligen individuellen Risiken nicht vollständig aufgefangen werden können. Zumeist nutzen Unternehmen zur Durchführung dieser Absicherungsgeschäfte Großbanken oder spezialisierte Institute, die hier auch spezialisierte Beratungsdienstleistungen anbieten (KPMG 2007, S. 22). Dass dieses Ergebnis stark durch die Unternehmensgröße geprägt ist, zeigt eine Studie von A.T. Kearney: Danach nutzte bereits im Jahr 2006 mehr als jedes zweite Unternehmen mit einem Umsatz größer als eine Milliarde Euro Finanzinstrumente zur Preisabsicherung (A.T. Kearney 2006).

### **II.3.6 Politik & Rechtssysteme**

Bei fast allen unternehmerischen Aktivitäten sind rechtliche und politische Rahmenbedingungen zu beachten. Deren Veränderungen können direkt auf Preis und/oder Verfügbarkeit von Rohstoffen wirken (Rohstoffrisiko: *Zölle / Importbeschränkungen*). Auch unstetige politische Verhältnisse und schwache Rechtssysteme sowie die damit einhergehende Instabilität der Rohstoffexploration und -förderung haben das Potenzial, den Preis und die Verfügbarkeit von Rohstoffen stark zu beeinflussen (Rohstoffrisiko: *Politische Instabilität*).

---

Dem gegenüber steht die politische Arbeit unternehmerischer Interessensgemeinschaften (Lobbyarbeit), die eigene rohstoffpolitische Ziele in die Politik tragen und auf diese Weise eine Umsetzung ihrer Interessen forcieren (Absicherungsmaßnahme: *Organisation in Interessensgemeinschaften*). Die in diesem Handlungsfeld skizzierte Möglichkeit zur Absicherung von Rohstoffrisiken ist selbstverständlich stark vom politischen Einfluss des Unternehmens beziehungsweise dessen Entscheidungsträgern abhängig und schwer objektiv steuer- oder messbar. Die Eignung von Interessensgemeinschaften zur Absicherung gegen Rohstoffrisiken ist zudem abhängig von politischen und rechtlichen Räumen, in denen die Unternehmen agieren. In der Praxis mittelständischer Unternehmen werden die politischen Unterstützungsmaßnahmen zu 75% als eher schlecht bewertet (vbw 2011). Hier wünschen sich Unternehmen noch weitergehendes handelspolitisches Engagement in den Erzeugerländern, um die Rohstoffversorgung sicherzustellen (Commerzbank 2011, S. 17). Als dringlichste Maßnahmen werden hier von Seiten der Politik die Liberalisierung der Märkte und gute diplomatische Beziehungen zu den Ländern der Rohstofflieferanten genannt (vbw 2011, S. 35).

### **II.3.7 Die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft als Absicherungsmaßnahme**

Die Kreislaufwirtschaft spielt im Rahmen des Rohstoffmanagements eine Sonderrolle, da sie eine Absicherungsmaßnahme darstellt, aber gleichzeitig keine Rohstoffrisiken bedingt. Durch die Nutzung von recyclingfähigen Rohstoffen und wiederverwendbaren Bauteilen in einem „Closed-Loop“-System durch den Einsatz von technischen Maßnahmen kann die Abhängigkeit von Rohstoffen fast vollständig eliminiert werden (Bleischwitz 2010, S. 227-244) (Absicherungsmaßnahme: *Recycling, Reuse, Remanufacturing*). Dem entgegen steht jedoch eine schwierige und mitunter langfristige Einführung. So müssen die Unternehmen sicherstellen, dass die Kunden ihre Produkte/Rohstoffe nach der Nutzung oder nach dem Weiterverkauf wieder in das geschlossene System einspeisen. Darüber hinaus müssen die wiederaufbereiteten Produkte/Rohstoffe wieder den eigenen Zulieferern zugeführt werden, was nur in einer unternehmensübergreifenden Koordinationsleistung gewährleistet werden kann. Während 60% Unternehmen die Steigerung der Ressourceneffizienz als einen möglichen Weg zur Absicherung erkannt haben, nutzen einer Studie zufolge nur etwa 30% Recycling als effizienzsteigernde Maßnahme (Commerzbank 2011, S. 20). Dass der Einsatz von Recycling als Absicherungsstrategie speziell für seltenere Elemente eine hervorragende Stellung einnimmt zeigte eine Befragung von 117 Experten aus Industrie und Technik (Achzet 2012).



### **II.3.8 Zusammenschau**

Die in das vorgestellte Unternehmensumfeld eingeordneten Preis- und Verfügbarkeitsrisiken sowie mögliche Absicherungsmaßnahmen werden nun in einer integrierten Übersicht in *Tabelle 1* dargestellt. Auf diese Weise werden die Wechselwirkungen von Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen deutlich, die wie beschrieben, typischerweise nicht auf einen einzelnen Unternehmensbereich beschränkt sind. Zusätzlich enthält die Tabelle II-1 eine grobe Einschätzung darüber, wie sich die aufgeführten exemplarischen Maßnahmen für die Absicherung gegen die jeweiligen Rohstoffrisiken eignen (+), bedingt eignen (o) oder nicht eignen (-). Im Rahmen dieser Betrachtung wird ersichtlich, dass Absicherungsmaßnahmen wie beispielsweise Forschung & Entwicklung & Substitution und Lagerung, die gegen sehr viele Rohstoffrisiken wirken, in der Praxis nicht in der zur erwartenden Häufigkeit eingesetzt werden (Forschung & Entwicklung bei 14% der befragten Unternehmen, Lagerung bei 20%). Dementgegen eignen sich langfristige Lieferverträge nur in gewissen Fällen zur Risikoabsicherung, dennoch wird diese Absicherungsmaßnahme in der Praxis am häufigsten genutzt. Auf eine ausführliche Erklärung aller Einschätzungen muss an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet werden. Aufgrund des weiten Themenfeldes und der Zielsetzung dieses Beitrags kann und soll an dieser Stelle keine vollständige Aufarbeitung aller Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen erfolgen. Vielmehr sollen nachfolgende Beispiele konkrete Fragestellungen für die Praxis aufzeigen und Denkanstöße zur Lösung individueller Probleme geben.

Tab. II-1: Exemplarische Zuordnung von Absicherungsmaßnahmen zu Rohstoffrisiken

Risiken	Maßnahmen																	
	Unternehmen im Markt				Zulieferernetzwerk					Kunden-netzwerk		Finanzmarkt & Rohstoffbörse	Politik & Rechtliche Rahmenbedingungen	Kreislauf-wirtschaft				
<b>Exemplarische Zuordnung möglicher Maßnahmen zu möglichen Risiken</b>	Unternehmensinternes Informationsmanagement	+																
	Forschung & Entwicklung & Substitution	-																
	Lagerung	-																
	...																	
	Diversifikation	-																
	Langfristige Lieferverträge	-																
	Investition in Zulieferer	o																
	Beschaffungsk Kooperationen	+																
	Unternehmensübergreifend Informationsmanagement	+																
	...																	
	Langfristige Lieferverträge	-																
	Finanzmarkt & Rohstoffbörse																	
Preisschwankung durch Spekulation	-																	
...																		
Zölle / Importbeschränkungen	-																	
Politik & Rechtliche Rahmenbedingungen	-																	
Politische Instabilität	-																	
...																		
Informationen im Markt																		
Informationswirtschaftliches Ungleichgewicht	+																	
...																		
Lieferantenausfall	-																	
Geologische Risiken / Unsichere Verfügbarkeit	-																	
Langfristiger Preisanstieg durch Verknappung	-																	
Systemische Risiken	+																	
...																		
Finanzmarkt & Rohstoffbörse																		
Preisschwankung durch Spekulation	-																	
...																		
Zölle / Importbeschränkungen	-																	
Politik & Rechtliche Rahmenbedingungen	-																	
Politische Instabilität	-																	
...																		
Unternehmensinternes Informationsmanagement	+																	
Forschung & Entwicklung & Substitution	-																	
Lagerung	-																	
...																		
Diversifikation	-																	
Langfristige Lieferverträge	-																	
Investition in Zulieferer	o																	
Beschaffungsk Kooperationen	+																	
Unternehmensübergreifend Informationsmanagement	+																	
...																		
Langfristige Lieferverträge	-																	
Finanzmarkt & Rohstoffbörse																		
Financial Hedging	-																	
...																		
Politik & Rechtliche Rahmenbedingungen																		
Organisation in Interessensgemeinschaften	o																	
...																		
Kreislauf-wirtschaft																		
Recycling, Reuse, Remanufacturing	+																	
...																		

Legende:  
 + Maßnahme kann im Allgemeinen zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden.  
 o Maßnahme kann in gewissen Fällen zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden.  
 - Maßnahme kann im Allgemeinen nicht zur Absicherung des Risikos eingesetzt werden.

---

## **II.4 Ausgewählte Fragestellungen in Bezug auf unternehmerische Absicherungsmaßnahmen zur Sicherung von Rohstoffpreis und -verfügbarkeit**

### **II.4.1 Die Nutzung von Kritikalitätsindizes als Frühwarnsystem für Rohstoffrisiken**

Zur Prognostizierung von Rohstoffrisiken mit dem Ziel der Gewährleistung von ökonomischer Planungssicherheit werden so genannte Kritikalitätsindizes entwickelt. Ziel dieser Kritikalitätsindizes ist die einfache und fortwährende Bereitstellung von aggregierten Informationen hinsichtlich der Knappheit von Rohstoffen. Auf Basis dieser Informationen lassen sich Rückschlüsse auf zukünftige Preis- und Verfügbarkeitsrisiken ziehen. Aufgrund des hohen Maßes an Komplexität aggregieren Kritikalitätsindizes mehrere Risikofaktoren zu meist einer Kennzahl, die die Knappheit eines Rohstoffes bemisst (Achzet et al. 2010). Rosenau-Turnow et al. (2009) bestimmen das Verfügbarkeitsrisiko von Rohstoffen beispielsweise anhand der Risikofaktoren Rohstoffproduktions- und Förderkosten, geostrategische Risiken, Marktmacht von Unternehmen sowie heutiger und zukünftiger Angebots- und Nachfragesituation. Bauer et al. (2010) nutzen für den gleichen Zweck die Risikofaktoren grundlegende Verfügbarkeit, politische, regulatorische und soziale Faktoren, Produzentendiversifizierung, Technologienachfrage sowie Co-Abhängigkeit auf anderen Märkten. Für jeden Risikofaktor werden durch Expertenbefragung Schätzwerte gebildet, die durch eine Aggregationsvorschrift zu einem Kritikalitätsindex aggregiert werden. Zu diesen Pionierarbeiten der Kritikalitätsmessung sind jedoch einige methodische und inhaltliche Anmerkungen zu machen.

So werden die genannten Risikofaktoren nach Bauer et al. mit starren Gewichten aggregiert, Rosenau-Turnow et al. nehmen hingegen sogar nur eine grafische Aggregation in einem Spinnennetzdiagramm vor. Die Europäische Kommission (2010) nutzt einen nach eigener Aussage „pragmatischen“ Ansatz zur Aggregation von Risikofaktoren. Auch eine quantitative und insbesondere monetäre Bewertung von Rohstoffrisiken findet durch Kritikalitätsindizes nur mit Einschränkung statt. Die existierenden quantitativen Methoden basieren dabei stets auf vergangenheitsbasierenden Daten, wobei eine statistische Überprüfung der Güte der Prognosewirkung noch nicht vorgenommen wird. Auch geschieht die Berechnung eines Kritikalitätsindex in den meisten Fällen nur in Form von rohstoffspezifischen Einzelstudien und ist damit nicht täglich aktuell. Dies kann beispielsweise nach weltpolitischen Großereignissen unzureichend sein. Zudem betrachten existierende Ansätze Rohstoffrisiken zumeist nicht aus Unternehmenssicht sondern wenn überhaupt dann nur bezogen auf ganze

Branchen oder auf nationaler und volkswirtschaftlicher Ebene, wodurch die praktische Anwendbarkeit deutlich erschwert wird.

Nimmt man diese Beobachtungen zusammen, so wird ersichtlich, dass erstens eine weitergehende Erforschung von Kritikalitätsindikatoren aufbauend auf den genannten Pionierarbeiten dringend geboten ist. Zweitens zeigt sich, dass die Früherkennung von Rohstoffrisiken eine große Herausforderung für Unternehmen darstellt und dass deren Kern die erfolgreiche Verknüpfung verschiedener Disziplinen wie Geologie, Ökonomie, Ingenieurwissenschaft und Informationsverarbeitung ist.

#### **II.4.2 Absicherung mittels Finanzderivaten, langfristigen Lieferverträgen und Lagerhaltung – ein kurzer Vergleich**

Wie eingangs beschrieben sind für Unternehmen beim Einsatz von Absicherungsmaßnahmen deren Wirkung gegen Preis- und/oder Verfügbarkeitsrisiken eines Rohstoffs, sowie die dabei entstehenden Auszahlungen maßgeblich. Wirkung und Transaktionskosten als Auszahlungen für Beschaffung bis zum Einsatz in der Produktion sind jedoch nicht unabhängig voneinander. Gemäß der Theory of Storage (Kaldor 1939) bildet sich der nicht vorhandene Zusatznutzen der ständigen Verfügbarkeit sogar im meist niedrigeren Abschlusspreis für börsengehandelte Futures im Gegensatz zum Preis bei Einlagerung ab (Normal Backwardation), was damit automatisch zu Transaktionskostenunterschieden zwischen den beiden Handlungsalternativen führt. Zu den beiden Absicherungsmaßnahmen, *Lagerhaltung* und *Financial Hedging* mit börsengehandelten Derivaten, treten noch *langfristige Lieferverträge* (auch OTC Termingeschäfte), die im Folgenden hinsichtlich der Aspekte Wirkung und Transaktionskosten analysiert werden.

Es ist zu beobachten, dass für die physische Lagerung eines Rohstoffs im Vergleich zu den anderen genannten Absicherungsmaßnahmen typischerweise die höchsten Transaktionskosten, beispielsweise für Kapitalbindung und Einlagerung, nötig sind. So erfordern manche Rohstoffe beispielsweise technisch aufwendige Lager, da sie bei bestimmten Temperaturen oder mit in der Luft vorkommenden Gasen reagieren oder da sie als Umweltgifte gelten. Durch die physische Lagerung kann jedoch eine gleichzeitige Absicherung von Preis und Verfügbarkeit gewährleistet werden. Das Vorhalten der benötigten Rohstoffe schließt (zumindest entsprechend der Kapazität des Lagers und ohne Betrachtung unvorhergesehener Ereignisse wie zum Beispiel Diebstahl) die meisten Verfügbarkeitsrisiken aus. Darüber hinaus besteht sogar die Möglichkeit aus diesem Bestand auf zusätzliche

---

Nachfrage vor dem geplanten Absicherungszeitpunkt zu reagieren, so dass auch zwischenzeitliche Verfügbarkeitsrisiken gemildert werden können (Geman 2005). Der je nach Absicherungsmaßnahme bestehende Mehrwert der Verfügbarkeit eines Rohstoffs wird dabei auch als Verfügbarkeitsprämie oder „convenience yield“ bezeichnet. Bei der Anwendung dieser Absicherungsmaßnahme sind die Unternehmen in natürliche Weise nicht mehr dem Risiko steigender Preise ausgesetzt, da diese bereits in der Vergangenheit bezahlt wurden.

Die Transaktionskosten für langfristige Verträge über die Lieferung von Rohstoffen zu fixen Preisen sind typischerweise geringer. Lagerkosten und gebundene Kapitalkosten fallen hier im Allgemeinen nicht an. Andererseits ist der Vorteil der vorzeitigen Verfügbarkeit des Rohstoffs nicht mehr gegeben, weil die convenience yield für den Besitzer eines gehandelten Rohstoffs, nicht jedoch für den Besitzer eines Liefervertrags existiert. Kann darüber hinaus der Zulieferer im Rahmen eines Liefervertrags jedoch selbst nicht mehr an den Rohstoff gelangen oder fällt er beispielsweise aufgrund von Insolvenz aus, so ist die Verfügbarkeit für die Vertragspartner trotz abgeschlossenem Liefervertrag auch zum Absicherungszeitpunkt nicht mehr sichergestellt. Aus diesem Grund kann die günstigere Absicherung über langfristige Lieferverträge als weniger wirkungsvoll im Vergleich zur physischen Lagerhaltung bezeichnet werden.

Betrachtet man weiterhin die Transaktionskosten für die Absicherung von Rohstoffrisiken über börsengehandelte Finanzderivate, so lässt sich feststellen, dass diese im Vergleich zur Lagerung und zu Lieferverträgen aufgrund der Standardisierung am geringsten sind. Die Standardisierung kann allerdings auch von Nachteil sein, da eine passgenaue Absicherung des benötigten Rohstoffs zum gewünschten Liefertermin und -ort in aller Regel nicht möglich ist. Somit können Unternehmen sich durch solche Derivate gegen Preisrisiken nur für bestimmte Laufzeiten vollständig oder ansonsten nur teilweise absichern. Je nach Ausgestaltung verbleiben ferner die Verfügbarkeitsrisiken bei den Unternehmen selbst, insbesondere wenn der Vertragspartner keine physische Lieferung plant, leisten kann oder keine Lieferung vertraglich vorgesehen ist. Beispielsweise bieten die zur Absicherung von Ölpreisschwankungen eingesetzten WTI Crude Futures (eine US-Ölsorte) die Möglichkeit der physischen Lieferung, Brent Crude Futures (eine europäische Ölsorte) sehen als Settlement nur einen Barausgleich vor (Geman 2005).

Insgesamt zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen der Wirkung der Absicherungsmaßnahme und den Kosten der Absicherung. Somit kann eine Auswahl möglicher Absicherungsmaßnahmen entsprechend des eigenen Sicherheitsstrebens beziehungsweise der Risikoaversion erfolgen,

das heißt gemäß der Wirkung auf Preis und/oder Verfügbarkeitsrisiken und den dafür anfallenden Auszahlungen.

Einschränkend darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass Absicherungsmaßnahmen in gewissen Konstellationen auch gegenteilige Wirkung haben können: Sichert sich auf einem oligopolistischen Markt nur die Minderheit der Unternehmen beispielsweise über die Einlagerung von Rohstoffen ab, wobei die Mehrheit der Unternehmen sich keiner Maßnahme bedient, kann sich ein Preisverfall des Rohstoffs sehr negativ auf die Ertragssituation der Minderheit auswirken (Buhl et al. 2011). Im Endergebnis hat diese Minderheit durch ihr Handeln ein zusätzliches Risiko erzeugt.

### **II.4.3 Absicherung durch Forschung & Entwicklung & Substitution von Rohstoffen**

Bestehen bei der Herstellung eines Produkts bezüglich eines verwendeten Rohstoffs Preis- oder Verfügbarkeitsrisiken, so haben Unternehmen gegebenenfalls die Möglichkeit, die angestrebte Funktionalität oder den Rohstoff selbst zu substituieren. Dabei wird unterschieden zwischen der Substitution von funktionalen Komponenten des Produkts (Funktionssubstitution) und der Neuentwicklung auf der Basis möglichst unkritischer Inhaltsstoffe bezüglich Preis- oder Verfügbarkeit (Materialsubstitution). Bei letzterer Variante sind die technischen und ökonomischen Eigenschaften des Substituts entscheidend. So ist es beispielsweise möglich, Kupfer bei der Herstellung von Klimaanlage durch Aluminium zu ersetzen (o.V. 2011a). Aluminium ist das häufigste Metall in der Erdkruste und deutlich billiger als Kupfer: Der Preis für Aluminium entspricht aktuell circa einem Viertel des Preises von Kupfer (o.V. 2011c). Dabei muss beachtet werden, dass der substituierende Rohstoff veränderte technische Eigenschaften (hier: eine schlechtere Leitfähigkeit) besitzt. Oftmals sind die Substitutionsmöglichkeiten allerdings begrenzt. So kann die gleich hohe Energiedichte von Lithium in Akkus bei gleichzeitig langer Lebensdauer zum jetzigen Zeitpunkt von keinem anderen Rohstoff erzielt werden (Bleischwitz et al. 2009, S. 15). Zusätzlich zu den technischen Restriktionen sind bei der Substitution von Rohstoffen in der Produktion auch ökonomische Faktoren zu beachten. So sind Rohstoffe, die als Substitute für seltene Metalle mit gleichen oder ähnlichen technischen Eigenschaften verwendet werden sollen, oftmals ebenfalls seltene Metalle (beispielsweise beim Ersatz von Gallium durch Germanium), und damit meistens ebenfalls mit Preis- und Verfügbarkeitsrisiken behaftet, zudem werden sie auch teilweise gemeinsam gefördert (Roskill Information Services 2007).

---

Den Möglichkeiten aus der Substitution und eventuell daraus entstehenden Handlungsflexibilitäten stehen in aller Regel hohe Investitionsauszahlungen gegenüber. Die Wirtschaftlichkeit von Substitutionsinvestitionen ist dann maßgeblich von der weiteren Entwicklung der Rohstoffpreise beziehungsweise der Verfügbarkeit der Rohstoffe abhängig. Beachtenswert ist hierbei, dass sich die preisbestimmende Gruppe der Hauptnachfrager auf wenige Unternehmen begrenzt, so dass eine Substitutionsentscheidung bereits eines Nachfragers preisbeeinflussend sein kann. Durch die entstehende Nachfrageverschiebung sinkt der Preis des substituierten Rohstoffs ab und der Preis des substituierenden Rohstoffs steigt an. Auf diese Weise kann die Wirkung der Absicherungsmaßnahme deutlich vermindert bzw. konterkariert werden.

#### **II.4.4 Recycling von seltenen Metallen**

Eine nachhaltige Absicherungsmaßnahme gegen Preis- und/oder Verfügbarkeitsrisiken besteht für Unternehmen in der Wiederaufbereitung von Rohstoffen. Dazu sind der Aufbau eines Logistiknetzwerks zur Rückführung von ausgedienten Produkten wie auch der speziell im Falle von seltenen Metallen kostenintensive Einsatz moderner metallurgischer Verfahren notwendig. In diesen lassen sich zusätzlich zu den wichtigen seltenen Metallen auch assoziierte Elemente wie beispielsweise Zinn zurückgewinnen.

Entscheidend für die erfolgreiche Nutzung dieser Absicherungsmaßnahme sind neben der technischen Machbarkeit auch ökonomische Gegebenheiten wie Investitionszahlungen in Anlagen und laufende Auszahlungen für deren Betrieb.<sup>1</sup> Bei Lithium, welches beispielsweise für Akkus verwendet wird, ist der aktuelle Preis noch zu gering, um rentables Recycling zu betreiben (Bleischwitz et al. 2009, S. 4). Bei Indium ist der Einsatz geringer Mengen zwar für die Produktion von Flachbildschirmen unverzichtbar, ein Recycling ist jedoch ebenfalls nicht rentabel. Der Aufwand zur Rückgewinnung dieser geringen Mengen aus elektronischen Endgeräten ist gegenwärtig zu hoch. Beim Recycling des seltenen Metalls Tantal stehen Unternehmen hingegen vor technischen Hindernissen, da Tantal in Recyclingprozessen als Reststoff in Schlacke übergeht und aus dieser nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand zurückgewonnen werden kann (Bleischwitz et al. 2009).

Insbesondere bei den so genannten Gewürzmetallen erweist sich die Rückgewinnung als äußerst aufwendig. Gewürzmetalle sind bestimmte Metalle, die in Analogie zu Gewürzen für

---

<sup>1</sup> Weiterhin können beim Recycling beträchtliche Umweltauswirkungen verursacht werden, welche die Luft- und Wasserqualität einer Region massiv beeinträchtigen können. Vgl. Sepúlveda et al. 2010, S. 28-41.

die Herstellung von Produkten in nur geringer Menge benötigt werden aber zugleich unverzichtbar sind. Zu ihnen zählen viele Metalle der seltenen Erden, aber auch seltene Metalle wie Indium oder Tantal. Für gewisse Einsatzzwecke können auch häufiger vorkommende Metalle wie beispielsweise Aluminium in geringer Dosis als Gewürzmetall dienen. Die Schwierigkeit der Absicherungsmaßnahme im Umgang mit Gewürzmetallen ergibt sich daraus, dass eine Rückgewinnung aus Abfällen durch die feine Verteilung von Gewürzmetallen in vielen Fällen äußerst aufwändig bis unmöglich ist.

Aus ähnlichen Gründen ist die Wiederaufbereitung von eingesetzten seltenen Metallen oftmals (noch) nicht ökonomisch rentabel, in anderen Fällen ebenfalls technisch schwierig bis unmöglich. Nichtsdestotrotz gibt es aber auch Beispiele für die erfolgreiche Anwendung der Absicherung durch Recycling. So arbeitet der Leuchtmittelhersteller Osram an der Rückgewinnung von seltenen Metallen, da die Preise für die bei der Leuchtmittelherstellung benötigten seltenen Metalle wie Lanthan, Europium, Terbium und Yttrium, stark angestiegen sind (Maier 2011). Um die erneute Nutzung benötigter Rohstoffe zu vereinfachen, kann es unter Umständen auch sinnvoll sein, schon in der Produktentwicklung und beim Vertriebskonzept darauf zu achten, dass die Wiederverwendung kompletter Bauteile (Remanufacturing) ermöglicht wird. Aufwändiges Einschmelzen kann so vermieden werden.

#### **II.4.5 Einkaufsgemeinschaften zur Stärkung der Marktmacht**

Gerade Unternehmen der Automobilzulieferindustrie stehen bei der Absicherung von Rohstoffrisiken vor einer besonderen Situation. Beschaffungsseitig stehen sie vor der Herausforderung, zum Teil seltene Rohstoffe von Zulieferern mit großer Marktmacht, wie zum Beispiel von chinesischen Staatskonzernen zu beziehen. Absatzseitig fordern Automobilhersteller langfristig feste Preise. Sie begegnen der Zulieferindustrie ebenfalls mit hoher Marktmacht. Diese zweiseitige Drucksituation sucht die deutsche Automobilindustrie gegenwärtig zu lösen. So haben auch die Automobilhersteller die Zwangslage ihrer Zulieferer verstanden und daraus potenzielle Risiken für sich selbst erkannt. Aus diesem Grund sind Deutschlands Automobilhersteller und ihre Zulieferer gerade im Begriff sich zu einer Einkaufsgemeinschaft zusammen zu schließen, um auf diese Weise ihre Marktmacht zu bündeln und ihre Einkaufskonditionen durch die dadurch erhöhte Auftragsmenge zu verbessern (Fischer und Hucko 2011). Neben Unternehmen wie Bosch und Continental sind auch andere stark von Rohstoffen abhängige Industrieunternehmen wie Siemens an den Gesprächen beteiligt.



## II.5 Eine Vorgehensempfehlung für die Praxis

Durch die bisherigen Ausführungen des Beitrags konnte ein Überblick über Rohstoffrisiken und unternehmerische Absicherungsmaßnahmen gewonnen werden. Um Hinweise zur konkreten Umsetzung von Handlungsstrategien für Unternehmen zu geben, werden im Folgenden drei notwendige allgemeingültige Schritte zur Rohstoffrisikoabsicherung ablauforientiert beschrieben. Da wesentliche Details unternehmensspezifisch sind, soll an dieser Stelle darüber hinaus beispielhaft die Situation eines mittelständischen Unternehmens aus der Elektronikindustrie dargestellt werden. Während kleine und mittlere Unternehmen generell vor den gleichen Rohstoffrisiken wie größere Unternehmen stehen, verfügen sie über einen weit geringeren Wissensstand über Rohstoffrisiken und besitzen eine geringere Affinität zur Nutzung von Absicherungsinstrumenten, wie beispielsweise zu Finanzinstrumenten (Credit Suisse 2012). Daher unterschätzt der Mittelstand heutzutage oftmals Rohstoffrisiken und verfolgt einseitige Absicherungsstrategien, wie beispielsweise die Weitergabe von schlagend gewordenen Risiken an die Absatzmärkte oder die Kompensation durch Kostensenkungen.

### 1. Schritt: Identifikation von Rohstoffrisiken

Zur wirkungsvollen Absicherung von Rohstoffrisiken müssen Unternehmen zunächst alle Risiken identifizieren, die für ihre spezifischen Produkte und die darin verbauten Rohstoffe Relevanz besitzen. Eine erste Orientierung kann anhand des vorliegenden Beitrags vorgenommen werden. Für viele Unternehmen ist dieser Schritt jedoch bereits schwierig bis nahezu unmöglich, da sie nur geringe oder keine Kenntnisse über Rohstoffe besitzen, die in Vorprodukten verbaut wurden. Insbesondere in der Elektronikindustrie weisen Unternehmen oftmals eine sehr geringe Fertigungstiefe auf und stützen sich auf ein Zuliefernetzwerk mit sehr vielen Zulieferern, so dass eine verlässliche Aussage über alle verwendeten Rohstoffe nahezu unmöglich ist. Abhilfe an dieser Stelle kann durch die Beauftragung von spezialisierten Forschungsinstituten geschaffen werden, welche verbaute Rohstoffe mithilfe von Produktanalyseverfahren (beispielsweise Gaschromatographie) identifizieren können. Darüber hinaus können auch Ökobilanzdatenbanken (beispielsweise Ecoinvent (Ecoinvent 2012)) zu Rate gezogen werden, in welchen unter anderem auch Sachbilanzdaten zu Produkten einsehbar sind. Da solche Bilanzen oftmals auch Rohstoffe ausweisen, welche zur Energiegewinnung für die Produktion genutzt, im Endprodukt selbst aber nicht vorhanden sind, ist jedoch darauf zu achten, dass diese Bilanzen gegebenenfalls korrigiert werden müssen. Auf Basis von Knappheitsindikatoren und aktuellen Rohstoffberichten können dann

Aussagen hinsichtlich des möglichen Bedrohungspotentials der verwendeten Rohstoffe getroffen werden. Für das betrachtete Elektroindustrieunternehmen wird im Beispiel die Identifikation einer starken Abhängigkeit von den Rohstoffen Dysprosium und Platin unterstellt. Das Seltenerdmetall Dysprosium wird beispielsweise zur Produktion von Kondensatoren genutzt, Platin zur Herstellung von Laserdruckern.

## 2. Schritt: Bewertung und Auswahl von verfügbaren Absicherungsmaßnahmen

Auf Basis von Tabelle 1 lässt sich erkennen, dass die Absicherung über Instrumente wie Forschung & Entwicklung & Substitution oder Lagerung besonders wirkungsvoll gegen eine Vielzahl von Rohstoffrisiken erfolgen kann. Diesem Absicherungseffekt müssen jedoch die jeweils dafür nötigen Auszahlungen entgegen gestellt werden und die sich daraus abzuleitende Absicherungseffizienz (Perridon et al. 2009, S. 171). Nachvollziehbare quantitative Angaben dazu finden sich in diesem Zusammenhang jedoch zumeist nur für kapitalmarktbasierende Absicherungsinstrumente, wo die Wertentwicklung eines Absicherungsinstruments wie zum Beispiel einer Option der Wertentwicklung des abzusichernden Rohstoffs entgegen gestellt wird (Eller et al. 2010). Da diese Werte im Falle von Edelmetallen einfach und schnell über elektronische Handelsplattformen verfügbar sind, liegt im Fall des betrachteten Mittelständlers die Absicherung des Platinbedarfs über kapitalmarktbasierende Absicherungsinstrumente nahe. Dabei sind Handelsvolumina, Transaktionskosten, Standardkontraktgrößen und Laufzeit entscheidend. So können an den Handelsplätzen European Exchange (EUREX), Hong Kong Exchange and Clearing (HKEx), South African Futures Exchange (SAFEX) und Taiwan Futures Exchange (TAIFEX) auch vergleichsweise niedrige Volumina gehandelt werden, wie beispielsweise Mini- oder Micro-Futures auf Platin. Die Transaktionskosten bewegen sich zurzeit zwischen 0,06\$ und 5,31\$ (Stand Oktober 2012), wobei bei hohen Handelsvolumina üblicherweise individuelle Tarife vereinbart werden. Gold-, Platin- und Palladium-Futures weisen maximal eine Kontraktgröße von 100 Feinunzen auf. Bei der Betrachtung der maximal möglichen Laufzeiten finden sich bei Kontrakten der Börsenplätze Comex, NYSE Liffe U.S. und EUREX auffallend lange Laufzeiten mit bis zu 72 Monaten. Der Großteil des Handels in den Edelmetall-Kontrakten wird allerdings bei Futures mit kurzer Laufzeit (bis zu 3 Monaten) beobachtet. Versucht man aber einen längerfristigen Rohstoffbedarf mit kurzfristigen Kontrakten abzusichern, muss man kurzfristige Kontrakte eingehen, die kurz vor deren Fälligkeit wiederum in neue kurzfristige Kontrakte getauscht (gerollt) werden (Gebhardt und Mansch 2001). Bei diesem Tausch entstehen dem absichernden Unternehmen je nach Preisdifferenz zwischen geschlossenem

---

und neu eingegangenem Future Rollgewinne oder –verluste. Diese können gerade bei Commodities eine beträchtliche Summe bei hoher Schwankung ausmachen, da der Kurs des neu einzugehenden Futures von der stark schwankenden convenience yield mitbestimmt wird (Bühler und Korn 2000, S. 327). Nichtsdestotrotz lässt sich im Allgemeinen feststellen, dass die Absicherung des Platinbedarfs des betrachteten Unternehmens insbesondere im Hinblick auf die Angebotsvielfalt und Transparenz der gebotenen Leistung über den Kapitalmarkt erfolgen kann.

Eine ähnliche Absicherung von Rohstoffrisiken ist für Dysprosium allerdings nicht möglich, da keine entsprechenden Kontrakte am Kapitalmarkt zu finden sind. Für das betrachtete Unternehmen empfiehlt sich deswegen eine zweistufige Absicherungsstrategie, durch welche der Platinbedarf kurzfristig kapitalmarktbasiert abgesichert wird, zeitgleich aber langfristig in die Entwicklung von Recyclingstrategien investiert wird, welche die Abhängigkeit von Dysprosium senkt. Wie in Kapitel 4.4 dargestellt finden sich zum Teil keine oder nur wenige Möglichkeiten zum Recycling von Rohstoffen. Aus diesem Grund ist der Erfolg dieser Absicherungsstrategie für Dysprosium des betrachteten Unternehmens unsicher und voraussichtlich erst langfristig erkennbar.

Neben den exemplarischen Absicherungsmaßnahmen des betrachteten Unternehmens ist dem Wissensaufbau über Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen bei Unternehmen des Mittelstandes im Allgemeinen eine besondere Bedeutung beizumessen. So kann der Aufbau von Wissen, der im Moment insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen notwendig wäre, beispielsweise durch die Anstellung von Spezialisten erreicht werden. Mittlerweile bieten viele Forschungseinrichtungen (Krohns et al. 2011), aber auch Banken oder Beratungshäuser spezialisierte Dienstleistungen für Unternehmen an, die der Identifikation und Absicherung von Rohstoffrisiken dienen. Im Rahmen eines Wissensaufbaus muss auch die Nutzung von Finanzderivaten zur Rohstoffabsicherung insbesondere an mittelständische Unternehmen vermittelt werden, da diese Finanzinstrumente zur Absicherung gegen Rohstoffrisiken aktuell „fast genauso sehr“ fürchten wie die Rohstoffrisiken selbst (Commerzbank 2011, S. 20).

### 3. *Schritt: Steuerung und Kontrolle*

Da viele Absicherungsmaßnahmen wie Substitution oder Recycling erst mittel- bzw. langfristig sichtbare Erfolge generieren und nicht eingetretene Risiken in unternehmerischen Entscheidungen oftmals als versunken erachtet werden, ist die Steuerung und Kontrolle von Absicherungsmaßnahmen eine herausfordernde Aufgabe. Großes Potenzial zur effektiven

---

Steuerung und Kontrolle bietet der Aufbau eines IT-gestützten Rohstoffrisikomanagementsystems. Auf diese Weise kann das betrachtete Unternehmen bei der Vorhersage von Rohstoffrisiken und bei der Steuerung und Kontrolle des Einsatzes von Absicherungsmaßnahmen unterstützt werden. Dabei ist es auch denkbar, das bestehende Enterprise-Resource-Planning (ERP) Systeme um ein gesondertes Berichtswesen für Rohstoffrisiken und Absicherungsmaßnahmen erweitert werden. Darüber hinaus ist der Aufbau von Erfahrungswerten ein wesentlicher Erfolgsfaktor für das unternehmerische Rohstoffrisikomanagement. An dieser Stelle kommt der Forschung die zentrale Rolle zu, durch Überprüfung der intertemporalen Wirksamkeit von Absicherungsmaßnahmen spezifische Handlungsempfehlungen für Unternehmen abzuleiten.

## **II.6 Zusammenfassung und Ausblick**

Im vorliegenden Beitrag wurden die wesentliche Abhängigkeit der Industrie von Rohstoffen sowie die Rohstoffproblematik unter ökonomischen Gesichtspunkten dargestellt. Weiterhin wurden Rohstoffrisiken und unternehmerische Absicherungsmaßnahmen diskutiert und im Sinne eines Ordnungsrahmens zum Rohstoffrisikomanagement strukturiert dargestellt. Im Anschluss daran wurden ausgewählte praxisnahe Beispiele aus dem untersuchten Problembereich näher vorgestellt. Dabei wurde deutlich, dass eine Vielzahl an Rohstoffrisiken auf Unternehmen einwirken kann und vielfältige Absicherungsmaßnahmen zur Eindämmung derselben eingesetzt werden können.

Erscheint die Absicherung eines einzelnen Risikos lediglich ein Auswahlproblem zwischen verschiedenen Maßnahmen zu sein, so erhöht sich die Komplexität jedoch sprunghaft durch die Betrachtung von mehreren Rohstoffrisiken, wie sie in der Realität typischerweise auftreten. Die Erarbeitung von Methoden zur ertrags- und risikoorientierten Zuordnung einer Vielzahl von Absicherungsmaßnahmen zu einer Vielzahl von Rohstoffrisiken im Rahmen eines effizienten Rohstoffrisikomanagements stellt eine große Herausforderung für Wissenschaft und Praxis dar. Wie gezeigt wurde ist beim Einsatz der Absicherungsinstrumente zudem auch zu beachten, dass dabei auch neue Risiken entstehen können.

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen können sich Wissenschaft und Praxis nicht auf Lösungsansätze einzelner isolierter Disziplinen oder Unternehmensbereiche verlassen. Vielmehr muss in interdisziplinären Teams und in einer bereichsübergreifenden Anstrengung ganzheitlich gegen die ökonomischen Risiken der Rohstoffproblematik vorgegangen werden.

---

Hier kann die unternehmensinterne und -übergreifende IT-Vernetzung als zentrales Nervensystem der Unternehmen einen wichtigen Beitrag leisten, um Risiken möglichst vollständig zu erfassen, ertrags- und risikointegriert zu bewerten und effektiv zu beseitigen. Nur so kann es möglich sein, ein aktives und vorausschauendes Rohstoffrisikomanagement mit einem effizienten Portfolio an Absicherungsmaßnahmen zu implementieren. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen werden insbesondere Fachkräfte aus Wissenschaft und Praxis benötigt, die sowohl ökonomische als auch technische Eigenschaften sowie Wechselwirkungen zwischen eingesetzten Rohstoffen, Technologien, Risiken und Absicherungsmaßnahmen kennen und verstehen. Daraus ergibt sich die Anforderung, diese erforderlichen Kompetenzen schon früh in der Ausbildung in sogenannten Schnittstellendisziplinen, wie beispielsweise Wirtschaftsingenieurwesen oder Wirtschaftsinformatik, zu vermitteln. Diesen Disziplinen fällt dabei als Gestalter und Vermittler eine zentrale Aufgabe zu.

## **II.7 Literatur**

- Achzet B (2012) Empirische Analyse von preis- und verfügbarkeitsbeeinflussenden Indikatoren unter Berücksichtigung der Kritikalität von Rohstoffen, Dissertation, Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg
- Achzet B, Zepf V, Meissner S, Reller A (2010) Strategien für einen verantwortlichen Umgang mit Metallen und deren Ressourcen. Chemie Ingenieur Technik 82:1913-1924
- A.T. Kearney (2006) Risikomanagement im Rohstoffeinkauf: Ungenützte Potenziale für Österreichs produzierende Industrie, Wien
- Bartram SM (2005) The impact of commodity price risk on firm value – An empirical analysis of corporate commodity price exposure. Multinational Finance Journal 9:161-187
- Bauer D, Diamond D, Li J, Sandalow D, Telleen P, Wanner B (2010), Critical Materials Strategy, U.S. Department of Energy
- Bleischwitz R, Hagelüken C, Lang D, Meißner S, Reller A, Wäger P (2009) Seltene Metalle - Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Schrift der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften 41:1-32

- 
- Bleischwitz R (2010) International economics of resource productivity – Relevance, measurement, empirical trends, innovation, resource policies. *International Economics and Economic Policy* 7:227-244
- Bradsher K (2010) China plans to reduce its exports of minerals  
<http://www.nytimes.com/2010/10/19/business/global/19mineral.html>
- Buhl HU, Strauß S, Wiesent J (2011) The impact of commodity price risk management on the profits of a company. *Resources Policy* 36
- Bühler W, Korn O (2000) Absicherung langfristiger Lieferverpflichtungen mit kurzfristigen Futures: Möglich oder Unmöglich? *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 52:315-347
- Chen SS, Lee CF, Shrestha K (2003) Futures hedge ratios: A review. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 3:433-465
- Christen M (2005) Die stofflichen Grenzen des Wachstums. *Forschung und Technik* 286:61
- Clark CW (2005) *Mathematical Bioeconomics: The optimal management of renewable resources*, John Wiley & Sons
- Commerzbank (2011) *Rohstoffe und Energie: Risiken umkämpfter Ressourcen*, Frankfurt am Main
- Credit Suisse (2012) *Erfolgsfaktoren für Schweizer KMU: Umgang mit volkswirtschaftlichen Risiken*, Zürich
- Ecoinvent (2012) *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, <http://www.ecoinvent.org/>
- Eller R, Heinrich M, Perrot R, Reif M (2010) *Kompaktwissen Risikomanagement – Nachschlagen, verstehen und erfolgreich umsetzen*, Gabler Verlag
- European Commission (2010) *Critical raw materials for the EU: Report of the ad-hoc working group on defining critical raw materials*, [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf)
- Fam A Rizkalla S (2001) Behavior of axially loaded concrete-filled circular fiber-reinforced polymer tubes. *ACI Structural Journal* 98:280-289
- Fischer H, Hucko M (2011) Autobauer schmieden Rohstoffpakt, in: *Financial Times Deutschland*, <http://www.ftd.de/unternehmen/industrie/:seltene-erden-autobauer-schmieden-rohstoffpakt/60104323.html>

- 
- Gebhard G, Mansch H (2001) Risikomanagement und Risikocontrolling in Industrie- und Handelsunternehmen. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 46:5-34
- Geman H (2005) *Commodities and commodity derivatives: Modelling and pricing for agriculturals, metals and energy*, Wiley Finance
- Hotelling H (1931) The Economics of Exhaustible Resources. *The Journal of Political Economy* 39:137-175
- Johnson J, Harper E, Lifset RJ, Graedel TE (2007) Dining at the periodic table: Metals concentrations as they relate to recycling. *Environmental Science & Technology* 41:1759-1765
- Johnson LL (1960) The theory of hedging and speculation in commodity futures, in: *The Review of Economic Studies* 3:139-151
- Kaldor N (1939) Speculation and economic stability. *The Review of Economic Studies* 7:1-27
- KPMG (2007) *Energie- und Rohstoffpreise – Risiken und deren Absicherung*, Frankfurt am Main
- Krautkraemer JA (1998) Nonrenewable Resource Scarcity. *Journal of Economic Literature* 36:2065-2107
- Krcmar H (2009) *Informationsmanagement*, Springer
- Krohns S, Lunkenheimer P, Meissner S, Reller A., Gleich B, Rathgeber A, Gaugler T, Buhl HU, Sinclair D, Loidl A (2011). The Route to Resource-Efficient Novel Materials. *Nature Materials* 10:899-901
- Lee YY, Yi CK, Jeong HS, Kim SW, Kim J (2009) Compressive response of concrete confined with steel spirals and FRP composites. *Journal of Composite Materials* 44:481-504
- Maier A (2011) Seltene Erden verteuern Energiesparlampen. *Financial Times Deutschland*, <http://www.ftd.de/unternehmen/industrie/:preiserhoehung-seltene-erden-verteuern-energiesparlampen/60097903.html>
- Milmo C (2010) Concern as China clamps down on rare earth exports. <http://www.independent.co.uk/news/world/asia/concern-as-china-clamps-down-on-rare-earth-exports-1855387.html>

o.V. (2007) Rohstoff-Risiken managen.

[https://www.globalbanking.db.com/docs/WiWo\\_Advertorial\\_Rohstoffe\\_0907.pdf](https://www.globalbanking.db.com/docs/WiWo_Advertorial_Rohstoffe_0907.pdf)

o.V. (2009) Hightech-Metalle werden knapp. DIE WELT 29.8.2009, S. W1

o.V. (2011a) Aluminiumpreis wird von Kupfer mitgezogen

<http://www.faz.net/artikel/S31721/rohstoffanlagen-aluminiumpreis-wird-von-kupfer-mitgezogen-30324096.html>

o.V. (2011b) Große Tiefseelager entdeckt. Euro am Sonntag 9.7. - 15.7.2011, S. 65

o.V. (2011c) Rohstoffdaten, <http://www.finanzen.net/rohstoffe/>

Perridon L, Rathgeber A, Steiner M (2009) Finanzwirtschaft der Unternehmung, Vahlen Verlag

Radermacher FJ, Beyers B (2009) Welt mit Zukunft – Überleben im 21. Jahrhundert, Murmann Verlag

Roland Berger (2011) Purchasing-Excellence-Studie: Trends und Benchmarks im Einkauf 2011, München

Rosenau-Tornow D, Buchholz P, Riemann A, Wagner M (2009) Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials – a combined evaluation of past and future trends. Resources Policy 34:161-175

Roskill Information Services (2007) The economics of rare earths and yttrium, The Services Verlag

Sepúlveda A, Schlupe M, Renaud FG, Streicher M, Kühr R, Hagelüken C, Gerecke AC (2010) A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India. Environmental Impact Assessment Review 30:28-41

Shiller RJ (1981) Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? American Economic Review 71:421-436

Skinner BJ (1979) Earth Resources, Prentice Hall

vbw Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2011) Rohstoffsituation Bayern – keine Zukunft ohne Rohstoffe, München



U.S. Office of Public Affairs (1948) Havana charter for an international trade organization,  
Washington, U.S. Government

### **III Planung und Bewertung von Investitionen zur Vereinbarung von Ökonomie und Ökologie**

In diesem Kapitel werden Instrumente entwickelt, die Unternehmen dabei unterstützen, Green IS-Investitionen im Allgemeinen zu planen (Beitrag B2) und spezifische Green IT/IS-Investitionsprojekte zu bewerten. Auf diese Weise soll den vorherrschenden Investitionshemmnissen entgegen getreten werden.

Im Beitrag „Planung von Investitionen in Green Information Systems“ wird ein Vorgehensmodell zur Planung von Green IS-Investitionen entwickelt.

Im zweiten Beitrag „The value of information exchange for electric vehicle charging“ wird das ökonomische Potenzial von IT-basierter Ladesteuerung von Elektromobilen untersucht, mithilfe dessen Angebot und Nachfrage von Strom besser vereinbar gemacht werden können.

Der dritte Beitrag mit dem Titel “Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy” beinhaltet ein Instrument zur Bewertung von Green IS-Investitionen in Immobilien unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten.

Der vierte Beitrag “Evaluating energy efficiency investments: Combining ecology and economy by considering risk” fokussiert auf die Berücksichtigung von Risiko zur Investitionsplanung bei einzelnen Immobilien und bei Immobilienportfolios. Dabei werden ebenfalls Potenziale zur Vereinbarkeit von Ökonomie und Ökologie ersichtlich.

Im letzten Beitrag “Multivendor Portfolio Strategies in Cloud Computing” wird ein Bewertungsinstrument entwickelt, welches die Anbieterauswahl bei Cloud Computing durch ein risikoadjustiertes Bewertungsmodell unterstützt.

### III.1 Beitrag 2: „Planung von Investitionen in Green Information Systems“

Autor:	Philipp Mette Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de
Erschienen 2012 in:	HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, 49(285): 104-111

#### **Zusammenfassung:**

*Unternehmen stehen vor der Aufgabe den Einsatz von Rohstoffen effizient und schadstoff-arm zu gestalten. Dazu können Investitionen in Green Information Systems (IS) einen hohen Beitrag leisten. Unternehmen sind jedoch bei der Planung von Green IS-Projekten Unsicherheiten unterworfen. Deshalb werden in diesem Beitrag die für eine Investition notwendigen Planungsschritte unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Green IS durchlaufen. Im Rahmen einer erfolgreichen Projektplanung von Green IS-Investitionen sollten alle relevanten ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren in einem Planungsmodell abgebildet werden.*

#### **III.1.1 Potenziale von Green IS**

Unternehmen stehen heutzutage vor der Aufgabe, ihre nachhaltige Entwicklung, also die Verfolgung ökonomischer, ökologischer und sozialer Ziele, zu verbessern. Obgleich die Ausgaben für Rohstoffe in vielen Fällen einen gewichtigen Anteil der Gesamtausgaben eines Unternehmens ausmachen, ergibt sich diese Aufgabe nicht nur aus dem unternehmerischen Ziel der Kostenreduktion. Mittlerweile sehen sich Unternehmen auch aufgrund des gestiegenen gesellschaftlichen Interesses und strengen Anforderungen der Gesetzgeber zu nachhaltigem Umgang mit energetischen und nicht-energetischen Ressourcen gezwungen. Zur Steigerung der Nachhaltigkeit können auch Informationssysteme (IS) durch branchen- und wirtschaftszweigübergreifenden Einsatz zur Steigerung der Effizienz von Geschäftsprozessen eingesetzt werden (Buhl und Jetter 2009). Viele Studien aus der Praxis

belegen das große ökonomische und ökologische Potenzial von IS, „die CO<sub>2</sub>-Strategie eines Unternehmens aktiv mit zu gestalten“ und alle Bereiche des Kerngeschäfts mit IT-unterstützten Innovationen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion zu unterstützen (A.T. Kearney 2008). Allein durch den Einsatz von IS-Maßnahmen können weltweit rund 7,8 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent (GtCO<sub>2</sub>e) bis zum Jahre 2020 eingespart werden (auf Basis von 2002). Diese Reduktion des Schadstoffausstoßes entspräche dabei einer Vermeidungsmenge, die fünf Mal größer wäre als der gesamte Ausstoß von IT selbst (The Climate Group 2008).

Ogleich der Einsatz von IS großes ökonomisches und ökologisches Potenzial birgt, ist Entscheiden jedoch oftmals unklar, ob der Einsatz von IS auch für ihr Unternehmen vorteilhaft ist. So sind Unternehmen zumeist nicht in der Lage zu ermitteln, wie eine Entscheidungsfindung zur Investition in Green IS strukturiert erfolgen kann oder welche Auswirkung der Einsatz einer solchen Technologie für das Unternehmen haben wird. Im Schwerpunktheft „Green Computing & Sustainability“ der HMD wird aus diesem Grund auf die Notwendigkeit zur Bestimmung eines Vorgehens für die Umsetzung eines nachhaltigen Informationsmanagements verwiesen, welches zur unternehmensindividuellen Gestaltung von Green IS beiträgt und sich im Sinne eines Planungsmodells an den strategischen Unternehmenszielen orientiert (Erek et al. 2010). Auch wird auf den Mangel an Referenzmodellen hingewiesen, welche ein rein ökonomisches Zielsystem um Nachhaltigkeitsaspekte erweitern (Teuteberg und Gómez 2010). Aus diesem Grund werden im vorliegenden Artikel die Ideen dieser Beiträge aufgegriffen und die spezifischen ökonomischen und ökologischen Eigenschaften von Green IS dargestellt sowie die grundlegenden Schritte bei der Planung von Green IS-Investitionen im Sinne eines Rahmenwerks durchlaufen.

### **III.1.2 Green IS im Überblick**

#### **III.1.2.1 Begriff**

Alle Maßnahmen und Lösungen, welche zu einer effizienteren Nutzung von Energie durch die IT-Infrastruktur und zu einer umweltfreundlicheren Produktion und Verwertung von IT-Hardware beitragen, sowie alle der begleitenden Aktivitäten zu deren Steuerung und Kommunikation, werden als Green IT bezeichnet (Erek et al. 2010). Durch den Einsatz von Green IT soll die durch die IT selbst entstehenden ökologische Auswirkungen durch die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, des Rohstoffverbrauchs und der entstehenden umweltbelastenden Abfallstoffe während des gesamten Lebenszyklus verkleinert werden. So

kann bspw. der Energiebedarf und der damit verbundene Schadstoffausstoß von Rechenzentren über den Einsatz moderner IT-Systeme reduziert werden. Noch größeres Einsparpotenzial besteht jedoch durch die Eignung von IS zur effizienten Gestaltung von Geschäftsprozessen (Buhl und Jetter 2009). Die Konzeption und Realisierung von Informationssystemen (IS), die zu nachhaltigen Geschäftsprozessen beitragen, wird deshalb als Green IS bezeichnet (Boudreau et al. 2007). Im Fokus der Betrachtung steht an dieser Stelle der ganzheitliche Einsatz von IS zur Reduktion des Ressourcenbedarfs und des Schadstoffausstoßes über die gesamte Wertschöpfungskette und über alle Geschäftsbereiche hinweg. Green IT kann also als Teilmenge von Green IS verstanden werden. In den allermeisten Fällen fokussieren sich Green IS auf ihre Anwendung im Softwarebereich. So können bspw. Logistikunternehmen den Einsatz von energetischen Rohstoffen und den damit verbundenen Schadstoffausstoß durch die Nutzung von IS-gestützten Routenmanagementsystemen senken, indem eine dynamische Optimierung von Fahrtrouten softwaregestützt abläuft und somit Gesamtstrecken verkürzt werden.

#### **III.1.2.2 Green IS in der betrieblichen Praxis**

Obgleich der nachhaltige Umgang mit Ressourcen als kritischer Faktor für den zukünftigen Unternehmenserfolg angesehen wird, nutzen Unternehmen das durch IS generierbare Einsparpotenzial bisher nur in sehr wenigen Fällen. Laut einer aktuellen Praxisstudie von Fujitsu, welche die Nutzung von Green IT und Green IS in den USA, Großbritannien, Australien und Indien durch die Befragung von mehr als 600 CIOs untersucht, bleibt der bisherige Beitrag der Informationstechnologie zur Reduktion des Ressourcenbedarfs und des Schadstoffausstoßes weit hinter den Erwartungen zurück. So wird die Wahrscheinlichkeit, die hohen Einsparpotenziale von Green IS in naher Zukunft zufriedenstellend auszuschöpfen, als verschwindend gering eingeschätzt (Fujitsu 2010). Insbesondere in den Branchen Groß- und Einzelhandel, Logistik, Gesundheit und Bildung, aber auch im Sozialwesen und bei Einrichtungen der öffentlichen Hand ist der Einsatz von IS zur Senkung von Ressourcenbedarf und Schadstoffausstoß besonders schwach ausgeprägt. Bei Green IS ist demnach eine strukturelle Unterinvestition zu beobachten, die auch durch die Unwissenheit von Entscheidern über die Potenziale und Wirkungsweisen von Green IS bedingt ist (Buhl et al. 2011).

### III.1.2.3 Besonderheiten von Green IS

Sofern Faktoren wie Idealismus keine Rolle spielen, muss jede Aktivität im Unternehmen im Sinne der wertorientierten Unternehmensführung darauf ausgerichtet sein, den Unternehmenswert zu steigern. So werden auch alle Green IS-Investitionen vor ihrer Durchführung einer ökonomischen Analyse unterzogen, die anders als bei gewöhnlichen Investitionen sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen auf den Unternehmenswert berücksichtigen muss. Indirekte Auswirkungen ergeben sich, wenn erzielte ökologische Vorteile den Unternehmenswert positiv beeinflussen, wie im Falle der Imagewirkung von „grünen“ Aktivitäten eines Unternehmens auf den Absatz. Direkte Auswirkungen ergeben sich durch die durch Green IS-Investitionen bedingte Senkung des Rohstoffbedarfs sowohl auf die Ertrags- als auch auf die Risikoposition des Unternehmens, welche auch durch schwankende Rohstoffpreise determiniert wird. Obgleich die meisten indirekten Effekte schwer quantifizierbar sind, werden auch vermeintlich leichter messbare direkte Effekte von Unternehmen in den allermeisten Fällen nicht bedacht und Investitionsentscheidungen nur auf der Basis von Cashflows getroffen. In der Praxis verwendete Ansätze zur Investitionsbewertung können folglich zu Fehlbewertungen und Fehlentscheidungen führen. Auf diese Besonderheit wird in Kapitel 3.3 näher eingegangen.

Je nach unternehmensspezifischer Entscheidungssituation und je nach individuellem Zielsystem sind jedoch auch noch weitere, nicht monetär messbare ökologische Auswirkungen von Green IS-Investitionen für den Investitionsplanungsprozess bedeutend. Diese ökologische Komponente determiniert die Nachhaltigkeitsstrategie eines Unternehmens und kann Nebenbedingung, Einflussgröße oder sogar gleichwertiges Ziel im Rahmen einer Investitionsplanung darstellen. Auf diese Besonderheit wird in den Kapiteln 3.1, 3.2 und 3.3 näher eingegangen.

### III.1.3 Planung von Green IS-Projekten

Ein Planungsprozess umfasst vereinfachend die zyklische Abfolge der Phasen Problemstellung, Alternativensuche, Beurteilungsphase, Entscheidung für eine Alternative, Realisierung und Kontrolle (Kruschwitz 2009). Im Folgenden sollen die einzelnen Phasen für einen Green IS-Investitionsplanungsprozess durchlaufen werden.



Abb. III.1–1: Exemplarische Zuordnung von Absicherungsmaßnahmen zu Rohstoffrisiken

### III.1.3.1 Problemstellung

Die erste Phase des Investitionsplanungsprozesses beinhaltet eine sorgfältige Analyse der Ausgangssituation sowie die Bestimmung der Ziele, die das Unternehmen durch die zu planende Investition verfolgt (Kruschwitz 2009). Aufgrund der möglichen ökonomischen als auch ökologischen Wirkung von Green IS können auch die mit einer Green IS-Investition verfolgten Ziele ökonomisch oder ökologisch motiviert sein.

Green IS-Investitionen können notwendige Auszahlungen zur Deckung des Rohstoffbedarfs als auch für evtl. notwendige Schadstoffvermeidung reduzieren. Beides wirkt sich positiv auf den Unternehmenserfolg aus. In Zeiten steigender Rohstoffpreise, wie bspw. bei Heizöl oder Lithium steht die ökonomische Wirkung von Green IS oft im Zentrum unternehmerischer Zielsysteme. Doch auch durch gesetzliche Auflagen, die das Unternehmen durch die Nutzung von möglichen finanziellen Sanktionen dazu zwingen seinen Schadstoffausstoß und somit seinen Rohstoffbedarf zu verringern (z.B. Emissionszertifikate), können ökonomische Ziele für Green IS-Investitionen motiviert sein. Weiterhin können sich die ökonomischen Investitionsziele aber auch aus anderen Gründen ergeben, die sich indirekt auf den Unternehmenserfolg auswirken. So können Green IS-Maßnahmen das Image des Unternehmens beeinflussen und somit das Kaufverhalten von Kunden verändern, was wiederum Einfluss auf den Unternehmenserfolg hat.

Neben den ökonomischen Zielen besteht bei Green IS-Investitionen die Besonderheit der ökologischen Auswirkungen der Investition. Aus ökologischer Sicht sind die durch die Green IS-Investition generierten Einsparungen der Ressourcen an sich sowie die Reduktion des durch die Nutzung der Ressource oder bei deren Förderung entstehenden Schadstoffausstoßes ausschlaggebend. Im unternehmerischen Zielsystem ist deshalb die Existenz einer weiteren, nicht ökonomischen Zielgröße möglich. So ist bei Green IS-Investitionen auch die Passung der geplanten Investition zur Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens entscheidend. Die Orientierung an einer Nachhaltigkeitsstrategie ist dabei nicht oder nicht ausschließlich ökonomisch motiviert. Vielmehr ergibt sich die Nachhaltigkeitsstrategie eines Unternehmens bspw. aus Idealismus von Entscheidungsträgern, die den verantwortungsvollen und ökologisch bedachten Umgang eines Unternehmens mit Rohstoffen vorgeben. Weiterhin kann auch die Belegschaft eines Unternehmens über organisatorische Einflüsse, wie bspw. ihre Mitbestimmungsrechte auf die Nachhaltigkeitsstrategie Einfluss nehmen. Aber auch sog. sozio-kulturelle Einflüsse, wie von der Gesellschaft vorgegebene Verhaltensweisen und Normen determinieren die Nachhaltigkeitsstrategie eines Unternehmens. Aus dieser

Nachhaltigkeitsstrategie ergeben sich zusätzliche Treiber und/oder Hemmnisse für unternehmerische Tätigkeiten, die Einfluss auf den ökologischen Beitrag eines Unternehmens haben. Jeder der genannten Einflüsse kann Green IS-Vorhaben beeinflussen und muss deshalb schon in der Problemstellungsphase vom Unternehmen analysiert werden.

### **III.1.3.2 Suchphase**

In dieser Phase des Investitionsplanungsprozesses erfolgt die Identifikation aller Handlungsmöglichkeiten, die zur Erreichung der in der Problemstellungsphase aufgestellten Ziele beitragen können (Kruschwitz 2009).

Wie bereits in Kapitel 1 erläutert, sind vielen Entscheidern zur Verfügung stehende Green IS-Maßnahmen unbekannt. Für eine strukturierte Übersicht über alle Green IS-Maßnahmen kann eine Analyse ihrer Wirkungsweise erfolgen (OECD 2010):

- Direkte ökonomische und ökologische Auswirkungen: Green IS-Maßnahmen, die den Rohstoffbedarf von IS selbst reduzieren (Green IT).
- Indirekte ökonomische und ökologische Auswirkungen: Green IS-Maßnahmen, die den Rohstoffbedarf von anderen Bereichen, wie bspw. Industrie oder Haushalte reduzieren.
- Systemische Auswirkungen: IS-basierte Produkte und Prozesse, die Verhaltens- und Arbeitsweisen tiefgreifend verändern und auf diese Weise eine weitreichende Neugestaltung zu weniger rohstoffabhängiger Produktion und zu weniger rohstoffabhängigem Konsum anstoßen.

Einzelne Green IS-Maßnahmen, die jeweils direkt, indirekt und/oder systemisch wirken können, lassen sich weiterhin anhand ihrer Anwendungsdomäne klassifizieren, wodurch ein tiefergehender Überblick geschaffen werden kann. Alle Green IS-Maßnahmen können bei ihrem Einsatz alle Ebenen einer Unternehmensarchitektur betreffen und somit Einfluss auf Menschen, Prozesse, Anwendungssysteme und Infrastruktur nehmen. Green IS entfalten dabei ihre Wirkung durch die Reduktion des Einsatzes von energetischen und nicht-energetischen Ressourcen. Die beiden Wirkungshebel von Green IS stellen somit Energieeffizienz (Reduktion des Einsatzes energetischer Rohstoffe) und Dematerialisierung (Reduktion des Einsatzes nicht-energetischer Rohstoffe) dar.

Eine Studie aus dem Jahr 2008 bemisst den aufgeführten Technologien anhand eigener Schätzungen Maßzahlen zu, die eine potenzielle Reduktion des globalen Schadstoffausstoßes angeben (The Climate Group 2008) und ebenfalls in Abbildung III.1-2 zu finden sind. Die



Angaben beziehen sich dabei jeweils auf den Zeitraum von 2002 bis 2020. Die angegebenen Zahlen sind dabei Schätzwerte, die herangezogen werden, um eine anschauliche Kategorisierung von Green IS-Maßnahmen vorzunehmen.

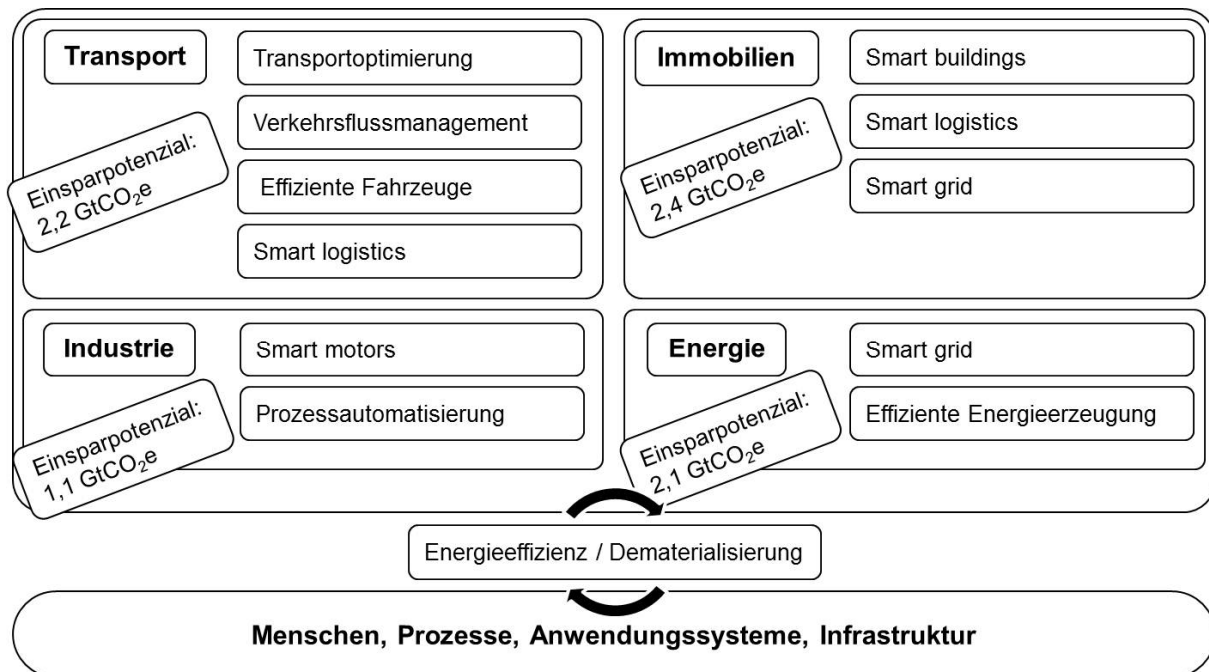


Abb. III.1-2: Überblick über Green IS-Bereiche in Anlehnung an (The Climate Group 2008)

### III.1.3.3 Beurteilungsphase

Die Beurteilungsphase dient der unmittelbaren Vorbereitung der Investitionsentscheidung. Das Unternehmen bewertet die Konsequenzen der identifizierten Handlungsalternativen im Hinblick auf seine Ziele (Kruschwitz 2009). Als Ausgangspunkt bei der Ermittlung des ökonomischen Wertes einer Green IS-Investition können Investitionsrechnungsverfahren, wie beispielsweise die Kapitalwertmethode dienen. Eine anschließende Korrektur von den auf diese Weise deterministisch ermittelten Kennzahlen um einen Unsicherheitsfaktor (Risikoadjustierung) hat bei Green IS-Investitionen einen besonders hohen Stellenwert: Aufgrund von mangelnden Erfahrungswerten mit dieser Investitionsart und vielen risikobehafteten Einflussgrößen wie kurzfristige Ressourcenpreisvolatilität, langfristige Ressourcenpreistrends, sich ändernde Gesetzeslagen, etc. herrscht bei Green IS-Investitionen ein besonders hohes Maß an Unsicherheit vor. Die Durchführung von Green IS-Investitionen hat jedoch auch eine spezifische Wirkung auf die vorherrschende Unsicherheitssituation. Betrachtet man den Risikotreiber kurzfristige Ressourcenpreisvolatilität, so wird dieser besondere Effekt deutlich: Reduziert eine Green IS-Investition den Bedarf an einer bestimmten Ressource, deren Preis schwankt, so reduziert sie dadurch auch die

Schwankungen der gesamten Auszahlungen des Unternehmens für die betrachtete Ressource. Green IS-Investitionen wirken sich also ökonomisch ähnlich wie eine Versicherung aus. Durch die Zahlung einer Prämie (Investitionsauszahlung) kann sich der Versicherungsträger (das investierende Unternehmen) gegen den Einfluss eines risikobehafteten Schadensereignisses (Ressourcenpreisanstieg) schützen. Für risikoaverse Entscheider bedeutet die auf diese Weise generierte Risikominderung einen Mehrwert, da sie die Zahlung eines bestimmten Geldbetrags einer stark volatilen Unsicherheitssituation vorziehen. Dieser Versicherungseffekt ist ein Spezifikum von Green IS-Investitionen und kann der vorher angesprochenen hohen Unsicherheit hinsichtlich der kurzfristigen Ressourcenpreisvolatilität entgegen wirken, was deshalb in einer quantitativen Bewertung berücksichtigt werden sollte (Buhl et al. 2011).

Neben der ökonomischen Bewertung ist auch die ökologische Bewertung, und somit die Passung der Green IS-Investition zur Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens, bedeutend. In der betrieblichen Praxis wird dies bisher wenn überhaupt nur anhand von Schätzungen durchgeführt. An dieser Stelle herrscht sogar ein genereller Mangel an Möglichkeiten vor, ökonomische und ökologische Komponenten einer Investition miteinander zu verbinden (Lützkendorf und Mrics 2008). Dabei könnten bestehende Ansätze zur Messung nicht-monetärer Einfluss- und Zielgrößen aus der IS oder aus anderen Disziplinen auf diese Problemstellung übertragen werden: So könnte die Passung einer Green IS-Investition zur Nachhaltigkeitsstrategie eines Unternehmens bspw. durch Expertenbefragungen und anhand eines Scoring-Modells durchgeführt werden und der dabei entstehende Punktwert mit dem risikoadjustierten Kapitalwert verdichtet werden. Weiterhin könnte auch eine empirische Messung der Zahlungsbereitschaft des Unternehmens für den ökologischen Wert einer Green IS-Investition Aufschluss darüber geben, welche Green IS-Investition bestmöglich zum Unternehmen passt. Dabei könnte sich das Unternehmen an gängigen Befragungstechniken aus dem Marketing orientieren, wie bspw. bei der Messung der Zahlungsbereitschaft für Corporate Social Responsibility. Letztendlich wäre es auch grundsätzlich denkbar ein monetäres Äquivalent für den ökologischen Wert einer Green IS-Investition bei energetischen Rohstoffen auf Basis von Preisen für Emissionszertifikate zu ermitteln.

#### **III.1.3.4 Realisierungs- und Kontrollphase**

Die anschließenden Phasen Realisierung und Kontrolle werden wie bei konventionellen Investitionen durchlaufen und bieten keine Spezifika bzgl. Green IS.

### III.1.4 Fallbeispiel zur Planung von Green IS-Investitionen

Ein Industrieunternehmen möchte den Einsatz einer Green IS-Maßnahme im Umfang von maximal 5,5 Mio. € planen. Zu diesem Zweck nutzt es den vorgestellten Planungsprozess für seine unternehmensindividuelle Situation. Als Referenz verwendet das Unternehmen Daten von bereits durchgeführten Green IS-Projekten der Hetzner Online AG, der Host Europe GmbH und der Festo AG & CO. KG, die die Deutsche Energie-Agentur als Referenzprojekte gelistet hat (Deutsche Energie-Agentur 2011). Dabei soll vereinfachend davon ausgegangen werden, dass jedes Projekt nur einmal durchgeführt werden kann, die Daten der Referenzprojekte vergleichbar sind und auch für das betrachtete Industrieunternehmen Geltung besitzen. Die aufgeführten Projekte beinhalten Maßnahmenbündel, die aus IS-gestützten und zum Teil auch technischen Einzelmaßnahmen bestehen. Bei Investitionsalternative *A2* wurden die erzielten CO<sub>2</sub>-Einsparungen aus den angegebenen Energieeinsparungen in kWh pro Jahr mit dem Konvertierungsschlüssel des Umweltbundesamtes umgerechnet. Realisierungs- und Kontrollphase werden im Fallbeispiel nicht betrachtet.

#### *Problemstellungsphase*

Die Eigentümer des betrachteten Unternehmens haben sich dazu verpflichtet, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Unternehmens um 10% p.a. zu reduzieren. Um dieses Ziel, welches die Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens determiniert, für die kommende Planungsperiode zu erreichen, ist die Durchführung eines Projekts, durch welches zukünftig mindestens 5.000 Tonnen CO<sub>2</sub> / Jahr eingespart werden können, nötig. Ab dieser Vermeidungsmenge ergibt sich nach den Schätzungen des Unternehmens eine positive Imagewirkung in entscheidungsrelevantem Umfang. Darüber hinaus möchte es den barwertigen risikoadjustierten Überschuss (Fehlbetrag) der durch das Projekt generierten Einzahlungen (Auszahlungen) maximieren (minimieren).

#### *Suchphase*

Zur Erreichung der Planungsziele hat das Unternehmen drei Investitionsalternativen identifiziert:

- Alternative *A1* (*Hetzner Online AG*): Neubau eines energieeffizienten Rechenzentrums (Green IT und Green IS im Bereich Immobilien). Mehrere Maßnahmen, u.a. spezifische Gestaltung der Gebäudearchitektur für die Anforderungen eines Rechenzentrums, Einsatz energieeffizienter IT-Komponenten und optimierter Kühlverfahren für die Hardware,

Installation von Messgeräten zur Analyse der Netzqualität sowie Nutzung von fernauslesbarer Software zum Aufzeigen von Optimierungspotenzialen.

- *Alternative A2 (Host Europe GmbH):* Optimierung eines Rechenzentrums (Green IT). Mehrere Optimierungsmaßnahmen, u.a. Einsatz von energieeffizienten Servertechnologien, Optimierung der Hardwareauslastung durch Virtualisierung und optimierte Kühlverfahren.
- *Alternative A3 (Festo AG & Co. KG):* Energieeffiziente Werkserweiterung (Green IS in den Bereichen Immobilien und Industrie). Weitreichendes Maßnahmenpaket, u.a. bedarfsorientierte Steuerung von Kompressoren zur Druckluftherzeugung, Einsatz intelligenter Steuer- und Regelungstechnik sowie sonnenstands- und tageslichtabhängige Klimatisierung und Beleuchtungssteuerung.

In Tabelle III.1-1 finden sich die entscheidungsrelevanten Kennzahlen der Alternativen.

**Tab. III.1-1: Kennzahlen der Green IS-Investitionsalternativen**

Alternative	Bezeichnung	Investitions- höhe in €	Finanzielle Einsparungen pro Jahr in €	CO <sub>2</sub> - Einsparungen in t / Jahr
<i>A1</i>	Neubau eines energieeffizienten Rechenzentrums	5.200.000	743.000	5.263
<i>A2</i>	Optimierung eines Rechenzentrums	1.500.000	500.000	5.015
<i>A3</i>	Energieeffiziente Werkserweiterung	4.734.000	366.000	3.750

#### *Bewertungsphase*

Auf Basis der vorhandenen Daten kann das Unternehmen eine Bewertung der Investitionsalternativen in seinem ökonomisch-ökologischem Zielsystem vornehmen. Dazu werden in einem ersten Schritt gemäß der Vorgabe der formulierten Nachhaltigkeitsstrategie alle Alternativen ausgeschlossen, welche weniger als 5.000 Tonnen CO<sub>2</sub> / Jahr einsparen (Alternative *A3* fällt somit aus dem weiteren Entscheidungsprozess heraus). Die finale Auswahl erfolgt nun durch den ökonomischen Vergleich der verbliebenen Alternativen. Dabei möchte das risikoaverse Unternehmen auch die Versicherungswirkung der

Investitionsalternativen in seine Bewertung einbeziehen. Für die dafür notwendige Risikoadjustierung bezieht es die risikomindernde Versicherungswirkung vereinfachend über eine Pauschale i.H.v. 7.800 € je eingesparter Tonne CO<sub>2</sub> in einem Jahr in die Kalkulation ein. Weiterhin betrachtet es die generierbaren barwertigen Einsparungen über einen Zeitraum von 10 Jahren und mit einem Kalkulationszinssatz von 10% und geht aufgrund der Erwartung weiter steigenden Energiepreise von einem Wachstum der finanziellen Einsparungen von 5% pro Jahr aus. Daraus ergeben sich für die verbliebenen Investitionsalternativen folgende Bewertungen:

**Tab. III.1–2: Bewertung der verbliebenen Investitionsalternativen**

Alternative	Bezeichnung	Bewertung in T€
<i>A1</i>	Neubau eines energieeffizienten Rechenzentrums	41.379,18
<i>A2</i>	Optimierung eines Rechenzentrums	41.336,91

Würde nur auf Basis des Kapitalwerts geplant, so fiel *A3* aus der Auswahl und es ergäbe sich die absteigende Reihenfolge *A2*, *A1*. Mit dem vorgestellten Planungsmodell und unter Berücksichtigung der formulierten Nachhaltigkeitsstrategie und dem kombiniert ökonomisch-ökologischen Zielsystem ergibt sich die Reihenfolge *A1*, *A2*. Somit wird der Neubau eines energieeffizienten Rechenzentrums als beste Alternative bewertet.

### III.1.5 Literatur

- A.T. Kearney (2008) A.T. Kearney-Pressemitteilung zur Studie: Von Green-IT zu Green Business - CO<sub>2</sub>-Reduktion innerhalb und außerhalb des Rechenzentrums. [www.atkearney.de/content/veroeffentlichungen/pressemitteilungen\\_detail.php/id/50162/practice/nachhaltigkeit](http://www.atkearney.de/content/veroeffentlichungen/pressemitteilungen_detail.php/id/50162/practice/nachhaltigkeit)
- Boudreau MC, Chen A, Huber M (2007) Green IS: Building Sustainable Business Practices. Information Systems, Global Text Project: 1-15
- Buhl HU, Gaugler T, Mette P (2011) Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy. Proc. of the 19th European Conference on Information Systems, Helsinki, Finland, 2011

---

Buhl HU, Jetter M (2009) Die Verantwortung der Wirtschaftsinformatik für unseren Planeten. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 51(4): 317-321

Deutsche Energie-Agentur: dena-Referenzprojekte. [www.energieeffizienz-im-service.de/rechenzentren/dena-referenzprojekte.html](http://www.energieeffizienz-im-service.de/rechenzentren/dena-referenzprojekte.html)

Erek K, Schmidt NH, Zarnekow R, Kolbe LM (2010) Green IT im Rahmen eines nachhaltigen Informationsmanagements. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 47(274):18-27

Fujitsu Inc.: Green IT: The Global Benchmark, A Report on Sustainable IT in the USA, UK, Australia and India, [www.ictliteracy.info/inf/pdf/green\\_IT\\_global\\_benchmark.pdf](http://www.ictliteracy.info/inf/pdf/green_IT_global_benchmark.pdf)

Kruschwitz L (2009) Investitionsrechnung. Oldenbourg Verlag, München

Lützkendorf T, Mrics D (2008) Next Generation Decision Support Instruments for the Property Industry – Understanding the Financial Implications of Sustainable Building. World Sustainable Building Conference, Melbourne, Australien

OECD: Greener and smarter: ICTs, the Environment and Climate Change. <http://www.oecd.org/dataoecd/27/12/45983022.pdf>

Teuteberg F, Gómez JM (2010) Green Computing & Sustainability: Status quo und Herausforderungen für betriebliche Umweltinformationssysteme der nächsten Generation. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 47(274): 6-17

The Climate Group: Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. [www.smart2020.org/\\_assets/files/02\\_Smart2020Report.pdf](http://www.smart2020.org/_assets/files/02_Smart2020Report.pdf)

### III.2 Beitrag 3: “The value of information exchange in electric vehicle charging“

Autoren:	Gilbert Fridgen Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Professur für Wirtschaftsinformatik und nachhaltiges IT- Management Universität Bayreuth, D- 95447 Bayreuth gilbert.fridgen@uni-bayreuth.de  Philipp Mette Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de
----------	--

#### **Zusammenfassung:**

*Renewable energy integration is accompanied by highly volatile energy generation, which urges energy suppliers to use costly countermeasures to prevent energy imbalances, grid instabilities and power outages. Therefore, using demand-side approaches to shift flexible demand over time is a promising opportunity. In the case of electric vehicles, research papers mostly discuss vehicle drivers' individual charging strategies based upon pricing information. The objective of this paper is to quantify the aggregate economic benefit of an advanced metering approach wherein electric vehicle drivers simply provide information about the start of the next trip to the energy supplier, who can then optimize the charging strategy for all drivers based on this information. By using a quantitative model and a multi-agent simulation for evaluation, we analyse original data from Germany to conclude that advanced metering can enable significant savings. Finally, we present a pricing scheme that would incentivize the drivers to provide truthful information.*

### III.2.1 Introduction

Climate change and energy security are considered to be among the most pressing issues the world currently faces (Traut et al. 2012). Governments are imposing obligations on industry companies to increase energy efficiency and reduce emissions in order to achieve ambitious climate and energy goals. The energy turnaround, i.e. the substitution of conventional energies, like coal and nuclear, by renewable energy sources, like wind and solar, will lead to a “substantial transformation of electricity systems” (Römer et al. 2012). Germany is at the forefront of the development of energy systems, and plans to shut down all nuclear power plants before 2022 (Economist 2011). However, as wind and sunlight fluctuate over time, energy generation with those sources can be highly volatile (Subramanian et al. 2012). Energy suppliers increasingly face the challenge of grid imbalances, which is, surplus of energy generation or demand (dena 2012). The exact balance between generation and demand is a complex challenge in and of itself (Mattern et al. 2010), and will, according to Christian (2010), become “one of the most critical issues in the transition to less carbon-emitting energy supply systems within the next decades”. Nowadays, energy suppliers match energy generation and demand by buying operating reserve and turning large generators on and off. As a consequence, efficiency loss and high opportunity cost lead to payouts for the energy supplier and, eventually, higher energy prices for customers. Moreover, energy storage facilities (ESFs) are used, which are extremely costly and (mostly) too sluggish to absorb energy surplus, especially surplus occurring on the short-term. The issue of efficient and affordable ESFs is considered one of the biggest economic challenges of the energy turnaround. As a result, modern approaches to demand-side management are being developed, with a focus on shifting energy demand to match fluctuating generation (Strbac 2008). According to Flath et al. (2012a), demand-side management approaches “can reduce investments in the grid and the cost of generation (Strbac 2008) while customers can expect savings in their electricity bill (Albadi and El-Saadany 2008)”. Electric vehicles (EV) can potentially serve as compensatory energy storage units, which may help to remedy the problem. Since the parking times of EVs are often longer than the actual driving times, the charging of EVs is temporally flexible. EV charging can therefore be optimized in order to compensate grid imbalances. From an information management perspective, the problem at hand stems from asymmetric information: energy suppliers have no information about the time and duration that an EV is available for charging. When combined with conflicting interests, asymmetric information “can lead to suboptimal allocation of resources” (Copeland



---

et al. 2005) and welfare losses. Existing research articles develop charging strategies mostly on the basis of energy price information, (e.g. Sundström and Binding (2010), Römer et al. (2012), Lopes et al. (2009), Schuller et al. (2012)), and assume that the customers' loading strategies will respond to price signals. However, given the comparatively low cost of the power necessary to fully load an electric vehicle, (approx. 5 € in today's prices) it is unlikely that customers will be willing to bother with complex pricing mechanisms that yield results which cannot be known in advance.

To this account, information and communications technology (ICT) has already developed an infrastructure which enables EV drivers to dispose of asymmetric information. Through the use of an advanced meter, the energy supplier receives information about the actual driving behavior from the driver. For example, the Chevrolet Volt already comes with a mobile app called Onstar Remotelink, which allows EV drivers to specify charging times and charging modes (General Motors 2011), such as grid-friendly charging. The energy supplier can then determine a charging schedule for each EV, allowing the energy supplier to leverage the flexibility of energy demand (Goebel 2012). Hence, the signaling effect of information exchange can counteract asymmetric information and welfare loss.

The objective of this paper is to quantify the aggregate economic potential of an advanced metering approach where EV drivers provide information about the start of the next trip to the energy supplier. Moreover, we aim at developing a pricing scheme that incentivizes drivers to provide truthful information to the supplier. We will show that advanced metering is able to counteract the welfare loss that occurs as a result of asymmetric information. Therefore, our model simplifies the energy supply side. In other words, we do not differentiate between energy supply and grid operators, do not assume the perspective of any one specific energy supplier, and do not model market competition or energy trading opportunities. This is reasonable, since energy trading does not solve the challenge of surplus of energy generation or demand, but rather shifts it to a higher level: selling surplus energy might solve the problem for an individual energy supplier, but on a national or even international level energy must still be stored. Moreover, transporting energy over large distances (e.g., for exports) leads to energy loss and should therefore also be avoided. Hence, from an aggregate economic perspective, a market view is not necessary, since the energy market only serves to incentivize and distribute the benefits that we have identified. We thus claim to determine the aggregate economic benefit of information exchange by means of an overall hypothetical amount of savings for the value of information in EV charging.

---

In the next section, we give an overview of existing literature related to our work. Section 3 offers an explanation regarding the focused challenge of renewable energy integration. Section 4 introduces the model, and section 5 presents the data we used for our analysis. Afterwards, we discuss a possible pricing scheme to leverage the economic potential of ICT-based information exchange. Subsequently, conclusions from the model and the simulation are drawn and summed up. We close with a brief summary, discuss limitations of the article and present an outlook on future research.

### **III.2.2 Related work**

Market penetration of EV faces several obstacles, including long charging times and shorter driving range of EVs, as well as skepticism among potential users (Tate et al. 2008). Thus, business models to counteract these obstacles are being developed. Kley et al. (2011) present several business models for electric mobility, and provide decision support for various stakeholders. Among these, a promising approach is using EVs to shift the load into off-peak periods, which has already been discussed since 1983 (Heydt 1983). According to Kempton and Tomić (2005b), vehicles are parked, on average, for 96% of the day. Existing research papers propose load-shifting with specific charging strategies, such as a decentralized approach (Qian et al. 2011), coordination based on local grid parameters (Lopes et al. 2010), or a central optimal planning authority (Clement et al. 2009, Flath et al. 2012b). Traut et al. (2012) propose an optimization model to minimize annual life-cycle costs for an EV fleet. Energy and emission costs are considered, as well as several engine and motor types, battery size, battery swing windows, the allocation of vehicles, and the allocation of home and workplace charging stations. Callaway and Hiskens (2011) explore conceptual requirements to develop and evaluate load schemes. Gottwalt et al. (2011) investigate the impact of smart appliances and variable prices under several tariffs regarding electricity bills of customers, and compare savings to required equipment. Lopes et al. (2009) and Dietz et al. (2011) assess several charging strategies for EVs in order to match energy generation and demand. Flath et al. (2012c) integrate a cluster analysis approach into the business intelligence environment to achieve a customer segment-specific energy tariff design. However, combining a smart meter with a communication gateway, metering infrastructure and a management system (advanced metering) opens up new possibilities and gives EV drivers the chance to participate in demand response programs (Kranz 2011). Advanced metering research is based on the idea that EV drivers and energy suppliers exchange more than price information, and bridge “the communication gap between consumers and other energy systems’ parties by means of

---

information and communication technologies” (Kranz 2011). Yang et al. (2009) find that advanced metering enables more efficient and anticipatory coordination between power generation and demand. Kranz (2011) analyzed customer acceptance of advanced metering devices. The economic impact of advanced metering is discussed in an overview by Faruqui et al. (2010). Goebel (2013) proposes a comprehensive simulation-based business case analysis and shows that controlling charging behavior with the help of advanced metering may lead to significant cost savings. Schmidt and Busse (2013) used simplistic driving profiles and assumed a fixed daytime for the latest end of charging to evaluate whether investments in smart EV charging technologies are a suitable alternative to an expansion of power plant capacities. Wagner et al. (2013) conducted a comprehensive simulation and used data from the internal parking guidance systems of two major German cities to compute a business case for a cluster of parking garages as operating instances for grid regulation.

However, none of these approaches perform an aggregate economic potential analysis of smart EV charging. Moreover, none of the articles discuss requirements for an effective incentive system to reach technology diffusion. Böning et al. (2010) found that the use of information exchange infrastructure “is more a result of regulation than of industry initiatives” (Römer et al. 2012, Böning et al. 2010). Thus, it appears necessary to analyze the business potential of ICT-supported communication with advanced metering devices and incentives to facilitate widespread market penetration.

### **III.2.3 The challenge of renewable energy integration**

Renewable energy sources generate energy from resources that are continually replenished, e.g., sunlight or wind. The occurrence of these natural resources is not stable but volatile, leading to fluctuating energy generation. Since the behaviour of households, industries and other energy demanders is uncertain, uncertain energy generation from renewable sources, as well as uncertain quantities of energy demand cause imbalances in the grid. One possible measure to capture imbalances of energy generation and demand is the residual load, which is the difference between energy demand, and the amount of energy generated from renewable energy sources at any given time. It thus constitutes the non-influenceable energy fluctuation, given that the demand is unmanaged and renewables are not disconnected from the grid, two conditions which should be avoided for economical reasons.

The residual load must be supplied with energy from conventional power plants, and balanced through ESFs and energy imports (dena 2012). However, conventional power plants provide

only a relatively constant load, and ESFs have an efficiency factor of 80%, at most (Economist 2012). Energy imports and exports may not only lead to high payouts for the energy supplier, but also do not solve the problem of energy storage. By proceeding further with the energy turnaround, the share of renewables of the whole energy supply will increase significantly. Residual load volatility and grid imbalances are also expected to increase drastically (see Figure III.2-1 (dena 2012)).

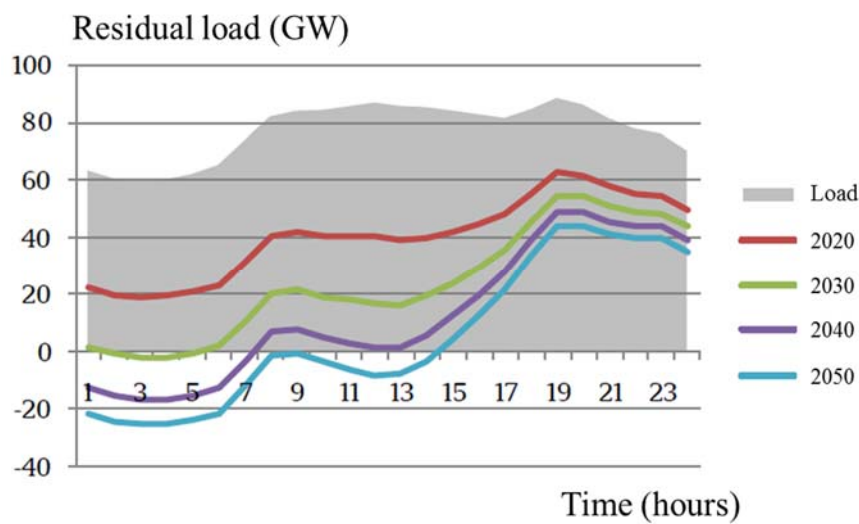


Fig. III.2-1: Residual loads forecast for an average German weekday in 2020 (dena 2012)

Consequently, it will become increasingly important for energy suppliers to decrease energy imbalances. In the following section, we will demonstrate how ICT can be used for demand-side management of EVs by means of manageable energy consumers, which are quickly available. They can be assigned to store energy surplus and decrease residual load volatility and, eventually, payouts for energy supplier and customers.

### III.2.4 Model

In this section, we develop a generic formal model and evaluate its applicability in a multi-agent simulation. We consider daytime-specific driving behavior as well as season-specific traffic volume and use forecast data for residual loads in the year of 2020 to compare a smart charging strategy to immediate charging. In principle, the problem at hand could be solved with a dynamic programming model. However, a simulation is the more sensible approach, as the model considers many different persons involved, each with random parameters that are described by a variety of different distribution functions. These qualities make an analytical solution merely impossible.

We consider a setting with one energy supplier  $E$  and  $n$  EV drivers  $i$ , where  $i = 1, \dots, n$ . Generally, a more complex analysis under consideration of more advanced market conditions, such as trading opportunities or dynamic pricing mechanisms, could be performed without jeopardizing the validity of the results of this article.

We consider a certain timeframe which can be divided into  $T$  time periods,  $t = 0, \dots, T$ . In each period, the energy provider faces a certain residual load  $R_t$  measured in kWh. We assume that the average residual load  $\bar{R}$  can be delivered by conventional power plants, and is therefore irrelevant to our model. The deviation from the average  $S_t = \bar{R} - R_t$  thus describes the over (+) or undercapacity (-) of the grid that must be balanced through loading/unloading of ESFs, e.g., pumped storage plants. Loading and unloading ESFs has efficiency factors of  $0 < \eta_l < 1$  and  $0 < \eta_u < 1$ , respectively. Loading the ESF with an overcapacity of  $S_t$  therefore actually only loads  $S_t \cdot \eta_l$ , and causes losses of  $S_t \cdot (1 - \eta_l)$ , whereas unloading an undercapacity of  $S_t$  from the ESF requires  $S_t/\eta_u$  to be actually withdrawn from the ESF, and causes losses of  $S_t \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta_u}\right)$ . The total energy lost due to the inefficiency of loading and unloading the ESF is therefore

$$L_\eta = \sum_{\substack{t=0 \\ S_t > 0}}^T S_t \cdot (1 - \eta_l) + \sum_{\substack{t=0 \\ S_t < 0}}^T S_t \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta_u}\right).$$

We assume opportunity cost for these energy losses of  $c_c \cdot L_\eta$ , with  $c_c$  describing the cost of conventional energy per kWh. Moreover, running ESFs causes cost. To account for this cost, we assume that unloading 1 kWh of energy from an ESF causes cost  $c_S$  (dena (2008) aggregates the cost involved with ESFs into one value). If energy imbalance is over a certain threshold, it is possible that the payouts necessary to store additional energy are higher, e.g., another pumped storage plant must be activated, or a power plant must be shut down. For simplification, we omit this effect - which would strengthen the results of this paper even further - and assume  $c_S$  to be constant. The total cost  $C$  for the energy supplier due to surplus of energy generation or demand during  $T$ , then, are:

$$C = c_c \cdot L_\eta + \sum_{\substack{t=0 \\ S_t < 0}}^T S_t \cdot c_S = c_c \cdot \left( \sum_{\substack{t=0 \\ S_t > 0}}^T S_t \cdot (1 - \eta_l) + \sum_{\substack{t=0 \\ S_t < 0}}^T S_t \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta_u}\right) \right) + \sum_{\substack{t=0 \\ S_t < 0}}^T S_t \cdot c_S$$

The energy supplier aims at lowering  $C$  in order to increase its economic profit. This can be reached by lowering  $|S_t|$ .

Because each of  $E$ 's  $n$  customers accounts for one EV, we will treat customers and EVs synonymously. Each EV features a certain charging level at every point of time  $E_{i,t}$ , and a maximum charging level,  $E_{max}$ , measured in kWh, (we assume  $E_{max}$  to be equal for all vehicles.) EVs alternate between parking and driving during  $T$ . The individual durations of driving are modeled as exponentially distributed random variables  $\tilde{d}_{d,i,\underline{t}}$  limited to the maximal range with regard to an EV's initial charging level. The individual (residual) durations for parking are denoted as  $d_{p,i,\underline{t}}$  ( $\underline{t}$  is the period in which parking began). Therefore, we find that  $d_{d,i,\underline{t}} = \max(\tilde{d}_{d,i,\underline{t}}, E_{i,t}/u)$ , with  $u$  denoting the EV's energy usage per period, (assumed to be constant and equal for all EVs.) At the end of driving in  $t$ , the charging level of an EV will thus be  $E_{i,t} = E_{i,t'} - d_{d,i,\underline{t}} \cdot u$ , with  $t' = \underline{t}'$  denoting the starting period of the previous trip.

During parking times, an EV may be connected to a battery-charging infrastructure. The current charging infrastructure is not developed nationwide, e.g., the necessary grid connection can nowadays only be provided during half of the day in Germany (Wagner et al. 2013). In accordance with the work of Kempton and Tomić (2005a), we assume that EVs can be charged in 75% of all cases by 2020. Transport losses between different localities of energy generation and EV charging are disregarded. Each EV  $i$  arrives at a charging device with a specific state of charge  $E_{i,t}$ . We assume the primary concern of all EV drivers is to have a fully-loaded EV when starting a trip, or - if parking time is not sufficient to load the battery completely - the maximum charging level possible. We furthermore assume EV drivers to be indifferent towards the charging status until they start the next trip. The secondary concern of all EV drivers is to minimize the cost for charging the EV. Consequently, if there is either not enough or just the parking time available to fully load the EV, (i.e., if  $d_{p,i,\underline{t}} \leq (E_{max} - E_{i,t})/v$  with  $v$  denoting the amount of energy being charged in 1 period,) the EV will be charged immediately upon being plugged in. Otherwise, the EV may be charged at any time as long as it is fully charged in period  $t + d_{p,i,\underline{t}}$ . We do not consider load-dependent charging speed, but instead assume linear charging progress (Qian et al. 2011).

As many EV drivers might prefer to maintain a certain flexibility at any time, it might be necessary to define a minimal amount of energy that is charged right away in any given situation, (e.g., to go to a hospital or to the nearest supermarket.) However, from a modeling perspective this just lowers the ‘flexible’ battery capacity, and thus has a very low effect on the outcome, which is why we refrained from integrating this element into our model.

### III.2.5 Information exchange and its implications

Without advanced metering, the energy supplier has no information about the parking duration  $d_{p,i,t}$ , and is thus forced to charge each parked car immediately. Only this strategy fulfils the EV drivers’ main objective, which is to start again with a full battery or with the maximum possible charging level. In the following section, we will refer to this charging strategy as “immediate charging.” We assume that with ICT-based information exchange, the energy supplier will not only know the current charging level  $E_{i,t}$ , but also the parking time  $d_{p,i,t}$  truthfully provided by the EV drivers. It is possible that the actual parking time differs from the parking time submitted to the energy supplier. In an effort to simplify, we neglect anything other than planned trips, though other situations might be a valuable subject for future research. With this information, the energy supplier is able to compare the necessary charging time  $(E_{max} - E_{i,t})/v$  with the parking time available in order to schedule an individual charging strategy for each EV. While more information might allow for more sophisticated scheduling strategies, we describe a very simple smart strategy using this information, as well as its merits, in the following section.

The difference  $b_{i,t} = d_{p,i,t} - (E_{max} - E_{i,t})/v$  can be interpreted as the buffer a parked EV  $i$  has for being charged in period  $t$ . As long as  $b_{i,t} > 0$ , it is not necessary to charge the EV. As time goes by without charging,  $(E_{max} - E_{i,t})/v$  will stay constant while  $d_{p,i,t}$  will diminish. Using this information, we can apply a simple greedy algorithm:

1. Identify all EVs that are ready for charging, i.e., they are parking with  $(E_{max} - E_{i,t}) > 0$ .
2. Charge all EVs with  $b_{i,t} \leq 0$ .
3. As long as  $S_t > 0$ , charge the vehicles with the lowest buffers  $b_{i,t}$  first (the charged energy is then subtracted from  $S_t$ .)

This smart-charging algorithm ensures that as few EVs as possible are charged when  $S_t \leq 0$ , and that as many EVs as possible are charged when  $S_t > 0$ . Compared to the immediate-charging algorithm, the smart-charging algorithm minimizes the average  $|S_t|$ , and thus reduces the loading/unloading of ESFs. Furthermore, it preserves the highest possible flexibility in terms of the total buffer available, as EVs with a low buffer are charged first and EVs with a high buffer stay on the list for later charging. Although a greedy algorithm is only a heuristic approach, it delivers an optimal solution under the given assumptions. It should be mentioned that this would not be the case for an increasing  $c_s$  with an increasing  $S_t$ , as it might be sensible to postpone charging in order to avoid even higher peaks of  $S_t$ . However, since this element would make the model much more complex and would only increase the possible economic benefits of smart charging, we refrain, for now, from integrating this into our model.

To evaluate the economic benefit of the information needed to implement the algorithm, we must compare the payouts of the immediate-charging strategy with those of the smart-charging strategy. Hevner et al. (2004) name simulation as a legitimate means to evaluate design-oriented research. Therefore, we built a multi-agent simulation which is based upon real-world data to demonstrate that using advanced metering technology to transfer trip information will yield better results in practice than immediate charging will.

### III.2.6 Data

For our simulation, we use forecast data for residual loads of an average weekday in winter, as well as an average summer Saturday in Germany in the year of 2020 with positive and negative residual loads (dena 2012). In accordance with the German plans for EV integration (Bundesregierung 2009), we assume 1 million EVs on German streets by 2020, but performed also a simulation run with 200,000, and one with 5 million EVs to analyse validity and sensitivity of our results. We use season-specific traffic volumes according to BMVBS (2010) to model different driving behaviour for winter and summer. In order to take different driving profiles over day into account and to picture daytime-specific EV usage, we use real world data of BMVBS (2010). Thus, each EV is assigned a trip starting probability during each time of the day, again for both a winter weekday and a summer Saturday. We consider all EVs to be of the same kind, and calculate with a battery capacity of  $E_{max}=22$  kWh and an average of  $u=0.154$  kWh/min energy consumption for each EV based on the data of de la Fuente Layos (2007). The batteries of all EVs can be charged by charging devices at equal charging speed,



for which we use  $v=0.0969$  kWh/min based on Qian et al. (2011). We calculate with an average driving time of  $\tilde{d}_{d,i,t} = 13$  minutes (derived from de la Fuente Layos 2007) which is varied exponentially. We use  $\eta_l = 0.86$  as the ESF loading efficiency factor, and  $\eta_u = 0.88$  as the ESF unloading efficiency factor (dena 2008). Furthermore, we calculate with  $c_s = 0.1065$  € for ESF costs, and  $c_c = 0.116$  € for opportunity costs for energy losses per kWh (dena 2008). As mentioned before, we take into account that charging infrastructure is available only in 75% of all cases where a driver parks an EV to start a charging process.

Table III.2-1 gives an overview of all input values and literature sources.

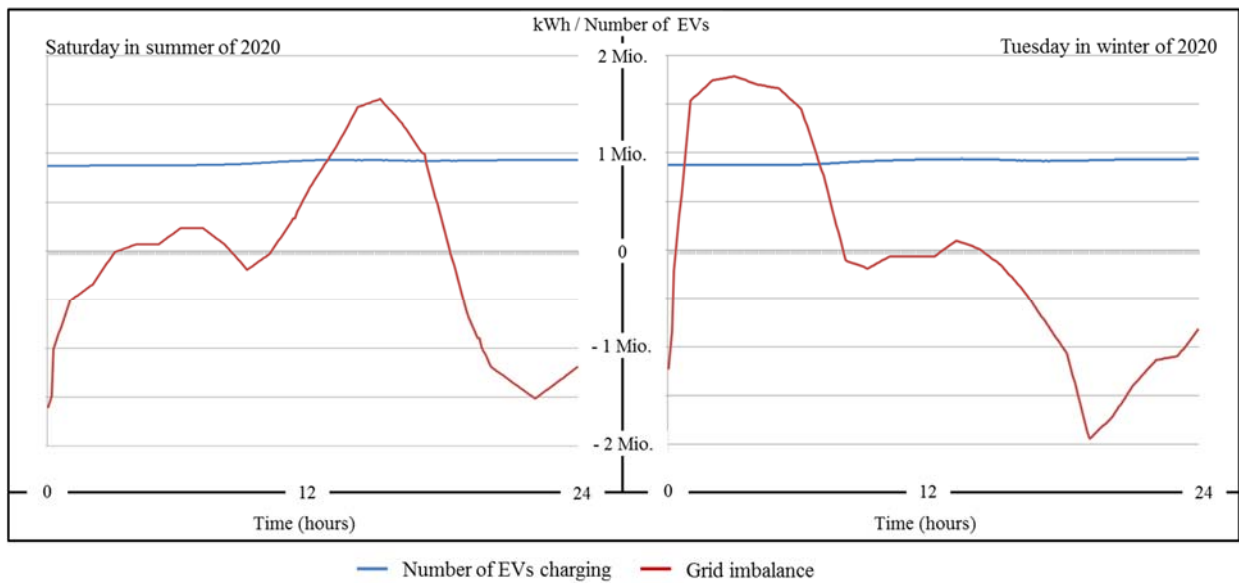
**Tab. III.2–1: Data input for the simulation**

Variable	Description	Value	Distribution	Source
$n$	Number of EVs	1,000,000 (200,000; 5,000,000)	-	Bundesregierung (2009)
$T$	Runtime	2 days (1 winter, 1 summer)	-	-
$R_t$	Residual load for a weekday in winter	-	Acc. to dena (2012)	dena (2012)
	Residual load for a day of a summer weekend	-	Acc. to dena (2012)	dena (2012)
-	Trip starting times for a weekday in winter	-	Acc. to BMVBS (2010)	BMVBS (2010)
	Trip starting times for a day of a summer weekend	-	Acc. to BMVBS (2010)	BMVBS (2010)
$\tilde{d}_{d,i,t}$	Driving time	13 min	exponential	Derived from de la Fuente Layos (2007)
-	Traffic volume summer	-	-	BMVBS (2010)

	Traffic volume winter	-	-	BMVBS (2010)
$v$	EV charging speed	0.0969 kWh/min	-	Derived from Qian et al. (2011)
$E_{max}$	EV battery capacity	22 kWh	-	-
$u$	Energy consumption per min	0.154 kWh/min	-	de la Fuente Layos (2007)
$\eta_l$	ESF loading efficiency	0.86	-	dena (2008)
$\eta_u$	ESF unloading efficiency	0.88	-	dena (2008)
$c_s$	Costs for unloading 1 kWh from ESF	0.1065 €/kWh	-	dena (2008)
$c_c$	Opportunity costs for energy losses per kWh	0.116 €/kWh	-	dena (2008)
-	Probability of charging infrastructure availability	75%	-	Derived from Kempton and Tomić (2005a)

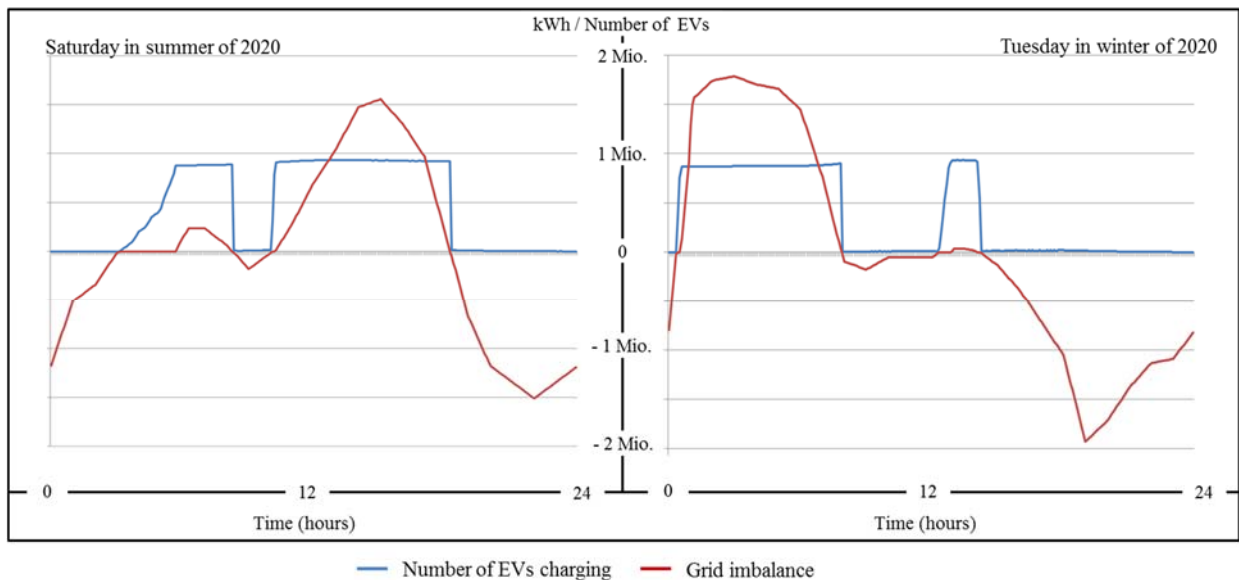
### III.2.7 Simulation results

The immediate charging strategy leads to an almost equally distributed energy demand by the EVs over time: EV charging is conducted independently from grid over- or undercapacities. Grid undercapacity in particular is neither compensated nor counteracted by reduced EV charging. Figure III.2-2 shows the numbers of EV charging and the grid imbalances over the period of one average Saturday in summer and an average Tuesday in winter of 2020.



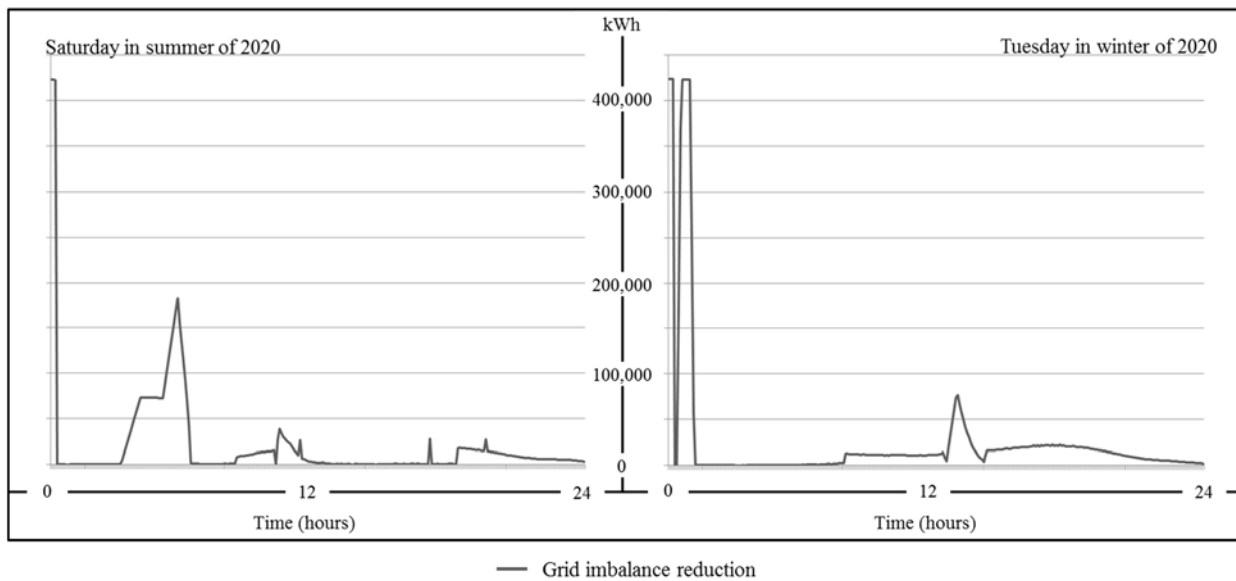
**Fig. III.2-2: Immediate charging**

As illustrated in Figure III.2-3, an information exchange-based smart charging strategy produces an unsteady charging profile, with high demand where overcapacity is available and low demand in times of undercapacity. This demand shift is even able to completely balance the grid between 3:00am and 4:30am during an average summer Saturday in 2020.



**Fig. III.2-3: Information exchange based smart charging**

Figure III.2-4 presents the volatility reduction as the absolute difference between the grid imbalances when applying the smart and the immediate charging strategy.



**Fig. III.2-4: Grid imbalance reduction**

To compare the monetary effects of immediate and smart charging, we need to compare the necessary balancing costs through ESFs for both scenarios. The total balancing costs are compounded of the variable costs of ESFs and the costs due to ESF efficiency losses. We compare EVs’ state of charging at the beginning and at the end of the considered periods, and remove the possible bias (EV charging loss) from the economic potential calculation. Table III.2-2 describes the outcomes for the two charging strategies.

**Tab. III.2-2: Comparison of immediate and smart charging (in million €)**

	Strategy	ESF cost	ESF efficiency loss	EV charging loss	Total cost €
<b>winter</b>	immediate	13.70	5.21	0.01	18.92
	smart	13.33	5.11	-0.02	18.42
<b>summer</b>	immediate	10.69	4.10	0.01	14.80
	smart	10.46	4.15	-0.12	14.49

With respect to the model assumptions, our simulation results in a significant amount of savings - approximately 500,000€ for the considered day in winter, and 316,000 € for the day in summer. These outcomes were reached in several runs of the simulation with the described input factors. Since having 1,000,000 EVs on German streets by 2020 is currently a political objective, while other scenarios can become also reality, we conducted a short sensitivity analysis with 200,000 cars and 5 million cars, through which we found savings of

approximately 100,000 € in winter (64,000 € in summer) and 2,414,000 € in winter (1,615,000 € in summer), respectively.

The actual amount to be saved depends, however, on the drivers and their willingness to provide the necessary trip information to the energy supplier. It is thus necessary to develop a well-designed incentive system with regard to the revealed economic potential. For the energy provider, the proposed model offers savings that could be used to incentivize the drivers to disclose this information. For 1 million cars, achievable savings are an average of 0.5 € per car (0.316 € in summer), or 10% (6.3%) of the approximately 5 € average cost for a *complete* battery charge of an EV with today's prices. Keeping in mind that not all cars are completely charged in one day, and that some drivers will earn higher rebates due to longer parking times while others will earn lower or no rebates due to frequent usage of the car, this amount should be a good basis for incentivizing drivers. For 200,000 cars and 5 million cars, the amount should be equally sufficient for EV drivers to reveal their driving schedule. However, the costs of implementing smart charging processes have to be born - advanced meters, as well as smart charging stations, would have to be installed at homes, workplaces, and also in public zones. Thus, we will discuss a possible scheme that might offer the necessary information exchange incentives to EV drivers in the following section.

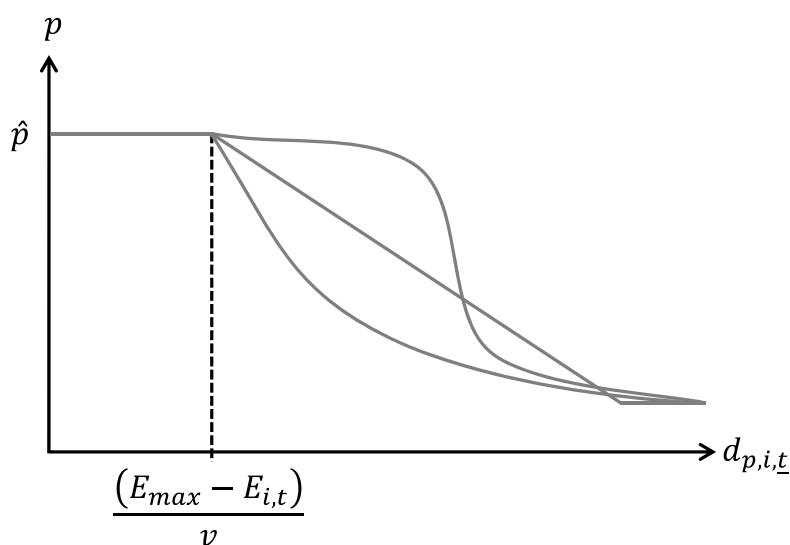
### III.2.8 A pricing scheme for smart EV charging

As mentioned before, EV drivers considered in our model follow two objectives: (1) to reduce their energy cost and (2) to have their car fully loaded for the next trip. We assume that financial incentivisation of information exchange is conducted by energy price deduction.

Due to flexibility, each EV driver will prefer the car to be charged as quickly as possible. However, EV drivers will not be willing to pay for an earlier charge if they do not plan to use the EV. Consequently, EV drivers cannot be incentivized by an energy price deduction to disclose their parking time unless this price deduction depends on the actual duration of parking  $d_{p,i,t}$ . For example, EV drivers might exploit a constant energy price deduction by submitting information about a much earlier starting time of the next trip than what is actually planned. Thus, lower energy prices for longer parking times will incentivize EV drivers to disclose the actual starting time of their next trip. Therefore, a meaningful price function decreases in response to the parking time  $d_{p,i,t}$ , and thus rewards longer parking times with a lower energy price.

From the energy supplier's perspective, we can furthermore deduct the following requirement for a pricing function: The price's upper bound  $\hat{p}$  corresponds to the driver's regular energy tariff. If the EV is required to be charged immediately ( $b_{i,t} \leq 0$ ), i.e., no demand-shifting benefits can be realized, there is no reason to treat it differently from other power-consuming devices.

All in all, a meaningful price function  $p$  depends on the parking duration  $d_{p,i,t}$ , is constant at  $\hat{p}$  until  $(E_{max} - E_{i,t})/v$ , and is then monotonically decreasing. Exemplary function curves, which depict possible price functions, are illustrated in Figure III.2-5.



**Fig. III.2-5: Possible price functions for information exchange-based EV charging**

Determining a tangible pricing function requires a closer examination of the connection between energy price and the EV drivers' willingness to provide trip information to the energy supplier. The findings presented in this paper thus provide a basis for future behavioural research focussing on this connection.

### III.2.9 Summary, limitations and outlook

In this article, we evaluated the aggregate economic benefit of an advanced metering approach where EV drivers provide information about the start of the next trip to the energy supplier. After an overview of related literature, we introduced a main challenge of renewable energy integration and developed a formal model to demonstrate how energy suppliers can benefit from trip information. We presented the data, which we used to conduct a simulation approach for the German energy grid and discussed a pricing scheme leveraging the ICT-

supported saving potential. Nevertheless, several assumptions in our work need to be examined critically, and may build the basis for future research.

We did not take the perspective of an energy supplier, but rather treat the supply side of the energy grid as a whole. Individual suppliers may use more instruments to counteract energy imbalances, like forecast models or energy trading opportunities with futures and options. Moreover, we simplify the model in various ways, e.g., by assuming that parking is not aborted before the scheduled ending, omitting that drivers might want to have a minimal load in their car at all times (e.g., for the trip to the next hospital) and assuming uniform vehicle and charging infrastructure properties (e.g., linear charging progress, equal battery capacity and equal charging speed). Also, we do not consider adoption obstacles such as privacy concerns of users, i.e., skeptics might be prejudiced towards big (energy) companies knowing their driving behavior and whereabouts. Finally, we do not analyze the exact coherence between energy pricing and the customers' willingness to disclose trip information and provide demand-side flexibility to the energy supplier. Enhancing our model by considering exact pricing functions seems promising, e.g., for behavioral research approaches. However, our article illustrated that advanced metering combined with incentive-compatible pricing structure bears enormous economical and also ecological potential. Thus, we think that our work may contribute to leveraging the potential of ICT-based information exchange in the context of market penetration of EVs to counteract the challenges of the energy turnaround with regard to energy imbalances in the grid.

### **III.2.10 Literatur**

- Albadi MH, El-Saadany E (2008) A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research* 78(11):1989-1996
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010)) *Mobilität in Deutschland 2008*
- Böning S, Dämbkes, A, Reichhart P (2010) *Die M2M-Industry-Map Deutschland*.
- Bundesregierung Deutschland (2009) *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. Berlin.  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nep\\_09\\_bmu\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nep_09_bmu_bf.pdf)
- Callaway D, Hiskens IA (2011) Achieving controllability of electric loads. *Proceedings of the IEEE* 99(1):184-199

- 
- Christian R (2010) Smart grids are the key enabler for green energy system deployment around the globe. 1st IEEE Smart Grid World Forum.
- Clement K, Haesen E, Driesen J (2009) Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids. Power Systems Conference and Exposition, 1-7
- Copeland TE, Weston JF, Shastri K (2005). Financial Theory and Corporate Policy. Boston, MA: Pearson Education Inc.
- De La Fuente Layos LA (2007) Mobilität im Personenverkehr in Europa. Statistik kurz gefasst. [http://www.eds-destatis.de/de/downloads/sif/sf\\_07\\_087.pdf](http://www.eds-destatis.de/de/downloads/sif/sf_07_087.pdf)
- dena (Deutsche Energie-Agentur) (2012) Integration der erneuerbaren Energien in den deutschen/europäischen Strommarkt.  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Presse/Meldungen/2012/Endbericht\\_Integration\\_EE.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/Endbericht_Integration_EE.pdf)
- dena (Deutsche Energie-Agentur) (2008) Elektrizitätswirtschaftliche und energiepolitische Auswirkungen der Erhebung von Netznutzungsentgelten für den Speicherstrombezug von Pumpspeicherwerken.  
[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Energiedienstleistungen/Dokumente/Pumpspeicherstudie.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiedienstleistungen/Dokumente/Pumpspeicherstudie.pdf)
- Dietz B, Ahlert K, Schuller A, Weinhardt C (2011) Economic benchmark of charging strategies for battery electric vehicles. PowerTech IEEE Trondheim, 1-8
- Economist (2011) Nuclear? Nein, danke: A nuclear phase-out leaves German energy policy in a muddle. <http://www.economist.com/node/18774834>
- Economist (2012) Packing some power.  
<http://www.economist.com/node/21548495?frsc=dg|a>
- Faruqui A, Harris D, Hledik R (2010) Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. Energy Policy 38(10):6222-6231



- 
- Flath C, Ilg J, Weinhardt C (2012). Decision Support for Electric Vehicle Charging. 18th Americas Conference on Information Systems (AMCIS), paper 14
- Flath C, Gottwalt S, Ilg, JP (2012) A Revenue Management Approach for Efficient Electric Vehicle Charging Coordination. 45th Hawaii International Conference on System Science (HICSS):1888-1896
- Flath C, Nicolay D, Conte T, van Dinther C, Filipova-Neumann L (2012) Cluster Analysis of Smart Metering Data: An Implementation in Practice. Business & Information Systems Engineering 4(1):31-39
- General Motors (2011) Chevrolet Volt Technology.  
[http://www.chevroletvoltage.com/images/stories/VoltAge\\_U\\_Content/about%20volt%20powerpoint.pdf](http://www.chevroletvoltage.com/images/stories/VoltAge_U_Content/about%20volt%20powerpoint.pdf)
- Goebel C (2012) On the business value of ICT-controlled plug-in electric vehicle charging in California. Energy Policy 53(1):1-10
- Gottwalt S, Ketter W, Block C, Collins J, Weinhardt C (2011). Demand side management - A simulation of household behavior under variable prices. Energy Policy 39(12):8163-8174
- Hevner AR, March ST, Park J, Ram S (2004). Design science in information systems research. Management Information Systems Quarterly 28(1):75-106
- Heydt GF (1983) The impact of electric vehicle deployment on load management strategies. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems (5):1253-1259
- Kempton W, Tomić J (2005a) Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. Journal of Power Sources 144(1): 268-279
- Kempton W, Tomić J (2005b) Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. Journal of Power Sources 144(1):280-294
- Kley F, Lerch C, Dallinger D (2011) New business models for electric cars - A holistic approach. Energy Policy 39(6):3392-3403

- 
- Kranz J (2011) *Studies on Technology Adoption and Regulation of Smart Grids*. Berlin: epubli GmbH
- Lopes JP, Polenz SA, Moreira CA, Cherkaoui R (2010) Identification of control and management strategies for LV unbalanced microgrids with plugged-in electric vehicles. *Electric Power Systems Research* 80(8):898-906
- Lopes JP, Soares FJ, Almeida PR (2009) Identifying management procedures to deal with connection of electric vehicles in the grid. *Proceedings from the IEEE Bucharest Power Tech Conference*, 1-8
- Mattern F, Staake T, Weiss M (2010) *ICT for Green: How Computers Can Help Us to Conserve Energy*. <http://www.im.ethz.ch/publications/ICTforGreen.pdf>
- Qian K, Zhou C, Allan M, Yuan Y (2011) Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems* 26(2):802-810
- Römer B, Reichhart P, Kranz J, Picot A (2012) The role of smart metering and decentralized electricity storage for smart grids: The importance of positive externalities. *Energy Policy* (50):486-495
- Schmidt J, Busse S (2013) *The Value of IS to Ensure the Security of Energy Supply – The Case of Electric Vehicle Charging*. *Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems*, Chicago.
- Schuller A, Ilg J, van Dinther C (2012) Benchmarking electric vehicle charging control strategies. *IEEE PES*, 1-8
- Soares F, Lopes JP, Almeida PR, Moreira C, Seca L (2011). A stochastic model to simulate electric vehicles motion and quantify the energy required from the grid. *PSCC*, 22-26
- Strbac G. (2008) Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy* 36(12): 4419-4426
- Subramanian A, Garcia M, Dominguez-Garcia A, Callaway D, Poola K, Varaiya P (2012) Real-time Scheduling of Deferrable Electric Loads. *American Control Conference*

Sundström O, Binding C (2010) Optimization methods to plan the charging of electric vehicle fleets. International Conference on Control, Communication and Power Engineering:28-29

Tate ED, Harpster MO, Savagian PJ (2008). The electrification of the automobile: From conventional hybrid, to plug-in hybrids, to extended-range electric vehicles.  
<http://www.media.gm.com/content/dam/Media/microsites/product/volt/docs/paper.pdf>

Traut E, Hendrickson C, Klampfl E, Liu Y, Michalek J (2012) Optimal Design and Allocation of Electrified Vehicles and Dedicated Charging Infrastructure for Minimum Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Cost. Energy Policy (51):524-534

Wagner S, Brandt T, Neumann D (2013) Beyond Mobility – An Energy Informatics Business Model For Vehicles In the Electric Age. Proceedings of the Twenty First European Conference on Information Systems, Utrecht

Yang Z, Lee W, Lam H (2009) Collaboration Interface in Smart Metering Scheme. The 15th International Conference on Electrical Engineering, 1-6

### III.3 Beitrag 4: „Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House - Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy“

Autoren:	Hans Ulrich Buhl, Philipp Mette Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg hans-ulrich.buhl@wiwi.uni-augsburg.de philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de  Tobias Gaugler Institut für Materials Resource Management, Professur für Wirtschaftsinformatik, insb. Finanz- & Informationsmanagement Universität Augsburg, D-86135 Augsburg tobias.gaugler@mrm.uni-augsburg.de
Erschienen 2011 in:	Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems (ECIS), Helsinki, Finnland

#### **Zusammenfassung:**

*Innovations in the field of information systems (IS) open up new possibilities to increase energy efficiency and carbon reduction. For this, real estate is an industry sector with remarkably high potential. Here, IS are integrated into 'Intelligent Houses'. But many of these ecologically advantageous investments are not made yet, because they do not seem to be economically profitable. We therefore develop an IS-specific model to identify investment alternatives out of all ecologically advantageous investment alternatives which are also economically profitable. For this, we compare the investment amount with the achievable energy cost reduction and the raise of the buildings' resale returns. Out of all identified investments we determine the economically optimal investment amount. In this connection we put special emphasis on the valuation of risk and for the first time point out the applicability of Intelligent Houses as insurance against energy price volatility. Thus, the quantity of all*

*ecologically advantageous and economically profitable investments is enhanced as well as the economically optimal investment amount. IS' potentials to combine economy and ecology can hence be detected and made useable. An example illustrates how the model can be applied.*

### **III.3.1 Introduction**

‘Even with modest UN projections for population growth, consumption and climate change, by 2030 humanity will need the capacity of two Earths to absorb CO<sub>2</sub> waste and keep up with natural resource consumption‘ (World Wide Fund For Nature 2010, p.9). To counteract this trend and the concomitant pollution of our planet, technical innovations in various disciplines have been developed. Likewise, information systems develop such innovations. IS can be used to enhance the efficiency of business processes comprehensively over various economic sectors (Buhl and Laartz 2008). In this way, almost 7.8 GtCO<sub>2</sub>e (billion tonnes (Gt) carbon dioxide equivalent) can be saved globally until 2020 based on the level of 2002. This potential reduction of global carbon emissions would be five times as large as the whole carbon footprint caused by IS itself (The Climate Group 2008, p.6). One measure to reduce energy consumption and carbon emissions outstandingly strong is the application of IS in properties in so-called Intelligent Houses (also: ‘Smart Homes’ or ‘Green Buildings’). IS can be used as a tool for monitoring, feedback and optimisation at every stage of a property’s life cycle to raise energy efficiency. For example, intelligent building management systems can be used to run heating and cooling systems automatically according to tenant’s needs. Operatively coupled sensors in the whole building and its outer faces provide and transfer the necessary data by measuring adjacent climate information and thus contribute to lower the building’s overall energy consumption remarkably. Global carbon emissions can be lowered simply by using IS in properties (based on the level of 2002 until 2020) about 1.68 GtCO<sub>2</sub>e and the global energy consumption of buildings about 15 % (The Climate Group 2008, p.6). Further IS innovations, which will be available for the first time in the future, could even raise the denoted savings. In this manner, Intelligent Houses are a key enabler for energy efficiency. Although the ecological advantages of Intelligent Houses are evident, the investment rate to higher energy efficiency is currently only 1-1.5 % in non-residential buildings and actually only 0.07 % in residential buildings (Rottke 2009). But which factors are opposed to the ecological contribution of IS at this point? Considering Intelligent Houses from an economic point of view, the following specifications appear:

---

*Specification 1:* The landlord-tenant-dilemma. Often, IS energy efficiency investments are not made because of the landlord-tenant-dilemma (The Climate Group 2008). The landlord decides on the investment amount, but only the tenant benefits from the resulting energy cost savings. In contrast, tenants do not have the right to claim an IS investment from the landlord (Bengtsson 1998). The profitability of IS investments thus depends on the perspective.

*Specification 2:* Dependence on future energy price. The achievable energy cost savings depend on a property's energy demand that can be reduced by an Intelligent House investment on the one hand, but also on the prevailing price for energy on the other hand. Thus, the overall advantageousness of investments in Intelligent Houses also depends on the future energy price (Atkinson et al. 2009).

*Specification 3:* Dependence on energy price volatility. IS investments reduce energy costs and (at the same time) its volatility, which originates from the volatile energy price (e.g. calculated standard deviation of oil was 0.33 (Schwartz 1997, p.937). Thus, the advantageousness of Intelligent House investments depends on the volatility of the energy price (Thompson 1997).

In general, there are more specifications of Intelligent House investments, but the focus of this paper shall be on these three specifications only, because they are most relevant for our consideration. To the best of our knowledge, there are no established investment valuation methods that (adequately) consider the three focused specifications. However, the special economic potential of Intelligent House investments is founded on these characteristics. Furthermore, established valuation methods capture the specifications only qualitatively and / or are only applicable for a particular technology. A universally applicable, quantitative valuation method is not available. Many ecologically advantageous and economically profitable investments are thus not identified. To counteract, this paper will answer the following research question: How can Intelligent House investments be correctly evaluated economically and consequently contribute to use the ecological and economical potentials of IS? To answer this research question we describe the conflict between ecology and economy of Intelligent Houses in chapter 3.1. In chapter 3.2 general assumptions and definitions that are necessary for a formal analysis are introduced. In chapter 3.3 we illustrate in an integrated risk and return consideration how to identify investments, which are ecologically advantageous and economically profitable at the same time. In chapter 3.4 the economically optimal investment out of all identified investments is determined. Subsequently, we illustrate

the practical applicability of the model with a practical example. We close with a summary of all results and a critical acclaim in chapter 5.

### **III.3.2 Literature review**

IS in properties can contribute to energy efficiency already during the property's design and construction phase, e.g. through virtual construction methods. These IS methods are computer modeling techniques that support the construction process of a buildings from its initial modular design to its on-site construction and maintenance. In this way, IS can help to reduce costs, times and energy consumption during the construction (Murray et al. 2003). But IS can also be used during the use of the property to increase energy efficiency. IS can increase energy efficiency through teleworking and collaborative technologies to reduce need for office space (globally achievable carbon savings until 2020: 0.11 GtCO<sub>2e</sub>), improved building design (0.45 GtCO<sub>2e</sub> savings), building management systems (automatically controlled and adjusted heating, cooling, lighting and energy use; 0.39 GtCO<sub>2e</sub> savings), voltage optimisation (0.24 GtCO<sub>2e</sub> savings), automated heating, ventilation and air conditioning (0.13 GtCO<sub>2e</sub> savings) and much more (The Climate Group 2008, p.40). The Climate Group (2008, p.9) estimates the achievable savings and states a globally IS-enabled saving potential of € 644 billion (between 2002 and 2020), of which € 216 billion can be saved by using IS in real estate. Kuckshinrichs et al. (2010) find even higher CO<sub>2</sub> abatement costs, which would raise the contemplated amount considerably. Of course, the denoted savings will only be fully realised if the IS measures are permanently used by the properties' tenants, i.e. the high potential of e.g. teleworking remains unused if the users do not accept and operate the provided technologies.

To integrate IS in properties, those investment alternatives which are best to achieve the elected objectives have to be identified out of all existing alternatives. For this purpose, both the necessary investment payout and the value added need to be considered in order to reach an economical valuation. As mentioned above, an appropriate IS investment valuation method has to take into account the landlord-tenant-dilemma, the future energy price and its volatility and valuate investments quantitatively and as universally applicable as possible.

For this reason, research papers value investments that increase energy efficiency by measuring the hence emerging benefits solely on the basis of non-monetary utility values for environmental, social or economic benefits, e.g. Power (2008). These methods account for many different important factors and do not concentrate only on economical aspects.

However, they are not quantitative and do not consider the importance of the future energy price (see *specification 2*) and its volatility (see *specification 3*).

Furthermore, decision-makers use discounted-cashflow methods, which discount the investment's expected future cash flows with a discount rate to a present value (Gallinelli 2008). In this way, the time-value of money is considered (which is very important for long-term investments). However, these discounted-cashflow methods do not measure or quantify an investment's risks, like the volatility of the energy price (see *specification 3*). Keown et al. (1994) recognise the special importance of risk for energy efficiency investments and suggest a basic approach to integrate risk into a discounted-cashflow valuation. They suggest the adaption of the discount rate depending on the height of the risk. Therefore, a higher discount rate should be used for investments that have higher risk than a typical investment and a lower discount rate should be used for investments that have lower risk than a typical investment. Johnson (1994) realises that the use of the adapted discount rate is broadly discussed in literature, but is not a satisfying way to adequately take risk into consideration.

Johnson (1994) furthermore reviews the relevance of classic economic models like the capital asset pricing model or the arbitrage pricing theory for energy technology investments. Despite some good propositions being made to incorporate risk, the author does not refer to the landlord-tenant-dilemma (see *specification 1*) nor to the actual application of the economic models taking into account the future energy price (see *specification 2*).

For this reason, a glance into other disciplines like architecture or material science is necessary. Bollatürk (2006) examines the optimum isolation thickness for building walls in the *Journal of Applied Thermal Engineering* and Al-Sallal (2003) compares polystyrene and fiberglass roof isolation in warm and cold climates in the *Journal of Renewable Energy*. These approaches consider the future energy price and are also quantitative. However, they do not consider risk either (see *specification 3*) and are only applicable for particular (non-IS) technologies.

Atkinson et al. (2009, p.2583) find that 'the majority of existing research focuses on either the technical attributes of different low carbon solutions on small or large scales, or the macro-economic effects of carbon-reducing energy strategies'. These methods again are hence not adequate for our needs. For this reason, current valuation methods are not appropriate to value Intelligent House investments subject to their specifications named above or to determine the actual value of a sustainable building adequately (Rottke 2009). Lützkendorf



and Mrics (2008) criticise a lack of methodologies to connect the ecological component of an investment with its economical value. That is why a valuation method to identify ecologically advantageous and simultaneously economically profitable Intelligent House investments is developed in this paper followed by the determination of the economically optimal investment amount.

### **III.3.3 Planning of Intelligent House investments**

Implementing each technically possible measure in line with an Intelligent House investment is not necessarily reasonable. First of all, we will identify all investments that are advantageous from an ecological perspective and profitable from an economical perspective. In this article, we focus on energy price risk only, since considering more than one risk would drastically increase the paper's complexity.

#### **III.3.3.1 Intelligent Houses in the conflict between ecology and economy**

The potential of IS to lower global carbon emissions and energy consumption is estimated at 15 % (The Climate Group 2008, p.6). To achieve this amount, all possible IS measures have to be implemented. However, it is unclear which of all measures shall be implemented. Each ecologically advantageous investment alternative is thus not necessarily profitable from an economic perspective. For this reason we will develop a tool to identify those investments out of all ecologically advantageous investments, which are also economically profitable, in the next chapters.

#### **III.3.3.2 Assumptions and definitions**

A property is rented and used by a tenant from time  $T_0$  until  $T_1$ . The tenant pays a constant periodic basic rental charge (excluding energy costs) at the specific amount  $RC$  to the landlord. Furthermore, the tenant has to pay energy costs  $EC$  to a gas and electricity supply company, which is necessary for the property's operation. These energy costs are the product of the property's energy demand  $d$  and the effective energy price  $P(t)$  at any given time. Additional expenses like e.g. expenses for water supply are irrelevant for this analysis and are not considered. The landlord receives the periodic basic rental charge  $RC$  from the tenant. At the end of the letting in  $T_1$ , the landlord sells the building and receives the resale return  $RR$ . The amount of  $RR$  can be seen as the net present value of all future achievable rental charges (the value of the land shall be disregarded at this point). Hence, it is irrelevant for our consideration whether the property is actually sold or not. In the following, we assume the

---

resale of the property in  $T_1$  for the sake of simplicity. The property's energy demand can be reduced with the help of an IS investment, which is determined by the amount of its necessary investment payout  $I$ , with  $I \in [1; \infty[$ . However, many energy saving measures of Intelligent Houses need energy for themselves. The net present value of these costs as well as further costs (e.g. for possible breakdown) shall be integrated in  $I$ . For reasons of simplicity, we consider energy costs which can be lowered permanently to a level of  $EC_{new} < EC$  by reducing the energy demand from  $d$  to a permanent  $d_{new}$ . Moreover, the resale return  $RR$  can be raised to  $RR_{new} > RR$ . This relationship is verified by Bienert (2009), confirming that the demand for energy-efficient properties is on the rise because of the expected long-term increase in energy prices. Consequently, increased resale returns can be realized (Bienert 2009).

The necessary investment payout occurs in  $T_0$  and has to be paid completely by the landlord at first. Though, the landlord has the possibility to turn over a certain portion of the investment payout to the tenant (see next section). On account of this, the basic rental charge rises to  $RC_{new} > RC$ .

Thus, Intelligent Houses generate benefits for both tenant and landlord. However, both sides do not necessarily benefit from the investment to the same degree. That is why we want to dissolve the landlord-tenant-dilemma (see *specification 1*) by dividing the investment payout proportionally to the individual value added. In this way, we can make sure that the value generated by the Intelligent House investment (respectively the realised savings) is divided evenly. Furthermore, both landlord and tenant have an incentive to participate in the investment, because they obtain their individual share of value / savings either way. In doing so, we make sure a reasonable IS investment is made and are able to overcome a big IS investment barrier. To proceed, the following assumptions are considered necessary for further analysis:

- A.1: Landlord and tenant pay the necessary investment payout according to the proportion of their marginal willingnesses to pay. The portion of the tenant is divided over all periods of the letting and increases the basic rental charge in the form of a rent increase. At this, possible legal restrictions to the cost being turned over to the tenant shall be neglected.
- A.2: Landlord and tenant calculate with the identical risk-free discount rate  $i$ . For risk we account for in A.4.

Considering the energy prices during the last decades, we observe strong increase. The price for light fuel oil increased from  $\sim 8 \text{ € ct/l}$  in 1970 to  $80 \text{ € ct/l}$  in 2008 (i.e.  $\sim 6.2 \text{ % p.a.}$ ). Furthermore, the world population will continue to rise exponentially in the forthcoming decades (Tucker 2007), and the consumption level of many nations will approach Western standards. Because of the excess demand resulting sooner or later, we can assume exponentially rising energy costs in the future. This forecast is supported by Buhl and Jetter (2009), who state that the price of each non-renewable resource – depending on the specific availability and demand – rises exponentially. We state the following assumption:

A.3: The energy price increases exponentially in the long run.

However, the consideration at hand not only accounts for the increase of the energy price, but for its short term volatility (see *specification 3*). For this purpose, we assume normally distributed energy prices. As mentioned above, the energy costs are composed of the product of the energy prices at time  $t$  with the demand  $d$  and are thus normally distributed, too. The time-dependent, volatile energy costs can then be discounted to an expected present value of the cash flow  $\mu$ , which is also normally distributed. Because of the energy price's volatility, the calculated present value of the IS investment is volatile, too. Here, we interpret the volatility of the present value as the possible positive or negative deviation of the present value from the expected present value of the cash flow. We measure this deviation with the variance  $\sigma^2$  ( $\sigma^2 > 0$ ). Despite two-sided symmetric risk measures have disadvantages over more advanced measures like e.g. Lower Partial Moments, using the variance is reasonable in this case: Given a certain investment amount is invested, higher than the expected energy prices in the long-term may lead to the conclusion that the invested amount of money was too small ex-post, whereas lower than expected energy prices may lead to the conclusion that one should have invested less.  $\sigma_E^2$  shall be the variance of the energy price. To integrate measures for risk ( $\sigma^2$ ) and return ( $\mu$ ), we use a preference function:

A.4: The risk-adjusted value of the IS investment is determined by both parties with Bernoulli's theory of expected-utility (Bernoulli 1954) and the following preference function:  $\Phi(\mu, \sigma) = \mu - \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma^2$ . We assume risk-averse decision makers, i.e. the present value of the IS investment's cash flow is valued less, if its variance is higher (assuming a fixed expected value  $\mu$ ).

The risk adjusted value corresponds to a preference function, which is developed according to established methods of decision theory and integrates an expected value, its deviation, and the

decision maker's risk aversion. This preference function is based upon the utility function  $U(x) = -e^{-2\alpha x}$  and is compatible to the Bernoulli principle (Bernoulli 1954). Its Arrow-Pratt characterization of absolute risk aversion (Arrow 1971) is  $-2\alpha$  with  $\alpha > 0$  modeling a risk-averse decision maker. The presented preference function was introduced by Freund (1956) and applied in many other papers on IS, e.g. by Fridgen and Müller (2009) and Katzmarzik et al. (2008).

### III.3.3.3 Identification of ecologically advantageous and economically profitable investments

Out of all investments remaining after the ecological analysis, we want to identify those IS investments which are also economically profitable. For this, we have to analyse their economical characteristics. For this purpose, we use a quantification with financial measurements in general, as well as with cash flows in particular. To ensure that we do not identify investments which generate only onesided benefits and which will not be made because of the landlord-tenant-dilemma, we take on the perspective of the landlord as well as the tenant. The economic consideration of the tenant is influenced by the rent increase on the one hand and by the achievable energy cost savings during the time of the letting on the other hand. For this, the future energy price is important (see *specification 2*). One possibility to formalise the exponential rise of the energy price  $P(t)$  is:  $P(t) = P_0 \cdot (1+r)^t$ . In this connection,  $P_0$  is the energy price in its initial state in  $T_0$ . The parameter  $r$  is the periodical growth rate of the energy price compared to the previous period. The time dependance of the energy price is implied by the exponent  $t$ . Moreover, we consider the energy price's short-term volatility (see *specification 3*). Resources and commodities are more and more subject to speculative transactions. Investments in commodity indexes increased by a factor of 20 from US \$ 13 billion in 2003 to US \$ 260 billion in 2008 (Masters 2008). As shown by Shiller (1981), increased speculation and trading of commodities and energy sources cause an increase of price volatility (Duffie et al. 1999). Considering this energy price volatility in our valuation, we discover a particular effect: Taking into account the rules of linear transformation of random variables (in our consideration the present value of the energy costs), the reduced energy demand results in reduced volatility of the energy costs (Greene, 2008). Thus, Intelligent Houses operate like an insurance: By paying a premium (rent increase) the insurance holder (tenant) can insure himself against the impact of a possibly occurring damage event (energy price volatility). The tenant's willingness to negotiate such an insurance and the

amount of premium he is willing to pay depends upon his individual risk-attitude: Tenants who negotiate an insurance want to avoid (or lower) risk. They prefer to pay a certain amount of money (here the rent increase) rather than accepting an uncertain, more volatile payout. In this way, we can mentally divide the rental charge  $RC_{new}$  into three parts: The first part is the basic rental charge  $RC$ . The second part is the countervalue for the achievable energy cost savings. The third part is the insurance premium, which is the achievable risk reduction's value. This (over all periods of the letting) accumulated value  $IP$  equates to the difference of the second part of Bernoulli's preference function before and after the investment:

$IP = \frac{\alpha}{2} \cdot (d^2 - d_{new}^2) \cdot \sigma_E^2$ . As mentioned in assumption *A.4*, we assume risk-averse (and consequently insurance affine) decision makers (Bamberg and Spremann 1981). For them, the risk-reducing effect of Intelligent Houses creates a value added and on that account their willingness to pay rises. Given that one would also consider real estate market risk, one could also argue that Intelligent House investments can also insure resale returns. However, as mentioned before, we do not focus on other risks than energy price risk for reasons of simplicity.

Considering an exponentially rising energy price and its volatility, the tenant is willing to pay a maximum amount of money, which he is willing to pay in form of a rent increase. This amount is  $I_{T,max}$ :

$$(1) \quad I_{T,max} = \sum_{t=1}^{T_1} \frac{EC_t - EC_{new}}{(1+i)^t} + IP = (d - d_{new}) \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{\alpha}{2} \cdot (d^2 - d_{new}^2) \cdot \sigma_E^2$$

Energy demand reduction	Energy price at time $t$	Present value of insurance premium
-------------------------------	--------------------------------	--

This willingness to pay is compounded of the present value of the energy cost reduction over all periods of the letting plus the countervalue of the energy costs' volatility reduction subject to the individual risk-aversion. Taking on the perspective of the landlord, we have to consider the property's increased resale return and the necessary investment payout. The outcome of this is the landlord's maximal willingness to pay  $I_{L,max}$ :

$$(2) \quad I_{L,max} = \frac{RR_{new} - RR}{(1+i)^{T_1}}$$

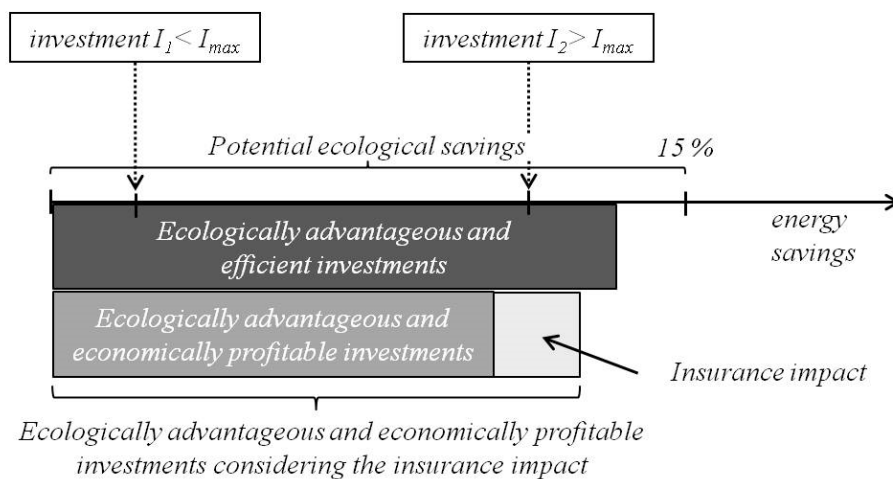
$I_{L,max}$  equals the difference of the new and the old resale return, which is discounted to a present value. By summing up the two willingnesses to pay, we can claim the following

condition (3) for the maximum overall investment amount, which has to be fulfilled by our favoured investment alternatives (as mentioned before, we do not consider other than energy price risk and assume that the property’s resale return does not depend on the energy price and its volatility):

$$\begin{aligned}
 I_{\max} &\leq I_{L,\max} + I_{T,\max} \\
 (3) \quad I_{\max} &\leq \frac{RR_{new} - RR}{(1+i)^{T_1}} + (d - d_{new}) \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{\alpha}{2} \cdot (d^2 - d_{new}^2) \cdot \sigma_E^2
 \end{aligned}$$

By testing each investment to the condition (3), the number of all considered IS investments will be reduced again. If the decision makers disregard the energy costs’ volatility reduction (i.e. the insurance), the amount of ecologically advantageous and economically profitable investments would be lower (i.e. the third addend of condition (3) would cease to apply).

Figure III.3-1 shows the impact of the insurance:



**Fig. III.3–1: Ecological and economical classification of IS investments**

In this example, investment alternative  $I_1$  is classified as ecologically advantageous and economically profitable. On the contrary, investment alternative  $I_2$  will only be valued as economically profitable, if the Intelligent Houses’ ability to reduce risk like an insurance is considered. According to this, more IS investments generate benefits if the energy price is volatile, because IS can then be used to reduce this volatility like an insurance. As one can see, the maximal willingness to pay for an IS investment strongly depends on the duration of the letting. However, not the willingness to pay of one single tenant is decisive for the investment amount, but the sum of the willingnesses to pay of all tenants using the property and benefiting from the investment until  $T_1$ . Thus, the model at hand considers investments to be funded by more than one tenant. In this way, occurring differences in typical durations of

lettings, e.g. between residential and commercial properties, are considered in the model. Yet, it is still indistinct how we can decide between different investments which all fulfill the ecological and economical requirements. For the ultimate decision we need to develop a quantitative optimisation model to identify the optimal investment amount in an economically substantiated way. An optimisation model of this kind shall be introduced and solved in the following chapter.

### III.3.3.4 Determining the economically optimal investment amount

As stated in assumption *A.1*, landlord and tenant share the necessary investment payout according to the proportion of their marginal willingnesses to pay. Hence, landlord and tenant can be considered as a unity and the rental charge can be disregarded. Evaluating all cashflows and risks of the landlord-tenant unity with Bernoulli's preference function we come to the following objective function to be optimised:

(4)

$$\Phi(\mu, \sigma) = \Phi(\mu(I), \sigma(I)) = \Phi(I) = -I + \Delta d(I) \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{\Delta RR(I)}{(1+i)^{T_1}} + \frac{\alpha}{2} \cdot (d^2 - d_{new}^2) \cdot \sigma_E^2$$

The first addend of the objective function is the necessary investment payout, which incurs in  $T_0$  and whose optimal amount has to be determined. The second addend corresponds to the achievable energy cost savings that can be increased in subject to the investment amount. The third addend equates to the additional achievable resale return, which rises in dependence on the investment amount. The last addend corresponds to the volatility reduction of the energy costs weighted with the risk aversion parameter  $\alpha$  and which can also be increased with the investment amount. To solve the optimisation problem at hand, we have to analyse the course of the functions for  $RR(I)$  and  $d(I)$ .

At this point, a special characteristic of IS becomes evident: Investments in IS can – compared to e.g. architectural investments – be sized more precisely within certain ranges. Imagine a decision maker with limited financial resources who wants to spend a certain amount of money on his property's energy efficiency. He only has enough money to either a) thermally insulate half of the roof using architectural measures or b) invest in IS to integrate chips and controllers for BMS (building management systems) in half of the property's area. Needless to say, insulating half of a property's roof would not induce an appreciable contribution to energy efficiency since the property would still lose heat energy through the non-insulated part of the roof, i.e. making only half the investment does not lead to 50 %

savings. The IS measure however can also be integrated partly, e.g. only in certain (separate) parts of the property. This way these parts of the property contribute fully to energy efficiency, so that this investment can actually facilitate 50 % of the achievable savings. The scalability of the IS measure can even be increased by selecting not only certain parts of the building for the integration of chips and controllers, but also selecting certain functional ranges like management of only heating, heating and ventilation or heating, ventilation and air conditioning. The interrelations between the investment amount in IS and its positive effects are hence, at least in certain prevailing ranges, approximately continuous. We account for this IS characteristic and therefore model the interrelations between investment amount and energy demand and resale return in a continuous time model with scalable-at-will IS investment amounts.

As mentioned above, the resale return rises with the investment amount. Due to many properties' value drivers like location, age or condition, one cannot assume that an IS investment can raise the resale return of a property linearly but that the investments' effects decline. Hence, we can conclude that the investment's effect declines. Thus, we want to

assume a strictly monotone increasing ( $\frac{\partial RR}{\partial I} > 0$ ), concave ( $\frac{\partial^2 RR}{\partial^2 I} < 0$ ) course of the

function for  $RR$  (starting from the resale return without any IS investment  $RR_0$ ). This coherence can be formalised exemplarily for  $I \geq 1$  (as assumed in the following) as:

$RR(I) = RR_0 + s \cdot \ln I$ . The parameter  $s$  determines the inclination of the resale return curve.

The higher  $s$  we choose, the more an IS investment raises the building's resale return. Hence, the achievable raise of the resale return with an IS investment is  $\Delta RR(I) = RR_{new} - RR = RR_0 + s \cdot \ln I - RR_0 = s \cdot \ln I$ . The second element of the objective

function describes the development of the property's energy demand  $d(I)$  depending on the investment amount. As mentioned above, the energy demand decreases permanently when the

IS investment amount rises ( $\frac{\partial d}{\partial I} < 0$ ). At this point, we use a linear relation between the

energy demand and the investment amount in the relevant region for reasons of simplicity. One possible function for this is  $d(I) = d_0 - \nu \cdot I$ .  $d_0$  is the property's energy demand in the

initial state, i.e. without any IS investment.  $\nu$  determines the curve's inclination and equates to the marginal energy demand of the property: If the investment amount is raised about one monetary unit, the energy demand of a property drops permanently about exactly  $\nu$  units.

The achievable permanent energy demand reduction is:  $\Delta d(I) = d - d_{new} =$



$d_0 - (d_0 - v \cdot I) = v \cdot I$ . This observation is in line with Christen et al. (2002), who found that the energy-efficiency gain of green building investments has a linear connection with the hence emerging costs. As a consequence, a sufficiently high investment amount would also lead to negative energy demand. This is reasonable since certain IS investments may also enable energy generation of buildings, e.g., using IS in connection with solar modules. Thus, it is also possible that buildings convert from energy consumers to decentralized energy producers, which can also be considered in the model. It is important that these coherences are technology-dependent. It is self-evident that an IS investment for the integration of an intelligent energy management system has a different impact on a property's energy demand and its resale return than an investment of the same amount to integrate an intelligent commissioning system. Furthermore, properties have individual cost functions, which are determined by specific prevailing conditions (Atkinson et al. 2009). We approach this problem by using only generic functions that will cover a general case to illustrate the basic interdependencies. Our model can be tailored arbitrarily to specific IS measures by simply adapting the course of the functions. We hence claim our model to be universally applicable for all kinds of IS measures. To sum up, we can formalise the induced effects of an IS investment in properties to raise energy-efficiency depending on the investment amount as follows:

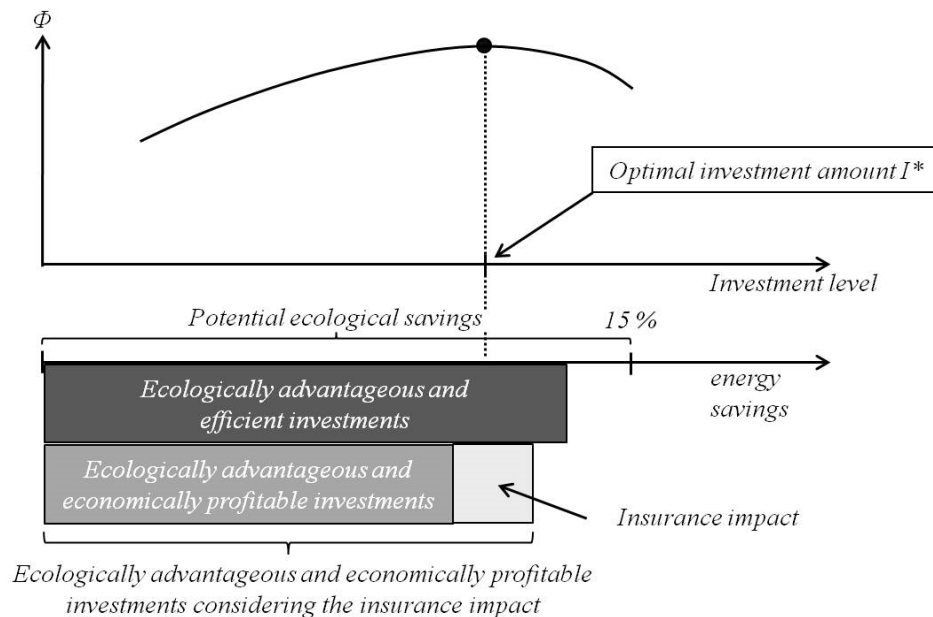
$$(5) \quad \Phi(I) = -I + v \cdot I \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{s \cdot \ln I}{(1+i)^{T_1}} + \frac{\alpha}{2} \cdot (d_0^2 - (d_0 - v \cdot I)^2) \cdot \sigma_E^2$$

Setting the objective function's first derivative to 0 and verifying the second-order condition reveals that the objective function is strictly concave in the domain (e.g.  $I > 1$ ) and reaches its maximum at the investment amount

$$(6) \quad I^* = \frac{-1 + v \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \alpha \cdot v \cdot d_0 \cdot \sigma_E^2 + \sqrt{\left(1 - v \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \alpha \cdot v \cdot d_0 \cdot \sigma_E^2\right)^2 + 4 \cdot \frac{s}{(1+i)^{T_1}} \cdot \alpha \cdot v^2 \cdot \sigma_E^2}}{2 \cdot \alpha \cdot v^2 \cdot \sigma_E^2}$$

Consequently, (if  $I^* \geq 1$ , which we assume) it is reasonable to raise the investment amount up to  $I^*$ . Below this investment amount, an elevation of the investment sum leads to a higher resale return increase, energy cost reduction and reduction of the energy cost's volatility than the necessary payout. In contrast, the positive effects above the investment amount  $I^*$  in fact

exceed the incidental payouts, but disproportionately high capital expenditure is necessary. Figure III.3-2 shows these coherences:



**Fig. III.3-2: Course of the preference function (exemplary)**

By comparing the computed optimal investment amount to the optimal investment amount of a risk-neutral decision maker, we can show that the optimal investment amount considering energy price increase and volatility (see *specifications 2 and 3*) is always higher than assuming a non-volatile energy price. Considering the energy price accurately will not only lead to a higher amount of ecologically advantageous and economically profitable investments, but also to an increase of the actual optimal investment amount. By using the presented model, IS' initially mentioned high potentials to reduce the energy demand and the carbon footprint of properties can be utilised far better. The model's application and benefits shall now be illustrated in the following example.

### III.3.4 Example of use

A building society wants to design a block of offices under construction in an energy-efficient way. The company wants to use the high potentials of IS. For this example we assume the following: The duration of the letting after the completion of the property is 30 years ( $T_l=30$ ). The company receives a one-time resale return for the property after 30 years and calculates (like their tenants) with a discount rate of  $i=3\%$ . The resale return can be raised by an IS investment starting from an amount of 1,000,000 monetary units (MU) in a form that can be described by the following function:  $RR(I) = 1000000 + 10000 \cdot \ln I$ . The property's demand

for domestic fuel oil can be lowered about 0.06 l p.a. with each invested MU starting from a basic demand of 3000 l p.a.. Hence, the following function describes the connection of investment amount and energy demand:  $d(I) = 3000 - 0,06 \cdot I$ . We assume an energy price increase of 7 % p.a with an initial price of  $P_0=0,85$  MU/l. The volatility is assumed to be  $\sigma_E^2=0,006$ . For the parameter of risk-aversion, we assume  $\alpha=1$ . Considering the insurance impact of Intelligent Houses, we recognise that all investment alternatives with an investment amount of at most *74,554.4 MU* fulfill the condition (3) and are thus ecologically advantageous and economically profitable. If the company disregards the insurance impact of Intelligent Houses, only those investments with a necessary payout of at most *49,799.4 MU* are ecologically advantageous and economically profitable. Alternatives with a higher necessary payout are hence ignored by risk-neutral decision makers in the further decision process. We can determine the position of the optimal investment amount through mathematical optimisation. Considering the insurance impact of Intelligent Houses we determine an optimal investment amount of  $I^*=18,748$  MU. If the company disregards the energy price's volatility, the optimal investment amount is only *4,604 MU*. Considering the insurance impact of IS raises the optimal investment amount in this example and energy demand and carbon footprint could be reduced remarkably.

### III.3.5 Summary and outlook

IS innovations can generate a valuable ecological and economical contribution. We showed that, under the given assumptions, Intelligent House investments lower a property's energy costs permanently and raise its resale return at the same time. Moreover, the energy cost's volatility can be reduced and the tenant is thus insured against energy price volatility. This paper shows how these effects can be evaluated correctly by identifying all ecologically advantageous and economically profitable investments. To choose the economically optimal investment alternative, we developed a formal model. We showed that the amount of all ecologically advantageous and economically profitable investments as well as the optimal investment amount can be increased by considering the insurance effect of Intelligent Houses. Nevertheless, several assumptions and resulting conditions of this paper have to be examined critically. First of all, Intelligent Houses have more than the mentioned three specifications which might be of importance too, e.g. the lack of incentives for energy companies to encourage energy-efficiency, the lack of common IS standards to enable interoperability of building management systems or the long time period necessary in the building sector to

adopt new technologies (The Climate Group 2008, p.44). Since we put our focus exclusively on the mentioned three specifications, the consideration of other specifications can be next steps for research. Second, the resolution of the landlord-tenant-dilemma may not be possible in each case in practise due to possibly existing legislative reasons (e.g. German landlords can only pass on 11 % p.a. of the costs of energy efficient refurbishment measures to the tenant). In that case, the identified amount of ecologically advantageous and economically profitable investments is likely to sink. Third, the model at hand considers tenant and landlord as a collaboratively optimising unity. The outcome of individually optimising parties could be subject to further research (e.g. by using game theory). Fourth, we developed a continuous time model, which is only applicable for IS investment due to their high scalability. The model is so limited to the range of high scalable IS investments yet. The model is thus not transferable to other (non-IS) measures and is, just like the modelling of dependencies between IS and non-IS measures and the consideration of more complicated scenarios (e.g. house-to-grid technologies), subject to further research. Anyhow, developing our model and concentrating on IS makes sense for us, since the relevance of other disciplines like architecture or material science for saving energy and reducing the carbon footprint is self-evident, whereas the ability of IS as enabler is yet unknown to many decision makers. Even in the current political debate and in the media, the focus is mostly limited to improved insulation materials or double glazed windows. Furthermore, the collecting and consolidation of data as well as the valuation of investments and the generation of incentive systems are IS key issues. For this reason, the discipline of IS should continue to extend the evaluation of its own methods thus revealing its high potentials.

### III.3.6 References

- Al-Sallal KA (2003) Comparison between polystyrene and fiberglass roof isolation in warm and cold climates. *Renewable energy* 28(4):603-611
- Arrow KJ (1971) *The Theory of Risk Aversion. Essays in the Theory of Risk Bearing*, Markham Publishing, Chicago
- Atkinson JGB, Jackson T, Mullings-Smith E (2009) Market influence on the low carbon energy refurbishment of existing multi-residential buildings. *Energy Policy* 37(7):2582-2593
- Bamberg G, Spremann K (1981) Implications of Constant Risk Aversion. *Mathematical Methods of Operations Research* 25(7):205-224

- 
- Bengtsson B (1998) Tenants' Dilemma – On Collective Action in Housing. *Housing Studies*, 13(1):99-120
- Bernoulli D (1954) Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk. *Econometrica*, 22(1):23-36
- Bienert S (2009) Immobilienbewertung Österreich. 2nd Edition. ÖVI Immobilienakademie, Vienna
- Bolattürk A (2006) Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to various Fuels and Climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering* 26:1301-1309
- Buhl HU, Jetter M (2009) BISE's responsibility for our planet. *Business & Information Systems Engineering* 1(4):273-276
- Buhl HU, Laartz J (2008) Warum Green IT nicht ausreicht. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 1(4):273-276
- Christen K, Jakob M, Jochem E, (2002) Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmaßnahmen in Wohngebäuden.  
[http://www.cepe.ch/research/projects/grenzkosten/Grenzkosten\\_Schlussbericht\\_Teil1.pdf](http://www.cepe.ch/research/projects/grenzkosten/Grenzkosten_Schlussbericht_Teil1.pdf)
- Duffie D, Gray SF, Hoang P (1999) Volatility in Energy Prices. *Managing Energy Price Risk*. 2nd Edition. Risk Publications, London
- Freund R (1956) The Introduction of Risk into a Programming Model. *Econometrica* 24(3):253-263
- Fridgen G, Müller (2009). Risk/Cost Valuation of Fixed Price IT Outsourcing in a Portfolio Context. *Proceedings of the 30th International Conference on Information Systems*, Phoenix
- Gallinelli F (2008) *Mastering Real Estate Investment: Examples, Metrics and Case Studies*. Realdata, Inc., Southport.
- Greene WH (2008) *Econometric Analysis*. 6th Edition. Prentice Hall, New Jersey
- Johnson BE (1994) Modeling energy technology choices: Which investment tools are appropriate? *Energy Policy* 22(10):877-883

- 
- Katzmarzik A, Kundisch D, Zimmermann S (2008). IT Sourcing Portfolio Management for IT Service Providers – A Risk/Cost Perspective. Proceedings of the 29th International Conference on Information Systems, Paris
- Keown AJ, Scott DF, Martin DJ, Petty JQ (2008) Foundations of Finance: The Logic and Practise of Financial Management. Prentice Hall, New Jersey
- Kuckshinrichs W, Kronenberg T, Hanse P (2010). The social return on investment in the energy efficiency of buildings in Germany. Energy Policy 38(8):4317-4329
- Lützkendorf T, Mrics D (2008) Next Generation Decision Support Instruments for the Property Industry – Understanding the Financial Implications of Sustainable Building. In World Sustainable Building Conference, Melbourne
- Masters MW (2008) Testimony before the Committee on Homeland Security and Governmental Affairs United States Senate.  
[http://hsgac.senate.gov/public/\\_files/052008Masters.pdf](http://hsgac.senate.gov/public/_files/052008Masters.pdf)
- Murray N, Fernando T, Aouad G (2003) A virtual environment for the design and simulated construction of prefabricated buildings. In Virtual Reality 6(4):244-256
- Power A (2008) Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? Energy Policy 36(12):4487-4501
- Rottke NB (2009) Ökonomie vs. Ökologie – Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft. Immobilien Manager, Cologne
- Schwartz ES (1997) The stochastic behaviour of commodity prices: implications for valuation and hedging. Journal of Finance 52(3):923-973
- Shiller RJ (1981) Do Stock Prices Move Too Much to be Justified by Subsequent Changes in Dividends? American Economic Review 71(3):421-436
- The Climate Group (2008) Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. [http://www.smart2020.org/\\_assets/files/02\\_Smart2020Report.pdf](http://www.smart2020.org/_assets/files/02_Smart2020Report.pdf)
- Thompson PB (1997) Evaluating energy efficiency investments: accounting for risk in the discounting process. Energy Policy 25(12):989-996
- Tucker P (2007). World Population Forecast Rises. Futurist 41(5):1-12

World Wide Fund For Nature (2010) Living Planet Report.  
<http://assets.panda.org/downloads/lpr2010.pdf>

#### III.4 Beitrag 5: „Evaluating energy efficiency investments: Combining ecology and economy by considering risk“

Autoren:	Hans Ulrich Buhl, Philipp Mette Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg hans-ulrich.buhl@wiwi.uni-augsburg.de philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de  Tobias Gaugler Institut für Materials Resource Management, Professur für Wirtschaftsinformatik, insb. Finanz- & Informationsmanagement Universität Augsburg, D-86135 Augsburg tobias.gaugler@mrm.uni-augsburg.de
----------	--

#### **Zusammenfassung:**

*Increased energy efficiency can be achieved through technical innovations. Real estate is an industry sector with high potential in this area. However, many of the existing green building investment opportunities (GBIO) are not utilized because they do not seem to generate economic profits. For this reason, we develop a formal investment valuation model to determine the optimal investment amount from an economic perspective, placing particular emphasis on the valuation of risk, and point out the applicability of GBIO as insurance against energy price volatility. Thus, the optimal investment amount can be raised. Moreover, we determine the optimal investment amount for property portfolios. In all likelihood, a consideration of energy price dependencies will lead to another rise in the optimal investment amount. Our findings can be used for the enhancement of existing valuation methods and tools and constitute a quantitative basis for the adaption of laws to counteract the current underinvestment.*



### III.4.1 Introduction

The real estate sector is responsible for approximately 40% of global energy use (Pinkse and Dommissie 2009) and 40% of all carbon emissions (Apgar 2009). The worldwide energy consumption of properties is expected to grow by 45 % from 2002 to 2025, and a 92% increase in global carbon emissions has been forecasted for the same period of time (Hyder 2006). In order to counteract these forecasts and lower the dependency on energy prices, various technical opportunities to raise energy efficiency have been and are being developed. A study by the McKinsey Global Institute (McKinsey Global Institute 2007) revealed that the largest potential for reducing energy demand and CO<sub>2</sub> emissions lies in the real estate sector. Existing technologies could be integrated into so-called “green buildings”, thereby increasing energy efficiency by 35% and reducing heating costs by 80% (World Business Council for Sustainable Development 2007). The calculated potential for reducing energy demand and corresponding CO<sub>2</sub> emissions in buildings is equal to 41 Mt (mega tons) of CO<sub>2</sub> globally (Erdmenger and Lehmann 2009). Although the ecological advantages of green buildings are evident, the investment rate in higher energy efficiency is currently only 1–1.5 % in non-residential buildings and only 0.07% in residential buildings (Rottke 2009). Then, which factors are stalling the ecological contribution of the real estate sector at this point? In an economic valuation, the consideration of different characteristics of green buildings is required, as they influence the result of investment valuations and are the focus of our consideration in this paper:

- Characteristic 1: Achievable energy cost savings depend on a property’s energy demand (that can be reduced by green building investment opportunities [GBIO]) on one hand, and on the prevailing price for energy on the other hand. Thus, the benefits of GBIO depend on future energy prices (Atkinson et al. 2009).
- Characteristic 2: GBIO reduce energy costs and, at the same time, volatility, which originates from the volatile energy prices (e.g., the standard deviation of oil has been calculated as 0.33 (Schwartz 1997)). As we will point out, GBIO reduce risk and operate like insurance. Thus, the profitability of GBIO depends on the volatility of energy prices (Thompson 1997) and the insurance effect.
- Characteristic 3: If a portfolio of properties is considered, the advantageousness of GBIO also depends on energy price dependencies, which affect the overall portfolio risk.

Although more special characteristics of GBIO might take effect as investment drivers (e.g., social aspects) or barriers (e.g., asymmetric information, transaction costs), the focus of this paper is on these three characteristics only (other aspects mentioned are covered, e.g., by Howarth and Sanstad 2007, Gillingham et al. 2009, Schleich 2009).

Established economic valuation methods capture the presented characteristics only qualitatively (Nalewaik and Venters 2008) and/or are only applicable for a particular technology like case studies (Miller et al., 2008). A universally applicable quantitative valuation method that satisfactorily considers energy prices, risk-reducing insurance effect, and portfolio risk effects is not available. Thus, many ecologically advantageous and economical profitable investments are being overlooked. Vyas and Cannon (2008) state, “the current information stream has become polluted with advocacy and lobbying rather than useful metrics.” In this vein, the “major challenge to make home buyers aware of the advantages of clean technologies and to inform them about the exact consequences of adoption” is difficult to master (Pinkse and Dommissie 2009). In order to counteract this challenge, this paper will answer the following research question: How can GBIO in properties and property portfolios be correctly evaluated and how does this affect the valuation of the ecological contribution of the real estate sector?

#### **III.4.2 Research Methodology and Focus**

According to Meredith et al. (1989), who consider research in the field of operations management, research activities should fit into a research cycle entailing three stages. The first stage consists of the description of new or not yet observed circumstances, respectively or describes certain aspects of existing research in more detail. For this reason, we first discuss related work on green buildings and methodologies for GBIO valuations in section 3. Based on the first stage, the second stage consists of the explanation of the context in terms of reactions and relationships, as well as of the derivation of a normative approach. Therefore, we develop a formal deductive valuation model with regard to the three aforementioned characteristics of GBIO and determine the optimal economic investment amount under certainty in subsection 4.2. In order to explore this connection, we consider a generalizable setting with one building subject to energy-efficient retrofitting. The building is owned by one (private or industrial) landlord and being rented to one tenant. The landlord and tenant decide on the investment amount together. Since this paper focuses only on investment valuation, we do not consider dividing the investment sum into landlord and tenant (for this purpose, see,

e.g., Schleich and Gruber 2008) nor the resolution of the landlord-tenant dilemma. However, we do consider risk and determine the optimal investment amount for the landlord and the tenant under uncertainty. In this manner, we illustrate the impact of the insurance effect. In subsection 4.4, we show how the determination of the optimal investment amount is made when the landlord has more than one property available and has a real estate portfolio with several tenants. The third stage of the research cycle consists of the testing of the described setting. We use an example to illustrate the model's practical applicability in section 5. Thus, this paper provides a basis for researchers to challenge the described limitations as well as to validate the proposed effects by empiricism. We conclude with a summary of all results and their implications as well as directions for future study in section 6.

### **III.4.3 Literature Review**

GBIO can lower a property's energy consumptions in multiple ways: double glazed windows, roof renovation, advanced thermal insulation, building envelope renewal, using energy-efficient heating, ventilating and air conditioning (HVAC) and lighting equipment, etc. Downsizing mechanical and electrical equipment (e.g., through the use of daylight or natural ventilation), installing new heating technologies, and using modern insulating materials reduce a property's energy consumption considerably (Nalewaik and Venters 2008). Different materials like polystyrene, fiberglass, or rock wool can be used for both wall and roof insulation (Mohsen and Akash 2001). Even during the design and construction phases, GBIO can contribute to a property's energy efficiency through the use of virtual construction methods. These information technology-based methods are computer-modeling techniques that support the construction process of a building from its initial modular design to its on-site construction and maintenance. In this manner, costs, times, and energy consumption can be lowered even during the earliest stage of a building's lifecycle (Murray et al. 2003).

To reach an economic valuation, research papers value investments that increase energy efficiency by measuring the emerging benefits on the basis of non-monetary utility values for environmental, social, or economic benefits, for example, Power (2008). These methods account for many different important factors and do not concentrate only on economic aspects. However, these methods are not quantitative and do not consider the importance of future energy prices (characteristic 1) and their volatility (characteristic 2).

Furthermore, decision makers use so-called discounted-cash-flow methods, which discount the investment's expected future cash flows using a discount rate to reach a present value

(Gallinelli 2008). In this manner, the time-value of money is considered. However, these discounted-cash-flow methods do not measure or quantify an investment's risks, like the volatility of future energy prices and the insurance effect of GBIO (characteristic 2).

Researchers from other disciplines, such as architecture and material science, have examined this subject: Bolattürk (2006) examined the optimum isolation thickness for building walls in the *Journal of Applied Thermal Engineering*, and Al-Sallal (2003) compared polystyrene and fiberglass roof isolation in warm and cold climates in the *Journal of Renewable Energy*. These approaches consider future energy prices and are also quantitative. However, they do not consider risk (characteristic 2) and are only applicable for particular technologies. Atkinson et al. (2009) found that “the majority of existing research focuses on either the technical attributes of different low carbon solutions on small or large scales, or the macro-economical effects of carbon-reducing energy strategies.”

Bolinger et al. (2002) investigated the value that wind power provides a hedge against volatile gas prices. In their approach, the authors quantitatively evaluated an insurance effect against energy price volatility. However, their method is not applicable to the real estate sector and cannot be used as an investment valuation method.

Thus, current valuation methods are not fully appropriate to value GBIO subject to the characteristics named above, nor to adequately determine the actual value of a sustainable building (Rottke 2009). Lützkendorf and Mrics (2008) criticize the general lack of methodologies to connect the ecological component of an investment with its economic value.

#### **III.4.4 Planning of Green Building Investment Opportunities**

The potential of green buildings to lower global carbon emissions and energy consumption was estimated to be 35% in 2007 (World Business Council for Sustainable Development 2007). In order to achieve this amount, all possible GBIO have to be implemented. This might be advantageous from an ecological perspective, but not necessarily from an economic perspective. For a meaningful combination of ecological and economic perspectives, we develop a quantitative optimization model to identify the economical optimal investment amount. Investing this amount of money will lead to economical optimal and at least ecologically advantageous results.

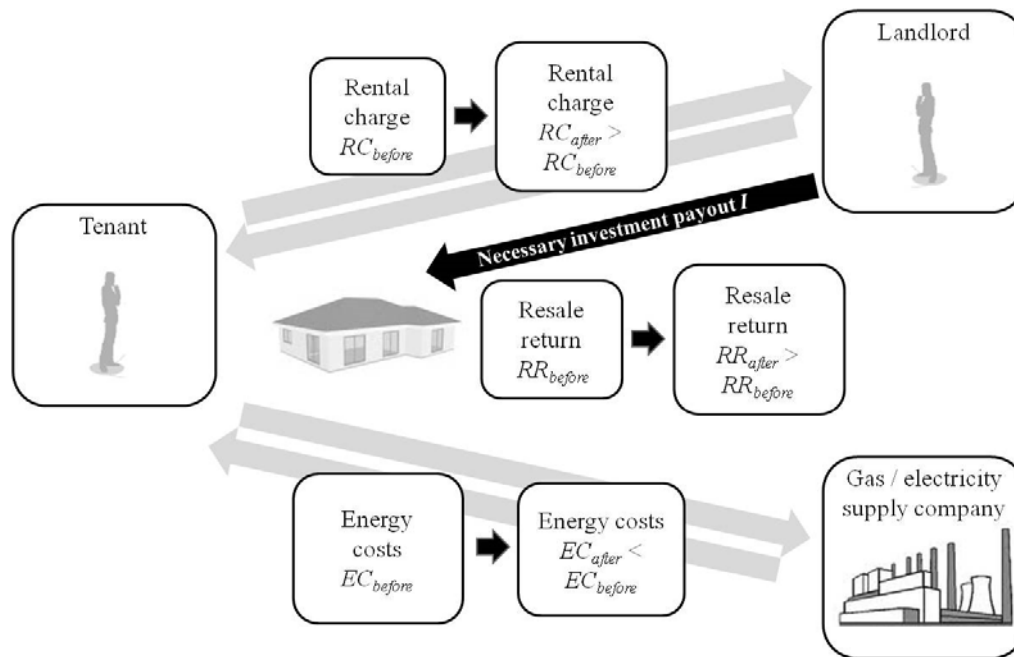
#### III.4.4.1 Assumptions and definitions

The setting of the model we propose is the simplest case of a rental agreement with one landlord renting his property to one tenant. This case can be generalized without difficulties to multiple tenants and multiple properties, as will become evident. However, the considered setting is also relevant for a landlord that does not rent his property but uses it himself.

A property is rented and used by a tenant from time  $T_0$  until  $T_1$ . The tenant pays a constant periodic basic rental charge (excluding energy costs) at the specific amount  $RC$  to the landlord. Furthermore, the tenant has to pay energy costs  $EC$  to a gas/electricity supply company, which is necessary for the property's operation. These energy costs are the product of the property's energy demand  $d$  and the effective energy price  $P(t)$  at any given time. Additional expenses like, for example, expenses for water supply are irrelevant for this analysis and are not considered.

The landlord receives the periodic basic rental charge  $RC$  from the tenant. At the end of the letting in  $T_1$ , the landlord sells the building and receives the resale return  $RR$ . The amount of  $RR$  can be considered the net present value of all future achievable rental charges (the value of the land shall be disregarded at this point). Hence, it is irrelevant for our consideration whether the property is actually sold. In the following account, we assume the resale of the property in  $T_1$  for the sake of simplicity. The property's energy demand can be reduced with the help of a green building investment, which is determined by the amount of its necessary investment payout  $I$ , with  $I \in [1; \infty[$ . However, many energy-saving measures of green buildings require energy themselves. The net present value of these costs, as well as further costs (e.g., for possible breakdown) is integrated in  $I$ . The property's energy costs can be lowered permanently through GBIO to a level of  $EC_{after} < EC_{before}$  by reducing the energy demand from  $d_{before}$  to  $d_{after}$ . Moreover, the resale return  $RR$  can be raised to  $RR_{after} > RR_{before}$ . This relationship is verified by Bienert (2009), confirming that the demand for energy-efficient properties is on the rise because of the expected long-term increase in energy prices. Consequently, increased resale returns can be realized (Bienert 2009). For our model, we assume a diminishing marginal resale return.

The necessary investment payout occurs in  $T_0$  and has to be paid completely by the landlord initially, although the landlord has the possibility of turning over a certain portion of the investment payout to the tenant (see next section). On account of this, the basic rental charge rises to  $RC_{after} > RC_{before}$ .



**Fig. III.4–1: Impact of GBIO on the considered cash flows**

Thus, GBIO generate economic benefits for both tenant (energy cost reduction) and landlord (resale return increase). However, these benefits are not necessarily equally high. Often, energy-efficiency investments are not made because of the so-called landlord-tenant dilemma (The Climate Group 2008), that is, the landlord decides on the investment amount, but only the tenant benefits from the resulting energy cost savings. In contrast, tenants do not have the right to claim GBIO from the landlord. Since this paper focuses on the valuation of GBIO as a whole and on the valuation of risk, we consider the landlord and tenant as one and do not analyze the division of the investment amount. At this point, game theory can provide some important directions for research, for example, as done by Bengtsson (1998). To proceed, the following assumptions are considered necessary for further analysis:

*A.1:* Landlord and tenant decide on the investment amount together and evaluate GBIO according to their willingnesses to pay.

*A.2:* Landlord and tenant calculate with the identical risk-free discount rate  $i$ .

In order to analyze GBIO from an economic perspective, we use quantification with financial measurements in general and with cash flows in particular. For this, the future energy price is important (characteristic 1). Energy prices have increased sharply during the last few decades. The price for light fuel oil increased from  $\sim 8\text{€ ct/l}$  in 1970 to  $80\text{€ ct/l}$  in 2008 (i.e.,  $\sim 6.2\%$  p.a.). Furthermore, the world population will continue to rise exponentially in the forthcoming decades (Tucker 2007), and the consumption level of many nations will approach Western

standards. Hence, we can forecast a rising energy demand. Thus, we can assume rising energy costs in the future. Buhl and Jetter (2009) state that the price of each non-renewable resource, – depending on the specific availability and demand, increases exponentially. Consequently, we state the following assumption:

A.3: The energy price increases exponentially in the long run.

#### III.4.4.2 Determining the optimal investment amount under certainty

One possibility to formalize the exponential rise of the considered energy price  $P(t)$  is  $P(t) = P_0 \cdot (1+r)^t$ . Here,  $P_0$  is the energy price in its initial state in  $T_0$ . The parameter  $r$  is the periodical growth rate of the energy price compared to the previous period. The time dependence of the energy price is implied by the exponent  $t$ .

We obtain the objective function through pretest-posttest study, that is, by comparing all cash flows of the landlord-tenant unit after GBIO,  $CF_{after}$ , to all cash flows before any investment,  $CF_{before}$ , and maximizing the (positive) difference between the two. This maximal difference is obtained through mathematical optimization of the following objective function:

$$\begin{aligned} \Delta CF(I) &= CF_{after}(I) - CF_{before} = \\ &= -I + \sum_{t=1}^{T_1} \Delta EC(I) + \frac{\Delta RR(I)}{(1+i)^{T_1}} = \\ &= -I + \Delta d(I) \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{\Delta RR(I)}{(1+i)^{T_1}} \end{aligned} \quad (1)$$

The first term of the objective function is the necessary investment payout, which is incurred in  $T_0$ , and the optimal amount of which has to be determined. The second term corresponds to the achievable energy cost savings that can be increased subject to the investment amount. The third term is the additional achievable resale return, which rises depending on the investment amount. In order to solve the optimization problem at hand, we have to analyze the course of the functions for  $RR_{after}(I)$  and  $d_{after}(I)$ .

As mentioned above, the resale return rises with the investment amount. Due to value drivers of properties, such as location, age, or condition, one cannot assume that GBIO can raise the resale return of a property linearly but that the investments' effects decline. Thus, we want to

assume a strictly monotone increasing ( $\frac{dRR_{after}}{dI} > 0$ ), concave ( $\frac{d^2 RR_{after}}{d^2 I} < 0$ ) course of the function for  $RR_{after}$  (starting from the resale return without any GBIO  $RR_{before}$ ). This can be

formalized exemplarily for  $I \geq I$  as  $RR_{after}(I) = RR_{before} + s \cdot \ln I$ . The parameter  $s$  determines the inclination of the resale return curve. The higher  $s$  we choose, the more GBIO increase the building's resale return. Hence, the achievable increase of the resale return with GBIO is  $\Delta RR(I) = RR_{after} - RR_{before} = (RR_{before} + s \cdot \ln I) - RR_{before} = s \cdot \ln I$ .

The second element of the objective function describes the development of the property's energy demand  $d_{after}(I)$  depending on the investment amount. As mentioned above, the energy demand decreases permanently when the investment amount rises ( $\frac{dd_{after}}{dI} < 0$ ). At this point, we use a linear relation between energy demand and investment amount in the relevant region for reasons of simplicity. One possible function for this is  $d_{after}(I) = d_{before} - v \cdot I$ .  $d_{before}$  is the property's energy demand in the initial state, that is, before any investment.  $v$  determines the curve's inclination and equates to the marginal energy demand of the property: If the investment amount is raised by one monetary unit, the energy demand of the property falls permanently by approximately  $v$  units. This observation is in line with Christen et al. (2002), who found that the energy-efficiency gain of GBIO has a linear connection with the hence emerging costs. As a consequence, a sufficiently high investment amount would also lead to negative energy demand. This is reasonable since certain GBIO may also enable energy generation of buildings, e.g., through solar modules. Thus, it is also possible that buildings convert from energy consumers to decentralized energy producers, which can also be considered in the model.

It is important that these relationships are technology-dependent. It is self-evident that an investment for the integration of a modern roof insulation material has a different impact on a property's energy demand and its resale return than an investment of the same amount to integrate an information system-based heating and air-conditioning management system. Furthermore, properties have individual cost functions, which are determined by specific prevailing conditions (Atkinson et al. 2009). We approach this problem by using only generic functions that encompass a general case to illustrate basic interdependencies. Our model can be tailored arbitrarily to specific GBIO by simply adapting the course of the functions. Hence, we claim our model to be universally applicable to all kinds of GBIO. To sum up, we can formalize the induced effects of GBIO in properties to raise energy efficiency in the following manner:



$$\Delta CF(I) = -I + v \cdot I \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{s \cdot \ln I}{(1+i)^{T_1}}. \quad (2)$$

Setting the objective function's first derivative to 0 and verifying the second-order condition reveals that the objective function is strictly concave in the domain and reaches its maximum at the investment amount

$$I_{RiskNeutral}^* = \frac{s}{(1+i)^{T_1}} + v \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t}. \quad (3)$$

Consequently, it is reasonable to raise the investment amount up to  $I_{RiskNeutral}^*$ . Below this investment amount, an elevation of the investment sum leads to a higher resale return increase and energy cost reduction than the necessary payout. In contrast, the positive effects above the investment amount  $I_{RiskNeutral}^*$ , in fact, exceed the incidental payouts, but disproportionately high capital expenditure is necessary. These relationships are depicted in Figure III.4-2 (like before, we assume the potential of green buildings to lower carbon emissions and energy consumption to be 35% [World Business Council for Sustainable Development 2007]).

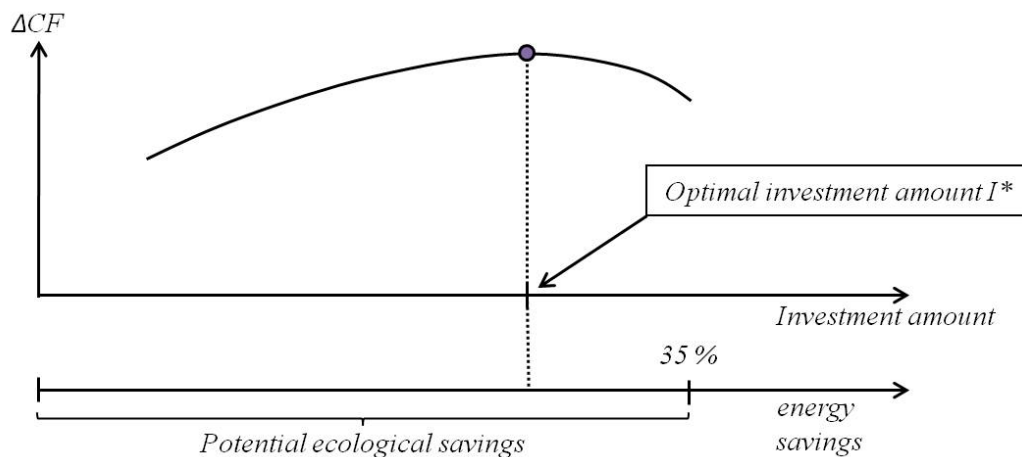


Fig. III.4-2: Course of the objective function (exemplary)

#### III.4.4.3 Determining the optimal investment amount under uncertainty

Due to different risk types like market or energy price risk, values for resale return and energy cost reduction are not deterministic. Thus, it is necessary to develop an investment valuation instrument considering risk. In this article, we want to focus on energy price risk only since considering more than one risk would increase the paper's complexity considerably but not provide sufficient additional insight. In order to account for energy price volatility, the following assumptions and definitions are necessary.

### III.4.4.3.1. Assumptions and definitions

Resources and commodities are ever more subject to speculative transactions. Investment in commodity indexes increased by a factor of 20 from US \$13 billion in 2003 to US \$260 billion in 2008 (Masters 2008). As shown by Shiller (1981), increased speculation and trading of commodities and energy sources cause an increase in price volatility (Duffie et al. 1999). For this consideration, we assume normally distributed energy prices. As mentioned above, the energy cost savings are composed of the product of the energy prices at time  $t$  with the demand reduction  $\Delta d$  and are thus normally distributed, too. Then, the time-dependent, volatile energy savings can be discounted to an expected present value of the savings, which is also normally distributed. Because of the volatility of energy prices, the calculated present value of the energy cost savings is volatile, too. Here, we interpret the volatility of the present value as the possible positive or negative deviation of the present value from the expected present value of the savings. We measure this deviation with the variance  $\sigma^2$  ( $\sigma^2 > 0$ ). Despite two-sided symmetric risk measures have disadvantages over more advanced measures like e.g. Lower Partial Moments, using the variance is reasonable in this case: Given a certain investment amount is invested, higher than the expected energy prices in the long-term may lead to the conclusion that the invested amount of money was too small ex-post, whereas lower than expected energy prices may lead to the conclusion that one should have invested less.  $\sigma_E^2$  is the variance of the energy price. In order to integrate measures for risk ( $\sigma^2$ ) and return ( $\mu$ ), we use a preference function:

*A.4:* The risk-adjusted value of the investment is determined by landlord and tenant with Bernoulli's theory of expected utility (Bernoulli 1954) and the following preference function:

$$\Phi(\mu, \sigma) = \mu - \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma^2 \quad (4)$$

We assume risk-averse decision makers, that is, the present value of the investment's cash flow is valued lower if its variance is higher (assuming a fixed expected value  $\mu$ ).

For reasons of simplicity, we do not consider for dependencies between property value, resale return and energy price volatility and state assumption 5:

*A.5:* A property's resale return does not depend on the energy price nor its volatility.

The risk-adjusted value corresponds to a preference function, which is developed according to established methods of decision theory and integrates an expected value, its deviation, and the decision maker's risk aversion. This preference function is based on the utility function  $U(x) = -e^{2\alpha x}$  and is compatible to the Bernoulli principle (Bernoulli 1954). The Arrow-Pratt characterization of absolute risk aversion (Arrow, 1971) is  $-2\alpha$  with  $\alpha > 0$ , modeling a risk-averse decision maker. The presented preference function was introduced by Freund (1956) and applied in many other papers, for example, by Fridgen and Müller (2009) and Hanink (1985).

Considering energy price volatility in our valuation, we discover a particular effect: Taking into account the rules of linear transformation of random variables (in our consideration, the present value of the energy savings), the reduced energy demand results in reduced volatility of the energy costs (Greene 2008). Thus, green buildings operate like insurance: By paying a premium (rent increase), the insurance holder (tenant) can insure himself against the impact of a possible damage event (energy price volatility). The tenant's willingness to negotiate such insurance and the amount of premium he is willing to pay depends on his individual risk attitude: Tenants who negotiate insurance want to avoid (or lower) risk. They prefer to pay a certain amount of money (here, the rent increase) rather than accept an uncertain, more volatile payout. In this manner, we can mentally divide the rental charge  $RC_{after}$  into three parts: The first part is the basic rental charge  $RC_{before}$ . The second part is the counter value for the achievable energy cost savings. The third part is the insurance premium, which is the value of the achievable risk reduction (Buhl et al. 2011). This (over all periods of the letting) accumulated value equates to the difference of the second part of Bernoulli's preference function before and after the investment. As mentioned in A.4, we assume risk-averse (and consequently insurance-affine) decision makers (Bamberg and Spremann 1981). For them, the risk-reducing effect of green buildings creates added value. Given that one would also consider real estate market risk, one could also argue that GBIO can also insure resale returns. However, as mentioned before, we do not focus on other risks than energy price risk for reasons of simplicity.

#### **III.4.4.3.2. Optimization model and results**

Valuating all cash flows and risks of the landlord-tenant unit before and after GBIO with Bernoulli's preference function, we obtain the following new objective function to be optimized:

$$\begin{aligned}
\Delta\Phi(\mu, \sigma) &= \Phi_{after}(I) - \Phi_{before} = \Phi(\mu_{after}(I), \sigma_{after}(I)) - \Phi(\mu_{before}, \sigma_{before}) = \\
&= \mu_{after} - \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma_{after}^2 - (\mu_{before} - \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma_{before}^2) = \Delta\Phi(I) = \\
&= -I + \Delta d(I) \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{\Delta RR(I)}{(1+i)^{T_1}} + \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta\sigma^2(I)
\end{aligned} \tag{5}$$

The first three terms are similar to Eq. 2 in our consideration under certainty. The last term corresponds to the volatility reduction of the energy costs weighted with the risk-aversion parameter  $\alpha$  and that can be increased with the investment amount.

To sum up, we can formalize the induced effects of GBIO in properties under consideration of risk in the following manner:

$$\Delta\Phi(I) = -I + v \cdot I \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \frac{s \cdot \ln I}{(1+i)^{T_1}} + \frac{\alpha}{2} \cdot (d_0^2 - (d_0 - v \cdot I)^2) \cdot \sigma_E^2 \tag{6}$$

The objective function is strictly concave in the domain again and reaches its maximum at the investment amount

$$I^* = \frac{-1 + v \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \alpha \cdot v \cdot d_0 \cdot \sigma_E^2 + \sqrt{\left(1 - v \cdot \sum_{t=1}^{T_1} \frac{P_0 \cdot (1+r)^t}{(1+i)^t} + \alpha \cdot v \cdot d_0 \cdot \sigma_E^2\right)^2 + 4 \cdot \frac{s}{(1+i)^{T_1}} \cdot \alpha \cdot v^2 \cdot \sigma_E^2}}{2 \cdot \alpha \cdot v^2 \cdot \sigma_E^2} \tag{7}$$

By comparing the computed optimal investment amount considering the insurance effect to the optimal investment amount of a risk-neutral decision maker, we can see that the optimal investment amount considering energy price volatility is always higher than assuming a non-volatile energy price. Considering the energy price and the insurance effect accurately will consequently lead to an increase of the actual optimal investment amount. Consequently, valuating GBIO correctly will lead to economic decisions that will generate more benefits from an ecological perspective.

#### III.4.4.4 Planning for GBIO in Property Portfolios

Currently, it is becoming more common for private and commercial landlords to have more than one property (e.g., place of residence, production sites, offices, floor spaces, salesrooms, etc.). In this section, we transfer our presented analysis to an approach with multiple properties and analyze how the insurance effect takes effect in building portfolios

#### III.4.4.4.1. Assumptions and definitions

Now assume a landlord with  $n \geq 2$  properties  $i$  and multiple tenants. The landlord and his tenants together decide on the investment amount to be spent on GBIO. For this, they need to determine the overall optimal investment amount  $I_{overall}^*$  for the entire property portfolio as well as the optimal allocation of this investment amount to each property. If we consider the properties to be supplied by different energy sources (e.g., gas, oil, etc.) and compare their prices, we discover a special characteristic: There are similarities in the prices, for example, for domestic fuel oil and domestic gas in the past. Many drivers for energy prices, such as global demand or inflation, are present across all energy sources. As theoretical and empirical research affirms (Da Silva 2007), energy prices are not independent of each other, but are correlated, that is, they are systematically associated with each other (Eydeland and Wolyniec 2003). In order to accurately determine the optimal investment amount for a property portfolio, we have to account for the impact of energy price dependencies on the overall risk and the manner in which it is affected by GBIO. If energy price dependencies were disregarded, the computed optimal investment amounts would not account for possible diversification effects and would consequently be false. For this reason, we want to adapt our model and add the following assumption:

*A.5:* All  $n$  properties are supplied by energy sources whose prices depend on each other. The measurement for the energy price dependencies is the correlation coefficient  $k_{ij}$ . We consider this correlation coefficient to be given. All other possible dependencies among the properties are disregarded.

As mentioned above, energy price dependencies affect the overall volatility of a property portfolio. According to Keown et al. (2008), the overall variance of a portfolio is determined by summing up the stand-alone risks of each property  $\sigma_i$  and considering the dependencies between the energy prices with the help of the correlation coefficient. Hence, the overall energy costs' variance of a property portfolio (without any GBIO) is

$$\sigma_{overall}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_i \sigma_j k_{ij}. \quad (8)$$

If we consider the properties being supplied by energy sources whose prices do not show perfect positive correlation (i.e.,  $k_{ij} \in [-1; +1[$ ), we can see that the overall property portfolio's variance is smaller than its variance with perfect positive correlation ( $k_{ij} = +1$ ). This risk-

reducing effect is called the diversification effect and can be interpreted in the following manner: If the considered properties are supplied by the same energy source,  $k_{ij}$  equals +1 since an energy price is always fully positively correlated with itself. If this energy price increases, the overall payouts for energy will then increase in equal proportion since energy costs only depend on one stochastic factor. However, if the landlord and tenants decide on properties supplied by different energy sources,  $k_{ij}$  is likely to take on a value of  $k_{ij} = [-1; +1[$ , that is, the energy prices will not show perfect positive correlation with each other. If one of the energy prices increases, the payouts for energy will then increase in a smaller proportion since the risk of a possible price increase is diversified on multiple stochastic factors. Consequently, the resulting overall portfolio risk is lower than the aggregate stand-alone risks of the properties.

Since the stand-alone risks of each property of a portfolio codetermine the value of the portfolio's diversification effect, GBIO also indirectly affect the value of the diversification effect. As a well-grounded investment valuation has to account for all investment-caused consequences on financial figures, we need to consider the investment's effect on the value of the diversification effect in our valuation, too.

#### III.4.4.4.2. Optimization model and results

The following is the objective function for multiple properties accounting for all aforementioned GBIO-caused effects:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{overall}(\mu, \sigma) &= \Phi_{overall,after}(I_i) - \Phi_{overall,before} = \\ &= \Phi(\mu_{overall,after}(I_i), \sigma_{overall,after}(I_i)) - \Phi(\mu_{overall,before}, \sigma_{overall,before}) = \Delta\Phi_{overall}(I_i) = \quad (9) \\ &= -\sum_{i=1}^n I_i + \sum_{i=1}^n \left( \Delta d_i(I_i) \cdot \sum_{t=1}^{T_{i,i}} \frac{P_{0,i} \cdot (1+r_i)^t}{(1+i)^t} + \frac{\Delta RR_i(I_i)}{(1+i)^{T_{i,i}}} \right) + \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_i^2(I_i) \sigma_j^2(I_j) k_{ij} \right) \end{aligned}$$

This function consists of the following terms: The negative sum of the investment amounts in each property (first term) and the sum of the achievable energy cost savings and resale return increases for each property (second term). Additionally, the third term considers the individual risk reductions for each property as well as the investments' effect on the value of the diversification effect.

In order to obtain the overall optimal investment amount as well as the individual optimal investment amounts for each property, this objective function has to be optimized. At its maximum, the following necessary (but not sufficient) condition is fulfilled:

$$\frac{d\Delta\Phi_{overall}(I_i)}{dI_i} = 0. \quad (10)$$

For the verification of the second-order condition, we test the Hessian matrix to be negatively definite in the domain. Since the multiple unknown decision variables cannot always be separated, an explicit solution for the objective function cannot always be determined. However, a numerical solution of the optimization model at hand with a limited number of properties can be computed in most cases.

The authors made several model calculations and compared the calculation results of the presented model to results of calculations disregarding the impact of diversification. In this manner, we ascertained that the overall optimal investment amount of a portfolio under consideration for the diversification effect can be higher or lower than the optimal investment amount disregarding price dependencies. If the diversification effect is raised by GBIO, another potential of green buildings becomes visible: In certain cases, GBIO positively affect the value of the diversification effect and are consequently able to reduce the overall risk in a property portfolio in two ways: reducing the stand-alone risks of each property due to energy demand reduction and reducing the portfolio risk due to a positively affected diversification effect. Consequently, a correctly conducted economic valuation will lead again to an increased overall optimal investment amount and to a higher ecological contribution to energy efficiency. Despite not computing higher overall optimal investment amounts in all cases, it is evident that the high economic and ecological potential of GBIO only becomes visible if risk is considered correctly.

#### III.4.5 Example of use

A building society wants to design a block of offices in an energy-efficient manner. Therefore, the company wants to exploit the high potential of GBIO. For this example, we assume the following: The duration of the letting is 30 years ( $T_l = 30$ ). The company receives a one-time resale return for the property after 30 years and calculates (like their tenants) with a discount rate of  $i = 3\%$ . The resale return can be raised by an energy-efficiency investment, beginning from an amount of 1,000,000 monetary units (MU) in a form that can be described by the following function:  $RR_{after}(I) = 1000000 + 10000 \cdot \ln I$ . The property's demand for domestic fuel oil can be lowered by approximately 0.06 l p.a. with each invested MU starting from a basic demand of 3000 l p.a. Hence, we the following function depicts the relationship

between energy demand and investment amount:  $d_{after}(I) = 3000 - 0,06 \cdot I$ . We assume an energy price increase of 7% p.a. with an initial price of  $P_0 = 0,85$  MU/l. Through mathematical optimization, we determined the optimal investment amount to be 4,604 MU. Hence, the company should invest exactly this amount to maximize its economic profit and thus contribute to energy efficiency. Investing more than the computed optimal amount is advantageous from an ecological perspective, but not from an economic perspective. In order to account for risk and determine the optimal investment amount from an economic viewpoint under uncertainty, we simply assume the energy price to be volatile ( $\sigma_E^2 = 0,006$ ). For the parameter of risk aversion, we assume  $\alpha = 1$ . All data is summarized in Table III.4-1.

**Tab. III.4-1: Facts of the example with one property**

$T_1 = 30$	$i = 3 \%$	$r = 7 \%$	$RR_{after}(I) = 1000000 + 10000 \cdot \ln I$
$P_0 = 0,85$ MU/l	$\sigma_E^2 = 0,006$	$\alpha = 1$	$d_{after}(I) = 3000 - 0,06 \cdot I$

Considering risk and the insurance impact of green buildings, we determine an optimal investment amount of  $I^* = 18,748$  MU. Considering the insurance impact clearly raises the optimal investment amount and energy demand, and thus the carbon footprint can be reduced much more. The company in this example will save 37.5% of its periodic energy demand if it chooses the optimal investment alternative, whereas the company would only save 9.2% of energy if it disregarded the insurance impact and conducted a valuation under certainty.

Imagine the building society together with their tenants planning to invest in GBIO for  $n = 2$  properties. Both properties are under possession of the building society and used by their tenants. Property 1 is the familiar block of offices. All given facts remain unmodified. Property 2 is a production site for commercial uses. All data is summarized in Table III.4-2.

**Tab. III.4-2: Facts for the example with n=2 properties**

$T_{1,1} = 30$	$\alpha = 1$	$n = 2$	$RR_{after,1}(I_1) = 1000000 + 10000 \cdot \ln I_1$
$T_{1,2} = 30$	$k_{12} = 0,5$	$i = 3 \%$	$RR_{after,2}(I_2) = 3000000 + 30000 \cdot \ln I_2$
$P_{0,E} = 0,85$ MU/l	$\sigma_E^2 = 0,006$	$r_E = 7 \%$	$d_{after,1}(I_1) = 3000 - 0,06 \cdot I_1$
$P_{0,F} = 0,6$ MU/u	$\sigma_F^2 = 0,009$	$r_F = 5 \%$	$d_{after,2}(I_2) = 5000 - 0,03 \cdot I_2$



Through mathematical optimization, we can determine an optimal investment amount for property 1 of  $I_1^* = 41,064$  MU and for property 2 of  $I_2^* = 74,529$  MU. By summing up the two optimal investment amounts, we obtain the overall optimal investment amount  $I_{overall}^* = 115,593$  MU. Compared to a consideration without price dependencies, we can observe significantly different results: In the current example, the overall optimal investment amount is only  $65,121$  MU if energy price dependencies are disregarded. Here, the consideration of energy price dependencies leads to a further increase in the optimal overall investment amount in this example.

#### III.4.6 Conclusions and Outlook

This paper shows how to evaluate GBIO and how to determine the optimal investment amount in a formal model. We showed that, under the given assumptions, the optimal investment amount can be increased by considering the insurance effect of green buildings. Furthermore, we pointed out that a diversification effect is a further possible benefit of GBIO in property portfolios.

Nevertheless, several assumptions and conditions of this paper have to be examined critically, which opens up possibilities for further research. First, the landlord-tenant dilemma might be an investment barrier, and identified economical and ecologically meaningful investments are not being made because landlord and tenant are not willing to share the investment amount. Furthermore, existing legislation can impede reasonable investments if the investment amount cannot be divided equitably (e.g., German landlords can only pass on 11% p.a. of the costs of certain energy-efficient refurbishment measures to the tenant). In that case, it is possible that the investment amount to be spent is limited. Second, it is likely that the value (and thus the resale return) of properties does not just depend on the investment amount of GBIO and energy price dependencies. A model integrating more than just these factors should be the subject of further research.

#### III.4.7 References

- Al-Sallal KA (2003) Comparison between polystyrene and fiberglass roof isolation in warm and cold climates, *Renewable energy* 28:603-611
- Apgar M (2009) What every leader should know about real estate, *Harvard Business Review* 10:100-107

- 
- Arrow KJ (1971) The theory of risk aversion. Essays in the Theory of Risk Bearing, Markham Publishing, Chicago
- Atkinson JGB, Jackson T, Mullings-Smith E (2009) Market influence on the low carbon energy refurbishment of existing multi-residential buildings. Energy Policy 37:2582-2593
- Bamberg G, Spremann K, (1981) Implications of constant risk aversion, Mathematical Methods of Operations Research 25:205-224
- Bengtsson B (1998) Tenants' dilemma – On collective action in housing, Housing Studies, 13:99-120
- Bernoulli D (1954) Exposition of a new theory on the measurement of risk, Econometrica 22:23-36
- Bienert S (2009) Real Estate Evaluation in Austria (Immobilienbewertung Österreich, ÖVI Immobilienakademie, Vienna, Austria
- Bolattürk A (2006) Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. Applied Thermal Engineering, 26:1301-1309
- Bolinger M, Wiser R, Golove W (2002) Quantifying the value that wind power provides as a hedge against volatile natural gas prices. Proc. of Windpower, Portland, Oregon
- Buhl HU, Jetter M (2009) BISE's responsibility for our planet. Business & Information Systems Engineering 1:273-276
- Buhl HU, Gaugler T, Mette P (2011) Determining the Optimal Investment Amount of an Intelligent House – Potentials of Information and Technology to Combine Ecology and Economy. Proc. of the 19th European Conference on Information Systems, Helsinki, Finland
- Christen K, Jakob M, Jochem E (2002) Marginal cost in residential buildings with enforced energy efficiency measures (Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden).  
[http://www.cepe.ch/research/projects/grenzkosten/Grenzkosten\\_Schlussbericht\\_Teil1.pdf](http://www.cepe.ch/research/projects/grenzkosten/Grenzkosten_Schlussbericht_Teil1.pdf)

- 
- Da Silva PP (2007) EU spot prices and industry structure: assessing electricity market integration. *International Journal of Energy Sector Management* 2:340-350
- Duffie D, Gray SF, Hoang P (1999) Volatility in energy prices. *Managing Energy Price Risk*, Risk Publications, London, UK
- Erdmenger C, Lehmann H (2009) A climate protection strategy for Germany - 40% reduction of CO2 emissions by 2020 compared to 1990. *Energy Policy* 37:158-165
- Eydeland A, Wolyniec K (2003) Energy and power risk management – New developments in modeling, pricing, and hedging. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey
- Freund R (1956) The introduction of risk into a programming model. *Econometrica* 24:253-263
- Fridgen G, Müller H, (2009) Risk/Cost valuation of fixed price IT outsourcing in a portfolio context. Proc. of the 30th International Conference on Information Systems, Phoenix
- Gallinelli F (2008) Mastering real estate investment: Examples, metrics and case studies, Realdata Inc., Southport, UK
- Gillingham K, Newell RG, Palmer K (2009) Energy efficiency economics and policy. [http://www.nber.org/papers/w15031.pdf?new\\_window=1](http://www.nber.org/papers/w15031.pdf?new_window=1)
- Greene WH (2008) *Econometric Analysis*, Prentice Hall, New Jersey
- Hanink DM (1985) A mean-variance model of MNF location strategy. *Journal of International Business Studies* 16:165-170
- Howarth RB, Sanstad AH (2007) Discount rates and energy efficiency. *Contemporary Economic Policy* 13:101-109
- Hyder M (2006) Growing green buildings. *Business and the Environment* 17:1-4
- Lützkendorf T, Mrics D (2008) Next generation decision support instruments for the property industry – Understanding the financial implications of sustainable building. Proc. World Sustainable Building Conference, Melbourne, Australia
- Meredith J, Raturi A, Amaoko-Gyampah K, Kaplan B (1989) Alternative research paradigms in operations. *Journal of Operations Management* 8:297-326
- Miller N, Spivey J, Florance A (2008) Does green pay off? *Journal of Real Estate Portfolio Management* 14:385-399

- 
- McKinsey Global Institute (2007) Curbing global energy demand growth: The energy productivity opportunity, MGI, San Francisco.
- Mohsen MS, Akash BA (2001) Some prospect of energy saving in building. *Energy Conversion Management* 42:1307-1315
- Murray N, Fernando T, Aouad G (2003) A virtual environment for the design and simulated construction of prefabricated buildings. *Virtual Reality* 6:244-256
- Nalewaik A, Venters V (2008) Costs and benefits of building green. *AACE International Transactions*, Toronto, Canada
- Pinkse J, Dommisse M (2009) Overcoming barriers to sustainability: an explanation of residential builders' reluctance to adopt clean technologies. *Business Strategy and the Environment* 18:515-527
- Power A (2008) Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? *Energy Policy* 36:4487-4501
- Rottke NB (2009) Economy vs. ecology – sustainability in the real estate industry (Ökonomie vs. Ökologie – Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft). *Immobilien Manager*, Cologne, Germany
- Schleich J (2009) Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector. *Ecological Economics* 68:2150-2159
- Schleich J, Gruber E (2008) Beyond case studies: Barriers to energy efficiency in commerce and the service sector. *Energy Economics* 30:449-464
- Schwartz ES (1997) The stochastic behaviour of commodity prices: implications for valuation and hedging. *Journal of Finance* 52:923-973
- Shiller RJ (1981) Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? *American Economic Review* 71:421-436
- The Climate Group (2008) Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. [http://www.smart2020.org/\\_assets/files/02\\_Smart2020Report.pdf](http://www.smart2020.org/_assets/files/02_Smart2020Report.pdf)
- Thompson PB (1997) Evaluating energy efficiency investments: accounting for risk in the discounting process. *Energy Policy* 25:989-996
- Tucker P (2007) World population forecast rises. *Futurist* 41:1-12

Masters MW (2008) Testimony before the committee on homeland security and governmental affairs United States senate.

[http://hsgac.senate.gov/public/\\_files/052008Masters.pdf](http://hsgac.senate.gov/public/_files/052008Masters.pdf)

Vyas UK, Cannon SE (2008) Shifting the sustainability paradigm: From advocacy to good business. Real Estate Issues 33:1-7

World Business Council for Sustainable Development (2007) Mortgage Banking: 167-169

World Wide Fund For Nature (2010) Living planet report.  
<http://assets.panda.org/downloads/lpr2010.pdf>

### III.5 Beitrag 6: „Multivendor Portfolio Strategies in Cloud Computing“

Autoren:	Christian König, Philipp Mette, Hanna-Vera Müller Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg philipp.mette@wiwi.uni-augsburg.de
Erschienen 2013 in:	Proceedings of the 21th European Conference on Information Systems (ECIS), Utrecht, Niederlande

#### **Zusammenfassung:**

*Cloud computing emerges as a powerful driver of the information technology industry and many companies are willing to exploit the advantages this development bears. However, services provided by the cloud are subject to default which can result in major economic damage for the client. Moreover, different cloud service providers may also bear a conjoint risk and may therefore not default independently. Hence, to implement effective cloud sourcing strategies, this paper postulates requirements for evaluating multivendor sourcing decisions to select cloud service providers, considering cost, cloud computing specific risk, and interdependencies. We develop an analytic model that meets these requirements and quantitatively expresses the specific cost and risk structure of cloud computing sourcing decisions. Our approach is based on Portfolio Theory with regard to the specifics of fungible cloud services by using exponential loss distributions and one-sided risk measures. Thereby, an evaluation and optimization of a client's cloud service provider portfolio is possible. To determine the value added we use a simulation for the evaluation of our approach.*

#### **III.5.1 Introduction**

The prevailing topic of cloud computing is supposed to reshape the information technology industry during the next years (Leavitt 2009). Thereby, the economic and practical potential of this technology appears to be tremendous. Cloud computing providers like Amazon or Google are continuously extending their computing infrastructures, platforms, and services.

---

The market-research company International Data Corporation expects expenditures on IT cloud services to ‘account for 25 percent of annual IT expenditure growth by 2012 and nearly a third of the growth the following year’ (Leavitt 2009). Hence, cloud computing may have the potential to transform large parts of the IT industry (Armbrust et al. 2010). To retain control and thereby overcome adoption reluctance, an economic risk assessment of cloud services and a comparison of different providers are necessary (ENISA 2009). This includes the evaluation of a provider’s respective availability, recovery rate, and viability (Heiser and Nicolett 2008). Lee et al. (2003) point out that service providers’ system failure can result in major loss of productivity for clients. Therefore, the clients’ businesses depend on the cloud service providers’ wellbeing. The availability of cloud computing services is a major concern for companies. ‘The interruption of data availability has the same effect as a system failure, because it significantly impedes all processes affected’ (Martens and Teuteberg 2011). For example, due to a power outage, datacenters of Amazon and Microsoft near Dublin were blacking out resulting in a default of both, the Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) platform as well as the Microsoft Business Productivity Online Suite (Miller 2011). The online storage service called ‘The Linkup’ shut down on August 8th, 2008 after losing access to 45% of customer data. Therefore 20,000 users had to be told that the respective services are no longer available (Brodkin 2008). Unlike other IT (sourcing) projects, cloud services show a specific asymmetric risk structure with relatively low expected costs but very high economic damage in case of default. To reach an economic valuation of sourcing decisions for cloud sourcing strategies in accordance with general IT governance guidelines, a cloud specific risk assessment as well as the consideration of interdependencies and diversification effects is inevitable. However, Venters and Whitley (2012) state that still many organizations have a poor understanding of their costs, cannot evaluate the benefits, and only have limited ability to quantify the risks of cloud computing. Against this background we develop an analytical model to evaluate the ex ante allocation of shares to multiple cloud service providers, taking into account the service providers’ costs and default risks. Since the economic attributes of cloud services can be very diverse, we chose to tailor our model towards a specific class of cloud services with basic attributes in order to guarantee comprehensible results, i.e. fungible cloud services, which can be independently allocated to different cloud service providers and for which a short-term provider switch is no effective solution to keep the business running. Examples for such cloud services are hosted desktops, hosted exchange and e-mail services, shared workspace systems, the provision of online storage and intra-company file sharing, as

well as for hosted Anti-Spam/Anti-Virus solutions for e-mail security in the cloud. What these services have in common is that a provider's default may result in severe economic damage for the user, since the continuation of operations depends on the services' availability.

Based on existing literature, we postulate three requirements which we consider to be essential for an evaluation of cloud service provider portfolio composition. Then, we provide a brief survey of essential literature with regard to existing valuation methods and describe our research methodology. The article's novelty is based upon a new approach to model the asymmetric risk structure of specific cloud services with the use of exponential loss distributions and a one-sided risk measure in analogy to technical failure rates to depict a reasonable image of reality. Thereby, we extend existing Portfolio Theory towards the specific characteristics of cloud services. We conclude with a valuation and optimization method for a cloud service provider portfolio. We present a practical example, evaluate our model using a Monte Carlo simulation, and illustrate real world implications of our work, before addressing the prospects and limitations of the model.

### **III.5.2 Research Objectives**

Considering a profit-maximizing company, the economic benefits of a technology are in the spotlight of decision-making. Companies are challenged to allocate budget to the most promising combination of IT-services by using methodically rigorous valuation methods to assess available IT services (Reyck et al. 2005). Despite this necessity, only 50% of all companies examined by the IT Governance Institute have a clearly defined approach for evaluating IT (IT Governance Institute 2008). Considering the specifications of cloud computing sourcing investments, we postulate the following requirements.

R1: Cost integration: In general, cloud computing decisions induce costs to a client, e.g. service costs, agency, capital or implementation costs (Martens and Teuteberg 2011). Thus, a valuation method has to integrate the occurring costs of cloud services.

R2: Consideration of the cloud computing specific risk structure: As mentioned above, providers of cloud computing services bear the risk of default resulting in a temporary service unavailability. The unavailability might be caused by different incidents like technical breakdown, operative errors or natural disasters. In case of default the client is unable to conduct its business processes for the duration of the unavailability of the service and hence has to bear profit setbacks. This one-sided risk structure needs to be adequately considered. In existing IT project/portfolio evaluation methods, risk is often interpreted as a two-sided



---

deviation from a target variable, e.g. the expected costs, like in Fridgen and Müller (2009) and Zimmermann et al. (2008). However, a two-sided risk measure is incapable of depicting the one-sided risk structure of cloud computing services. Therefore, a valuation method has to consider this cloud computing specific risk structure. Requirement R2 is in the focus of this article to enable a cloud specific extension of Portfolio Theory.

R3: Consideration of risk interdependencies and diversification effects: If a client sources a cloud service to multiple providers, the default risks of the service providers are not independent of each other. On the one hand, risk is mitigated through the partitioning of the service provision; on the other hand it is possible that certain risks affect multiple service providers simultaneously. These conjoint risks, affecting for example a certain geographical region, technology, etc., appear in addition to a cloud service provider's specific risk. They occur very infrequent, but may cause high economic damage (Giesecke 2003). Possible practical examples of cloud computing risk interdependencies are network breakdowns, e.g. by transection of deep-sea cables, large-area electric power breakdowns, or the unavailability of a basic supply service, which is accessed and indispensably required by a certain group of service providers (cascading risk transfer). Different cloud service providers which offer hosted desktops or hosted exchange- and e-mail services might rely on the same infrastructure provider, like Amazon's Elastic Compute Cloud. Since many providers are recently locating their large datacenters in areas where power and cooling are cheap in order to maximize their economic profit from economies of scale (Armbrust et al. 2010), conjoint risks due to geographical proximity are becoming more and more likely. However, if a client obtains a desired cloud service from multiple service providers, whose risks are not perfectly positively correlated, the overall risk is lower than the total risks in case of perfect positive correlation due to diversification effects. For example, a client that uses hosted desktops from two or more cloud service providers keeps its core ability to work at least for a certain part of its employees, even if one provider defaults. This effect has to be considered by a valuation method.

As we will point out more detailed in the next section, to the best of our knowledge, there are no existing valuation methods for cloud computing portfolio management approaches considering all of the three mentioned requirements. To address this issue, our valuation model will answer the following two research questions, thus contributing to a better understanding and exploitation of the economic potential of cloud computing:

How can a cloud service provider portfolio be evaluated considering cost, interdependencies and the cloud computing specific asymmetric risk structure?

How can a client identify the optimal cloud computing portfolio allocation strategy?

### **III.5.3 Literature Overview**

Many research articles address cloud computing business models and business-related issues of cloud computing, e.g. Pueschel et al. (2009) and Weinhardt et al. (2009). Companies willing to use cloud computing services need a comprehensive strategy to manage cloud services' cost, its specific risk structure as well as interdependencies. For this purpose, they use the support of decision models. Existing articles examine various aspects of sourcing decisions in general, and are based on several common theories applied in IS research, e.g. Social Exchange Theory (e.g. Kern and Willcocks 2000), Transaction Cost Economics Theory (e.g. Aubert et al. 1996) or Agency Theory (e.g. Bahli and Rivard 2003). Since in general sourcing decisions are similar to portfolio decisions on for example risky financial assets or IT projects, cf. Zimmermann et al. (2012), this contribution is based upon Portfolio Theory. In this vein, the 'critical target figures of a portfolio are its expected return and risk' as well as 'its interdependencies to all other investments included in a portfolio' (Zimmermann et al. 2012). Related articles in IS research using this theory are for example Wehrmann et al. (2006), and Zimmermann et al. (2008). They focus on IT outsourcing in general and do not adapt the theory according to the characteristics of cloud services. They use the variance as a two-sided risk measure to capture risk and picture interdependencies by the use of the Pearson's correlation coefficient. Thus, existing approaches based on Portfolio Theory consider both cost (R1) and project dependencies (R3), but fall short in capturing the cloud service specific risk structure (R2) and modeling it adequately. Other normative approaches like for example Martens et al. (2011) therefore provide a selection process for cloud computing providers with special focus on data sensitivity and risk attitude of the decision maker. The article contains an illustration of a respective decision process and does not provide a quantitative method-based decision support instrument. Existing contributions to the field that focus on methodological decision support are for example Martens et al. (2012), who develop a Total Cost of Ownership (TCO) approach for cloud services and thoroughly describe different cloud computing pricing schemes as well as a high variety of cost factors of cloud computing. Fitó and Guitart Fernández (2012) introduce a semi-quantitative risk-management approach, which analyses and prioritizes cloud risks according

---

to their impact on business objectives. Liang et al. (2012) provide decision models for cloud resource allocation focusing on cost and technical aspects like capacity, job turnaround time, latency and bandwidth. Martens and Teuteberg (2011) integrate risk in a decision model and model it by means of common security objectives. However, a cloud computing specific decision model with regard to all of the three mentioned requirements cannot be found. Hence, we analyzed general literature on IT outsourcing and decision theory in order to find approaches which might be suitable for a method transfer. The management of dependencies (R3) among various activities was already examined by Malone and Crowston (1990), who analyzed different types of dependencies and suitable management approaches. Interdependency effects are studied empirically by Mani et al. (2012), who focused on coordination between client and vendor. Bapna et al. (2010) developed an agenda for analytical and empirical research on multi-sourcing, focusing on a setting with multiple vendors who are competitors and co-workers at the same time. They found that due to interdependencies multi-sourcing is ‘fundamentally different from single-sourcing’ and that occurring cooperation and coordination efforts need to be analyzed carefully. Kundisch and Meier (2011) distinguished between different kinds of interdependencies and presented a structured identification process for resource interactions among IT projects and developed a mathematical decision model which accounts for the identified interdependencies. Probst and Buhl (2012) developed a model for sourcing decisions for IT services explicitly focusing on diversification effects. Lammers (2004) also considered IT service sourcing decision and use a risk-adjusted discount rate to model service provider risks. These approaches model risk by the means of symmetric distributions and therefore use two-sided risk measures. To the best of our knowledge a transfer of these approaches to the specifics of cloud computing is not possible, since risk shall be modeled as one-sided deviation from an expected availability rate to picture the facts of cloud computing more realistically. Martens et al. (2012) state that the ‘evaluation and selection process of Cloud Computing Services is frequently conducted ad-hoc and lacks systematic methods to approach this topic’. For this reason, we develop a quantitative risk/cost based model for cloud computing investment decisions using a one-sided risk measure and considering exponentially distributed losses in case of default. Thereby, our work emphasizes specific characteristics of cloud computing, like easy accessibility and reconfiguration in terms of scalability. Thus, we are able to extend the IS literature based on Portfolio Theory with regard to specific risk modelling of cloud services

and derive an economic model that delivers relevant insights supporting the design of cloud computing decision processes in today's businesses.

#### **III.5.4 Research Methodology**

In the context of this work we adopt a design science approach according to Hevner et al. (2004). Our approach to portfolio selection in cloud computing is designed as an artefact. Since it is a model that enables comparison to other approaches in this research area and it is a method that supports the process of portfolio selection in cloud computing, it is a valid artefact type (March and Smith 1995). We gave a brief overview of descriptive literature on cloud computing and pointed out the need of quantitative decision support for cloud computing vendor selection. Since no adequate solutions exist in the extant knowledge base, the first phase (rigor phase) according to Hevner's DSR Approach (Hevner et al. 2004) is accomplished. For the construction of the artefact we relied on Portfolio Theory, as well as on Decision Theory and mathematical methods and related literature dealing with decision support for sourcing. To evaluate our approach to portfolio selection in cloud computing, we follow the methods proposed by Hevner et al. (2004) using a simulation and demonstrate that it will lead to better results than approaches applied in practice today. Thus, this paper provides a basis for the presentation of this approach to technology as well as management oriented readers. Researchers should feel encouraged to challenge the described limitations as well as to validate the proposed effects by empiricism. The findings derived subsequently should continuously improve the approach and therewith the decision support in today's businesses.

#### **III.5.5 Multivendor Sourcing Decision Model**

Despite traditional IT outsourcing and cloud computing provide similar basic functions and benefits (Leimeister et al. 2010), many limitations of traditional IT outsourcing do not apply to the concept of cloud computing (Talukder and Zimmerman 2010). The providers of cloud services are subject to availability risk caused by individual or conjoint default. Both risks constitute the asymmetric risk structure of cloud services with relatively low expected costs but extremely high damage in case of default. In order to receive a specifically tailored model, we picture risk as technical failures, which are, in contrast to general IT outsourcing settings where defaults have a much broader variety of reasons, a very typical default reason of cloud services. Moreover, our model is continuous and considers fungible cloud services, which can be independently allocated to multiple service providers. This is not the case for other cloud

services, or SaaS in general, where a service is delivered either by one specific supplier completely, or by multiple suppliers, each with precisely pre-defined scope (e.g., online storage is a fungible service, which can be independently allocated to multiple providers, whereas order entry as a Service is not). Due to these reasons, our model is first and foremost applicable to fungible and independent cloud services and not directly applicable to IT outsourcing settings or SaaS in general. Hence, our model cannot claim to be universally applicable, but intends to provide a realistic modeling approach of the specific risk structure of specific cloud services.

### III.5.5.1 Setting and Assumptions

To conduct business, a client decides on deploying a specific service obtained through the cloud. As mentioned above, we focus on cloud services which are fungible, can be independently allocated to multiple service providers, and for which a short-term provider switch is no effective solution to keep the business running. We refrain from a technical investigation of cloud computing related problem solving. Instead, we examine the use of multiple cloud providers as a strategic or project management related means to deal with the problem of cloud computing service availability. Therefore,  $n$  multiple cloud service providers exist which render the desired service either completely or to some extent. The client has to decide ex ante on the respective share  $w_i$  of the service that will be obtained from provider  $i$ , with  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Considering a possible default of a service provider, clients are generally able to switch to an alternative provider, which in such cases might be a lengthy and complex migration project. However, even a fast provider switch cannot avoid unavailability of a service, since it takes time until a client notices the default, gathers information about possible courses of action, chooses an alternative solution and switches to the respective provider. During this entire time span, economic damage accrues due to the interruption of business operations. Hence, we omit short term provider switches for our model and state the following assumption:

A1: The possibility of a short term change of the service provider is neglected for the considered period of time.

#### **Referring to R1: Cost integration:**

Each provider  $i$  offers a service to the client at certain costs  $c_i$ , whereas  $c_i$  being the costs for the provision of the complete service, i.e.  $w_i = 1$ . We consider the present value of all costs,

e.g. initiation costs, negotiation cost, agency costs, coordination costs (Martens and Teuteberg 2011), to be integrated in  $c_i$ .

**Referring to R2: Consideration of the cloud computing specific risk structure:**

The service offered by provider  $i$  is subject to default. This risk is modeled by the random variable  $\tilde{\tau}_i$ , which indicates the duration of unavailability of the service within the considered period. We infer that the longer the duration of unavailability, the higher the economic damage. Therefore, we state the following assumption:

A2: The economic damage  $\tilde{D}_i$  increases linearly with the duration of unavailability  $\tilde{\tau}_i$  of a service, i.e.  $\tilde{D}_i(\tilde{\tau}_i) = \tilde{\tau}_i \cdot d$ , with  $d > 0$  being the client-specific damage rate.

Since  $\tilde{D}_i$  is functionally dependent on the random variable  $\tilde{\tau}_i$ ,  $\tilde{D}_i$  is also random. In practice, the economic damage may also stand in other than a linear relation to the duration of unavailability, e.g. convex, quadratic or exponential, relations. The model could easily be tailored to such other relations by adapting the factor  $d$  to be any desired function of  $\tilde{\tau}_i$ . We use assumption A2 as simplification which does not alter the model's findings. In case of unavailability of the service, providers are typically obliged to render compensatory payments specified by their SLAs. For example, if a client of Amazon's cloud service EC2 drops below the guaranteed duration of availability, the client 'is eligible to receive a service credit equal to 10% of their bill' (Amazon Web Services 2008). Since the uncertain economic damage  $\tilde{D}_i$  on behalf of the client is unknown to and not influenceable by providers like Amazon, it is not appealing to them to grant a higher compensation. Related to the compensatory payment, the economic damage e.g. due to loss of customer data and thereby delayed business processes is likely to be much higher, which makes the risk of default almost completely born by the client. Venters and Whitley (2012) state that unlike regular outsourcing SLAs, cloud service SLAs 'are often weak and ineffectual' and 'currently poor vehicles for customers'. Durkee (2010) finds that 'in the cloud market space, meaningful SLAs are few and far between, and even when a vendor does have one, most of the time it is toothless'. Therefore, and for reasons of simplicity, we state the following assumption:

A3: Compensatory payments are neglected.

To model the distribution of the duration of unavailability  $\tilde{\tau}_i$  we have to consider the fact that cloud providers do not have an incentive to publish empirical data for their services' unavailability times. Thus, we follow an established method of modeling technical failure

rates with an exponential distribution, with shorter durations of unavailability like e.g. due to power outages or server outages being more likely than longer ones like e.g. bankruptcy of a provider.

A4: The duration of unavailability  $\tilde{\tau}_i$  of a service is influenced by the provider-specific risk, modeled by an exponential distribution determined by the recovery rate  $\lambda_i > 0$ .

The recovery rate  $\lambda_i$  defines the capability of a cloud service provider to fix a service in case of default. Thereby, a high recovery rate refers to a broad expertise of a service provider to decrease the duration of unavailability.

### **Referring to R3: Consideration of risk interdependencies and diversification effects:**

Besides the provider-specific risk, conjoint risks affect multiple cloud service providers  $i$  and  $j$  simultaneously. Following Duffie and Garleanu (2001) and Marshall and Olkin (1967), we model these conjoint risks according to the following assumption:

A5: Dependencies between the durations of unavailability of two services are pictured by the conjoint risk, modeled by an exponential distribution determined by the recovery rate  $\lambda_{ij} > 0$ . All dependencies are assumed to be linear.

The recovery rate  $\lambda_{ij}$  defines the existing external capability to fix a service in case of default, which is for example influenced by a certain region's electricity grid and respective support. Again, a high recovery rate refers to a broad expertise to decrease the duration of unavailability. The provider  $i$ 's duration of unavailability  $\tilde{\tau}_i$  can now be described by a bivariate exponential function  $F(\tilde{\tau}_i)$  considering both the provider-specific risk as well as the conjoint risk. Since the service provider's statement of its duration of unavailability  $DU_i$  given by the respective SLA, e.g. 'we guarantee 99.5% availability', is the best information accessible, we state the following assumption:

A6: The statement of duration of unavailability  $DU_i$  equals the expected value of the bivariate exponential distribution  $E(F(\tilde{\tau}_i))$ .

As the expected value of the bivariate exponential distribution can be calculated according to (Giesecke, 2003) as

$$E(F(\tilde{\tau}_i)) = \frac{1}{\lambda_i + \lambda_{ij}},$$

we can state that

$$DU_i = E(F(\tilde{\tau}_i)) = \frac{1}{\lambda_i + \lambda_{ij}}.$$

Since a cloud service provider tries to avoid contract violations, the information  $DU_i$  given by the provider might not equal the true expected duration of unavailability, which might be derived from empirical values. The integration of this factor, as is, might therefore be a very cautious calculation. Empiricism could therefore come up with industry specific corrective factors, which could easily be integrated in the model.

**Referring to all three listed requirements:**

To picture the risk of unavailability of a service appropriately, we use the concept of lower partial moments (LPM), which measure one-sided deviations from a certain threshold, i.e. downside-risk. Therefore, the risk of unavailability of a provider is measured by the second order lower partial moment  $LPM_2(0; \tilde{t}_i)$ , with 0 being the damage threshold and  $\tilde{t}_i$  the decisive random variable. To evaluate a portfolio with respect to all requirements mentioned above, we compose an objective function as the client's decision criterion that integrates the portfolio's expected costs (denoted as  $\mu_{PF}$ ) and risks ( $LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)$ ) weighted by the individual risk aversion of the decision maker, measured by the parameter  $\gamma$ . We state assumption A7:

A7: The client determines the risk-adjusted costs of a cloud computing portfolio PF using the following objective function:  $\Phi(\mu_{PF}, LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)) = \mu_{PF} + \gamma \cdot LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)$ . The client is risk-averse, i.e.  $\gamma > 0$ .

We assume a risk-averse decision maker, which means that the higher the unavailability risk of a service, the lower the client's willingness of choosing it. The exact determination of parameters of risk aversion is difficult and subject to further research. Similar objective functions are used by other authors within the IS discipline, e.g. Fridgen and Müller (2009), Probst and Buhl (2012), Zimmermann et al. (2008).

### III.5.5.2 Portfolio Selection of Cloud Computing Providers

The client's objective is to minimize the risk-adjusted costs of the portfolio, i.e. the value of the objective function. For this purpose, we derive the objective function's constituent parts for a cloud service provider portfolio  $\mu_{PF}$  and  $LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)$ . The expected costs  $\mu_i$  for provider  $i$ 's complete service are measured by the costs for the provision of the complete service  $c_i$  plus the expected damage  $E(D(\tilde{t}_i))$ , which consists of the expected duration of unavailability  $E(F(\tilde{t}_i))$  multiplied by the client-specific damage rate  $d$ :



$$\mu_i = c_i + E(D(\tilde{t}_i)) = c_i + E(F(\tilde{t}_i)) \cdot d = c_i + \frac{1}{\lambda_i + \lambda_{ij}} \cdot d$$

The expected cost of a portfolio of cloud service providers  $\mu_{PF}$  is the sum of the expected costs for all providers  $\mu_i$  weighted with their respective shares  $w_i$ :  $\mu_{PF} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \mu_i$

Furthermore, the unavailability risk of a portfolio of providers is measured by the  $LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)$ . Following Wojt (2009) and using the second order lower partial moment considering both the provider-specific risk as well as conjoint risk, we get:

$$LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot CLPM_{1,i,j}(0; \tilde{t}_i)$$

Thereby,  $CLPM_{1,i,j}(0; \tilde{t}_i)$  is the first order co-lower partial moment between the service providers, with

$$CLPM_{1,i,i}(0; \tilde{t}_i) = LPM_{2,i}(0; \tilde{t}_i)$$

and

$$CLPM_{1,i,j}(0; \tilde{t}_i) = LPM_{1,i}(0; \tilde{t}_i) \cdot LPM_{1,j}(0; \tilde{t}_i) \cdot \rho_{ij}$$

$\rho_{ij}$  pictures a correlation coefficient and therefore is a measure of the coherence between the respective risks of unavailability of the service providers, which is determined by the provider-specific risks as well as the conjoint risk. Following Marshall and Olkin (1967), this linear dependency can be pictured as  $\rho_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_i + \lambda_j + \lambda_{ij}}$ .

If the conjoint recovery rate  $\lambda_{ij} = 0$ , the providers' durations of unavailability are independent of each other, in this case the correlation  $\rho_{ij} = 0$ . Furthermore, as  $\lambda_i \geq 0$  and  $\lambda_{ij} \geq 0$ , we find that  $\rho_{ij} \geq 0$ . This implication of the model is reasonable, since a setting where the duration of unavailability of one service provider negatively affecting the duration of unavailability of another one is very unlikely. Given the correlation coefficient and the service providers' statements for the duration of unavailability from the SLAs, the relevant parameters  $\lambda_i$ ,  $\lambda_j$  and  $\lambda_{ij}$  can be derived mathematically.

To provide a suitable evaluation method for cloud computing service providers in terms of our first research question, we combine expected costs and risk in the decision maker's objective function:

$$\Phi(\mu_{PF}, LPM_{2,PF}(0; \tilde{t}_i)) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \mu_i + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot CLPM_{1,i,j}(0; \tilde{t}_i)$$

The decision maker can use this objective function to evaluate a possible allocation of services  $w_i$  with regard to the resulting risk-adjusted costs under consideration of the decision maker's specific risk aversion. However, it still has to be identified which combination of shares of the cloud service providers is best for the decision maker. To address this issue in terms of the second research question, we use the deduced evaluation method as a basis and formulate the problem as  $\text{Min } \phi(\mu_{\text{PF}}, \text{LPM}_{2,\text{PF}}(0; \tilde{\tau}_i))$ . Here we face a nonlinear optimization problem with a vector of decision variables  $\bar{w} = (w_1, \dots, w_n)$  subject to two constraints:  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  and  $w_i \geq 0, \forall i \in N$ . The analytic solution of such problems is possible but rather complex and would go beyond the scope of this contribution. However, to provide an analytical optimum in this paper, in the following, we concentrate on a setting with two service providers. This implicates a minimization of the risk-adjusted costs, resulting from the chosen optimal portfolio weights for  $n = 2$  providers with  $w_2 = 1 - w_1$ . To fulfill the first order condition for optimality we set the first derivative with respect to  $w_1$  equal to 0. By solving  $\frac{\partial \phi(\mu_{\text{PF}}, \text{LPM}_{2,\text{PF}}(0; \tilde{\tau}_i))}{\partial w_1} = 0$  for  $w_1$  we get a candidate for optimality  $\tilde{w}_1$ . To fulfill the second order condition for optimality, we examine the second derivative with respect to  $w_1$   $\frac{\partial^2 \phi(\mu_{\text{PF}}, \text{LPM}_{2,\text{PF}}(0; \tilde{\tau}_i))}{\partial w_1^2} > 0$ . For reasons of convenience, we do not depict the mathematical terms of the optimization. Considering all parameters in the previously defined domains, the second derivative is always positive and therefore the second order condition is always fulfilled. In case of optimization outcomes outside the interval  $[0,1]$  we apply 0 at minimum and 1 at maximum. Hence,  $w_1^* = \tilde{w}_1$  and  $w_2^* = 1 - w_1^*$  represent the optimal shares. The decision maker's optimal portfolio allocation strategy is to choose the shares according to the computed  $w_1^*$  and  $w_2^*$  thus minimizing the risk-adjusted costs.

### III.5.6 Example of two cloud computing providers

A company decides to obtain the service of hosted desktops and therewith realize advantages like easy access from different locations, provider support, less energy consumption, and no high investment costs. The company wants to split the provided desktops between two service providers SP1 and SP2. If SP1 provides all hosted desktops, the costs of the service are  $c_1 = 13,000$  monetary units (MU), whereas the costs of full service provisioning of SP2 are  $c_2 = 15,000$  MU, including initiation costs, adoption costs and other. The economic damage  $\tilde{D}_i$  increases linearly with the duration of unavailability  $\tilde{\tau}_i$  which is the time in which the affected

employees cannot access their desktops. The client-specific damage rate is  $d = 110,000$  MU. The company's parameter of risk-aversion is  $\gamma = 4$ . The recovery rates given in the providers' SLAs are 99.95% (SP1) and 99.96% (SP2), respectively. Since both service providers are located in the same geographical region and natural disasters and electric power breakdowns might have simultaneous impact on the availability of both providers, the correlation coefficient is assumed to be  $\rho_{12} = 0.25$ . Given this data, the provider-specific recovery rates  $\lambda_1 = 1,100$  and  $\lambda_2 = 1,600$  as well as the conjoint recovery rate  $\lambda_{12} = 900$  can be derived mathematically. To compare the results of the optimization to more pragmatic approaches, we examine the respective risk-adjusted costs for each of the following allocation strategies.

- optimization: The optimal shares, identified by the method described above, are allocated to the respective providers.
- cost-based decision: The provider who charges less for the respective services is chosen to conduct the service entirely no matter what risk the service bears.
- risk-based decision: The provider with the higher availability is chosen to conduct the service entirely no matter what price the provider charges.
- equal shares: Each service provider conducts the same fraction of the service.

To picture the calculation outcomes: according to allocation strategy 1 (optimization), the portfolio composition with optimal shares  $w_1^* = 0.42$  and  $w_2^* = 0.58$  leads to risk-adjusted costs of 20,127. Allocation strategy 2 (cost-based decision) recommends a selection of provider SP1, as the costs are lower than the costs of SP2, which implies risk-adjusted costs of 25,155. Allocation strategy 3 (risk-based decision) recommends a selection of provider SP2, as its risk (reflected by the LPM) is lower than the costs of SP1, which implies risk-adjusted costs of 22,788. Allocation strategy 4 (equal shares) leads to risk-adjusted costs of 20,220. Hence, the optimization outcome of the model presented above delivers the best results in this example. We use a Monte Carlo simulation to verify these results.

### III.5.7 Model Evaluation based on a Monte Carlo Simulation

According to Hevner et al.'s (2004) design science approach, we provide an analytical optimization and simulation as legitimate means to evaluate a model. Since it is almost impossible to acquire real world data to survey the value added of our allocation approach empirically, we derive realistic results via the simulation of scenarios. Each scenario was created by a variation of the basic parameters cost, recovery rates, and damage. To picture the

availability of 99.95%, which is frequently given in cloud provider's SLAs we set the sum of the conjoint and provider-specific recovery rates equal to 2,000.

**Tab. III.4-1: Monte Carlo input data**

parameter	range	distribution
cost ( $c_i$ )	0 – 20,000 (+/- 20% for different providers)	equal
conjoint recovery rate ( $\lambda_{ij}$ )	0 – 2,000	equal
provider-specific recovery rate ( $\lambda_i$ )	2,000 - $\lambda_{ij}$ (+/- 100% for different providers)	equal
client-specific damage rate (d)	0 – 200,000	equal

We generated 50,000 different project settings and derive the following results: The allocation of cloud services according the optimization outcome dominates all of the three other allocation strategies, especially the magnitude of the improvement obtained through optimization is considerable. Compared to the cost-based decision, the optimization leads to an average improvement of 13.56% relating the respective risk-adjusted costs. Compared to the allocation decision of equal shares, the optimal allocation leads to an average improvement of 10.28%. Compared to the risk-based decision, the optimized allocation saves an average of 6.92%. By varying the parameter of risk aversion  $\gamma$  by steps of 25% in both directions, we performed an additional sensitivity analysis.

**Tab. III.4-2: Monte Carlo results: average improvement through optimization**

parameter of risk aversion $\gamma$	$\gamma = 2$	$\gamma = 3$	$\gamma = 4$	$\gamma = 5$	$\gamma = 6$
optimization vs. cost-based	9.93%	11.42%	13.56%	15.61%	17.80%
optimization vs. risk-based	5.75%	6.23%	6.92%	7.42%	7.90%
optimization vs. equal shares	9.66%	10.06%	10.28%	10.47%	11.31%

These results have been statistically tested with the Mann–Whitney–Wilcoxon test and are highly significant, i.e. all p-values  $\ll 0.01$ . Hence, we can state that our findings hold irrespective of the value of  $\gamma$ . Therefore the application of our model features a significant

potential to reduce risk-adjusted costs and enables companies to fully reap the benefits this technology bears.

### **III.5.8 Practical Implications, Limitations and Outlook**

In this paper, we derive an analytical model to extend existing Portfolio Theory to quantitatively evaluate a client's cloud computing portfolio composition with regard to three requirements. Altogether, the following practical implications can be derived:

- The characteristics of cloud computing require an economic valuation approach with regard to costs, the specific risk structure and risk interdependencies.
- The model developed in this paper fulfills all of these requirements and provides decision support to evaluate cloud computing strategies as well as to determine the optimal provider selection.
- The allocation of cloud services according the model's optimization outcome delivers better results than approaches applied in practice today.

Considering the limitations of this approach, despite the underlying assumptions, one has to mention, that the model pictures *ex ante* decisions only. The development of an integrated model considering the existing cloud computing portfolio as well as the decision on additional services obtained through the cloud might be of great significance to practitioners as well as to researchers and is subject to further research. Furthermore, the relation between the announced duration of unavailability of a cloud computing provider, e.g. derived by SLAs, and its actual duration of unavailability, should be further examined. We focus on cloud computing services, which are very likely to be infinitely divisible and deliver constant merits no matter which service provider is chosen. The further examination of such services of which some real world examples are given above, along with the examination of other services, as well as the extension of the model to consider more than two providers analytically is subject to further research. Future empirical research has to further verify the validity of our hypothesis and go beyond the simulation based evaluation, to show that the developed model produces better results than approaches applied in practice today.

### **III.5.9 References**

Amazon Web Services (2008) Amazon EC2 Service Level Agreement.  
<http://aws.amazon.com/de/ec2-sla/>

- 
- Armbrust M, Fox A, Griffith R, Joseph AD, Katz RH, Konwinski A, Lee G, Patterson DA, Stoica I (2010) A view of cloud computing. *Communications of the ACM* 53(4):50-58
- Aubert BA, Rivard S, Patry M (1996) A transaction cost approach to outsourcing behavior: Some empirical evidence. *Information & Management* 30(2):51-64
- Bahli B, Rivard S (2003) The information technology outsourcing risk: A transaction cost and agency theory-based perspective. *Journal of Information Technology* 18(3):211-221
- Bapna R, Barua A, Mani D, Mehra, A (2010) Cooperation, coordination, and governance in multisourcing: An agenda for analytical and empirical research. *Information Systems Research* 21(4):785-795
- Brodkin J (2008) Loss of customer data spurs closure of online storage service 'The Linkup' <http://www.networkworld.com/news/2008/081108-linkup-failure.html>
- Duffie D, Garleanu N (2001) Risk and Valuation of Collateralized Debt Obligations. *Financial Analysts Journal* 57:41-59
- Durkee D (2010) Why cloud computing will never be free. *Queue* 8(4):20
- ENISA (2009) Cloud Computing Risk Assessment. <http://www.enisa.europa.eu/act/rm/files/deliverables/cloud-computing-risk-assessment>
- Fitó JO, Guitart Fernández J (2012) Introducing risk management into cloud computing
- Fridgen G, Müller H (2009) Risk/Cost Valuation of Fixed Price IT Outsourcing in a Portfolio Context. *Proceedings of the 30th International Conference on Information Systems, Phoenix*
- Giesecke K (2003) A simple exponential model for dependent defaults. *Journal of Fixed Income* 13(3):74-83
- Heiser J, Nicolett M (2008) Assessing the security risks of cloud computing. Gartner Report, <http://cloud.ctrls.in/files/assessing-the-security-risks.pdf>
- Hevner AR, March ST, Park J, Ram S (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* 28(1):75-106
- IT Governance Institute (2008) IT Governance Global Status Report
- Kern T, Willcocks LP (2000) Exploring information technology outsourcing relationships: Theory and practice. *Journal of Strategic Information Systems* 9(4):321-350

- 
- Kundisch D, Meier C (2011) A new perspective on resource interactions in IT/IS project portfolio selection. Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems, Helsinki
- Lammers M (2004) Make, buy or share combining resource based view, transaction cost economics and production economies to a sourcing framework. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 46(3):204-212
- Leavitt N (2009) Is Cloud Computing Really Ready for Prime Time? Computer 42 (1):15-20
- Lee JN, Huynh MQ, Kwok RCW, Pi SM (2003) IT Outsourcing Evolution: Past, Present, and Future. Communications of the ACM 46(5):84-89
- Leimeister S, Riedl C, Böhm M, Kremar H (2010) The business perspective of cloud computing: actors, roles, and value networks. Proceedings of the 18th European Conference on Information Systems, Saint Louis
- Liang H, Huang D, Peng D (2012) On economic mobile cloud computing model. Mobile Computing, Applications, and Services: 329-341
- Malone TW, Crowston K (1990) What is coordination theory and how can it help design cooperative work systems? Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work:
- Mani D, Barua A, Whinston A (2012) An empirical analysis of the contractual and information structures of business process outsourcing relationships. Information Systems Research 23(3):618-634
- March ST, Smith GF (1995) Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems 15(4):251-266
- Marshall AW, Olkin (1967) A multivariate exponential distribution. Journal of the American Statistical Association 62(317):30-44
- Martens B, Walterbusch M, Teuteberg F (2012) Costing of Cloud Computing Services: A Total Cost of Ownership Approach. Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences, Maui
- Martens B., Teuteberg F (2011) Decision-making in cloud computing environments: A cost and risk based approach. Information Systems Frontiers 14(4):871-893

- 
- Martens B, Zarvi N, Teuteberg F, Thomas O (2011). Designing a Risk-based Partner Selection Process for Collaborative Cloud Computing Environments. Proceedings of the 4th International Workshop on Enterprise Modelling and Information Systems Architectures, Hamburg
- Miller R (2011) Outage in Dublin Knocks Amazon, Microsoft Data Centers Offline. <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2011/08/07/lightning-in-dublin-knocks-amazon-microsoft-data-centers-offline/>
- Probst F, Buhl HU (2012) Lieferantenportfolio-Management für IT-Services unter Berücksichtigung von Diversifikationseffekten. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 54(2) 69-81
- Pueschel T, Anandasivam A, Buschek S, Neumann D (2009). Making money with clouds: Revenue optimization through automated policy decisions. Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems, Verona
- Reyck BD, Grushka-Cockayne Y, Lockett M, Calderini SR, Moura M, Sloper A (2005). The impact of project portfolio management on information technology projects. International Journal of Project Management 23(7):524-537
- Talukder AK, Zimmerman L (2010) Cloud Economics: Principles, Costs, and Benefits. Computer Communications and Networks 4:343-360
- Venters W, Whitley EA (2012) A critical review of cloud computing: researching desires and realities. Journal of Information Technology 27 (3):179-197
- Wehrmann A, Heinrich B, Seifert F (2006) Quantitatives IT-Portfoliomanagement: Risiken von IT-Investitionen wertorientiert steuern. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 48(4): 234-245
- Weinhardt C, Anandasivam A, Blau B, Borissov N, Meinel T, Michalk W, Stöber J (2009) Cloud Computing – A Classification, Business Models, and Research Directions. Business & Information Systems Engineering 1(5):391-399
- Wojt A (2009) Portfolio Selection and Lower Partial Moments
- Zimmermann S, Katzmarzik A, Kundisch D (2008) IT Sourcing Portfolio Management for IT Service Providers - A Risk/Cost Perspective. Proceedings of 29th International Conference on Information Systems, Paris



Zimmermann S, Katzmarzik A, Kundisch D (2012) IT Sourcing Portfolio Management for IT Services Providers - An Approach for Using Modern Portfolio Theory to Allocate Software Development Projects to Available Sites. DATA BASE for Advances in Information Systems 43(1):24-45

---

## IV Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der Dissertationsschrift zusammengefasst und Ansatzpunkte für weiteren Forschungsbedarf aufgezeigt.

### IV.1 Fazit

Ziel dieser Dissertationsschrift ist, die Notwendigkeit nachhaltiger Entwicklung sowie das Potenzial der Wirtschaftsinformatik zur Förderung der selbigen zu illustrieren und betriebswirtschaftliche Planungs- und Bewertungsinstrumente für Green IS-Projekte unter Berücksichtigung spezifischer Risiken zu entwickeln.

- In Kapitel II wurde ein Überblick über unternehmerische Rohstoffrisiken gegeben. Dabei lag besonderer Fokus auf Rohstoffen so genannter Zukunftstechnologien, die in modernen High-Tech Produkten Einsatz finden und somit für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende kritisch sind. Wie dargestellt wurde, unterliegen Verfügbarkeit und Preis solcher Rohstoffe großen Unsicherheiten, welche Unternehmen mit vielfältigen Absicherungsmaßnahmen reduzieren können. Für deren Einsatz sind jedoch Disziplinen übergreifende Kenntnisse nötig, da Finanzinstrumente wie Optionen ebenso zur Absicherung von Rohstoffrisiken eingesetzt werden können wie die Erforschung neuer Materialien. In Kapitel II wurde deswegen ein Disziplinen übergreifender und praxisorientierter Gesamtüberblick über Rohstoffrisiken und mögliche Absicherungsmaßnahmen gegeben. Dabei wurden Risiken und Absicherungsmaßnahmen in ein Rahmenwerk aus Unternehmenssicht eingegliedert und gegenüber gestellt. Zur Veranschaulichung wurde dann der Einsatz ausgewählter Absicherungsmaßnahmen zur Behandlung exemplarischer Rohstoffrisiken näher beleuchtet und ein Vorgehensmodell entwickelt, welches ein prototypisches Vorgehen unternehmerischen Rohstoffmanagements beschreibt.
- In Kapitel III wurden Instrumente zur Planung von Green IS-Investitionen im Allgemeinen und zur Bewertung spezifischer Green IT/IS-Projekte im speziellen entwickelt. Im ersten Beitrag wurden deshalb die ökologischen und ökonomischen Potenziale von Green IS dargestellt sowie Unsicherheiten untersucht, denen Unternehmen bei der Investition in Green IS ausgesetzt sind. Um diesen Unsicherheiten entgegen zu treten wurde ein Planungsmodell vorgeschlagen, welches notwendige Schritte bei der Investitionsplanung von Green IS ablauforientiert

---

beschreibt und dabei die Besonderheiten von Green IS berücksichtigt. Dabei wurde insbesondere auch die Existenz unternehmerischer Nachhaltigkeitsstrategien diskutiert sowie deren Einfluss auf unternehmerische Zielsysteme. Die praktische Anwendung des vorgeschlagenen Planungsmodells wurde anhand eines Fallbeispiels mit ökonomischen und ökologischen Realweltdaten veranschaulicht.

Im zweiten Beitrag wurde ein Ansatz zur Nutzung von IS in Smart Grids vorgestellt, bei dem Stromanbieter und Fahrer von Elektromobilen Informationen austauschen, die somit Stromnachfrage zu flexibilisieren. Stromanbieter können so durch den Einsatz von IS zeitflexible Stromnachfrage verschieben und somit Auszahlungen für Stromproduktion vermeiden. Elektromobile dienen in diesem Zusammenhang als mobile Stromspeicher, die durch Informationsaustausch nutzbar gemacht werden. Das ökonomische Potenzial des Ansatzes wurde anhand einer umfangreichen Simulationsrechnung bestimmt. Um die Akzeptanz des vorgestellten Ansatzes zu begünstigen, wurden Anforderungen aufgestellt, die ein Anreizsystem für Kunden im Sinne eines Preismechanismus erfüllen muss.

Im dritten Beitrag aus Kapitel III wurde ein ökonomisches Modell entwickelt, welches die Bewertung des Einsatzes von Green IS in Immobilien in so genannten Intelligent Houses unterstützen soll. Dazu werden zunächst alle Investitionsmöglichkeiten identifiziert, die nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch vorteilhaft sind. Unter der besonderen Berücksichtigung der risikoreduzierenden Wirkung dieser Investitionsart kann die dabei entstehende Anzahl an verbleibenden Investitionsmöglichkeiten vergrößert werden. Investitionen in Intelligent Houses wirken also wie eine Versicherung gegen Energiepreisschwankungen. Um Handlungsempfehlungen für Entscheider abzuleiten, wurde mit Hilfe der Entwicklung eines ökonomischen Optimierungsmodells die optimale Investitionshöhe in Intelligent Houses bestimmt. Bei Berücksichtigung der Versicherungswirkung ist diese höher als bei konventionellen Bewertungsverfahren, die Auswirkungen auf das Risiko ignorieren.

Der vierte Beitrag erweiterte die Investitionsbewertung in Immobilien auf Immobilienportfolios. Im vorgeschlagenen quantitativen Modell werden dazu die bewertungsrelevanten Abhängigkeiten zwischen den Energiepreisen verschiedener Energieträger berücksichtigt. Diese können sich wie der Versicherungseffekt in bestimmten Fällen ebenso risikoreduzierend auf die gesamten Energiekosten

auswirken. Die ökonomische Analyse zeigt, dass die Berücksichtigung der risikoreduzierenden Wirkung des Versicherungseffekts unter den genannten Annahmen in vielen Fällen einen weiteren Anstieg der optimalen Investitionshöhe mit sich bringt. Somit kann sich eine integrierte Ertrags-/Risikobetrachtung auf zweifache Weise positiv auf die Zahlungsbereitschaft von Immobilieneigentümer und Mietern für energieeffizienzsteigernde Maßnahmen auswirken. Der vorherrschenden strukturellen Unterinvestition könnte durch die Anwendung des vorgeschlagenen Modells entgegen gewirkt werden.

Im fünften Beitrag wurde ein ökonomisches Modell zur Investitionsbewertung in Cloud Computing entwickelt. Unternehmen sind gegenwärtig nur begrenzt dazu in der Lage, die Risiken von Cloud Computing quantitativ zu messen und Anbieter zu bewerten. Dabei ist insbesondere das bei Cloud Computing Anbietern vorherrschende Ausfallrisiko relevant, welches bei Unternehmen zu gravierenden Produktivitätsverlusten führen kann. Existierende Bewertungsinstrumente behandeln das Ausfallrisiko von Cloud Anbietern und die dadurch begründete spezifische Risikostruktur zumeist nicht oder nur rudimentär. Durch die Anwendung des vorgestellten Modells soll Unternehmen deshalb ein methodisch fundierter Ansatz zur Verfügung gestellt werden, der die Anbietersauswahl von Cloud Services unter Berücksichtigung von Ertrag und Risiko erleichtert und somit das ökonomische und ökologische Potenzial von Cloud Computing nutzbar macht.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die vorliegende Dissertationsschrift Potenziale zur Vereinbarkeit von Ökonomie und Ökologie anhand mehrerer ausgewählter Green IT/IS-Anwendungsbereiche untersucht, wobei die Schöpfung des Potenzials der Wirtschaftsinformatik nicht nur von der Güte der eingesetzten Planungs- und Bewertungsinstrumente abhängig ist, sondern letztendlich von der Qualität des entsprechenden Investitionsobjekts. Darüber hinaus gibt es noch weitere Herausforderungen, die es künftig zu meistern gilt.

## **IV.2 Ausblick**

Die untersuchten Themenbereiche dieser Dissertationsschrift bilden die Grundlage für eine Reihe weiterführender Fragestellungen, die Ansatzpunkte für zukünftigen Forschungsbedarf darstellen:

- 
- Im Bereich des in Kapitel II vorgestellten Überblicks über unternehmerische Rohstoffrisiken gibt es u. a. hinsichtlich der folgenden Punkte Forschungsbedarf:
    1. Die Absicherung von Rohstoffrisiken wird Unternehmen auch zukünftig vor große Herausforderungen stellen. Die methodische Unterstützung der Orchestrierung von technischen und ökonomischen Absicherungsinstrumenten unter Berücksichtigung möglicher wechselseitiger Abhängigkeiten kann deshalb Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten sein.
    2. Durch den Disziplinen übergreifenden Charakter unternehmerischen Rohstoffmanagements müssen sich Organisationen weiterentwickeln, um unternehmensbereichsübergreifende Lösungen zu erarbeiten. Die dafür notwendige Änderung bestehender Prozesse, hierarchischer Strukturen und vorherrschender Handlungsmuster sollte deshalb durch weitere Forschung untersucht werden. Dazu dienlich können auch Methoden und Instrumente der Wirtschaftsinformatik sein, die ihrem Anspruch als zentrales Nervensystem einer Organisation auch im Rohstoffmanagement gerecht werden sollte.
  - Im Bereich der in Kapitel III behandelten Planungs- und Bewertungsmodelle von Green IT/IS-Investitionen gibt es u.a. weiteren Forschungsbedarf in den folgenden Punkten:
    1. Das in Beitrag B2 vorgestellte Planungsmodell für Green IS-Investitionen ist generisch und muss auf spezifische Investitionstypen angepasst werden. Dabei sollten insbesondere unterschiedliche Interessen von Stakeholdern und daraus entstehende Zielkonflikte untersucht und Anreizsysteme erarbeitet werden.
    2. Die Bewertung des ökonomischen Potenzials des in Beitrag B3 vorgestellten Advanced Metering Ansatzes zur Stromnachfrageflexibilisierung bei Elektromobilen basiert auf einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung. Marktbasierte Möglichkeiten von Energieunternehmen oder Intermediären Stromüberkapazitäten abzubauen, wie bspw. Handel an der Börse, sollten in einer weiteren Betrachtung in die Analyse einbezogen werden.
    3. Die Möglichkeit von Nutzern, Ladevorgänge von Elektromobilen zu jeder Zeit abzurechnen, wird im Beitrag ebenso außer Acht gelassen wie die batteriespezifisch unterschiedlichen und meist konkaven Ladeverläufe von Batterien. Erweiterungen des verwendeten Simulationsansatzes unter Berücksichtigung dieser Faktoren könnten die Exaktheit der Ergebnisse deshalb verbessern.

4. Die Bereitschaft von Kunden, Informationen über ihr Fahrverhalten wahrheitsgemäß anzugeben, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, bspw. Datenschutz oder Bedienungsfreundlichkeit eines Advanced Meters. Der Zusammenhang zwischen Anreizzahlung und daraus entstehender Bereitschaft zur Informationsweitergabe sollte deswegen untersucht werden, bspw. durch behavioristische Forschungsansätze. Die vorgestellten Anforderungen an ein Anreizsystem können dabei als Grundlage dienen.
5. In den Beiträgen B4 und B5 wird das Mieter-Vermieter-Dilemma als mögliches Investitionshemmnis vorgestellt. Dessen Auflösung sollte unter Ertrags-/Risikoaspekten und unter Berücksichtigung von nationalen Gesetzgebungen untersucht werden. Weiterhin sollten die unterschiedlichen Wirkungen von verschiedenen Investitionstypen im Optimierungsmodell berücksichtigt werden und vereinfachende Annahmen wie der mit der Investitionshöhe linear abnehmende Energiebedarf von Immobilien realitätsnäher im Modell abgebildet werden.
6. Das im Beitrag B6 vorgeschlagene Bewertungsmodell für Cloud Computing fokussiert auf eine bestimmte Art von Services, nämlich austauschbare Services, die unabhängig voneinander von verschiedenen Anbietern erbracht werden können und deren kurzfristiger Ausfall keine Beeinträchtigung der Geschäftstätigkeit des Kunden mit sich bringt. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten die Bewertung deshalb auf andere Servicemodelle ausdehnen und deren Spezifika abbilden.
7. Die praktische Anwendbarkeit des vorgeschlagenen Modells mit mehr als den in Beitrag B6 betrachteten zwei Service-Anbietern sowie die Modellevaluierung mit realen Daten sollte ebenfalls Gegenstand künftiger Forschungsaktivitäten sein.
8. Die Ergebnisse aller vorgestellten Beiträge sollten erweitert und dazu genutzt werden, um konkrete Handlungsempfehlungen für Gesetzgeber abzuleiten, auf Basis derer Rahmenbedingungen für Unternehmen geschaffen werden können, die die Umsetzung nachhaltiger Entwicklung begünstigen.

In dieser Dissertationsschrift wurde der Beitrag der Wirtschaftsinformatik zur Vereinbarung von Ökonomie und Ökologie diskutiert. Dabei konnten nur ausgewählte Aspekte herausgegriffen und vertiefend untersucht werden. Künftig gilt es, das Potenzial der Wirtschaftsinformatik für nachhaltige Entwicklung weiter zu untersuchen und durch die Entwicklung weiterer Geschäftsmodelle und zugehöriger Planungs- und Bewertungsmodelle nutzbar zu machen.