

Softwareprototypen als Beitrag zur Entscheidungsunterstützung in Energiewirtschaft, Hochschulinstiuten und Prognoseanwendungen

Von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Wirtschaftswissenschaften
— Doctor rerum politicarum —

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Math. Cornelius Köpp
geboren am 09.06.1984 in Hannover

2017

Erstgutachter: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Zweitgutachter: Prof. Dr. J.-Matthias Graf von der Schulenburg

Tag der Promotion: 14.04.2016

Danksagung

Zunächst möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Michael H. Breitner dafür danken, dass er mich im Rahmen meiner mündlichen Diplomprüfung als Doktorand angeworben hat. Dies hat mir die Möglichkeit verschafft, meine zuvor eher technisch geprägte Perspektive um die – in der Realität gleichermaßen wichtigen – ökonomischen Aspekte zu erweitern, was ich als große persönliche Bereicherung empfinde. Prof. Dr. J.-Matthias Graf von der Schulenburg möchte ich für seine Rolle als Zweitgutachter dieser Arbeit danken.

Meinem langjährigen „Büromitbewohner“ Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim danke für die angenehme und produktive gemeinsame Arbeit sowie viele interessante Diskussionen. Danken möchte ich den noch nicht genannten Co-Autoren der entstandenen Veröffentlichungen: Dr. Nadine Guhr, Dr. Philipp Maske, Dipl.-Ök. Britta Ebeling, Dr. Marc Klages, Dipl.-Ök. Rouven Wiegard, Dr. Claudia M. König, Marius Hilleke, M.Sc. und Matthias Maske, M.Sc. Weiterer Dank gilt den anderen ehemaligen Kollegen, die dazu beigetragen haben, dass ich mich gerne an meine Zeit am IWI zurückerinnere: Dr. Günter Wohlers, Dipl.-Ök. Lubov Kosch, Dr. Karsten Sohns, Nicole Brand. Dieses Auflistung soll keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Dipl. Ing. Wolfram Schumacher, Ulrike Polzin und Sarai Kölle von PSI Energy Markets danke ich für die gute Zusammenarbeit im SmartWatts Projekt.

Michael Nickles – als Co-Autor verschiedener Artikel außerhalb des wissenschaftlichen Bereiches – danke ich dafür, dass er meinen Blick für sprachliche Feinheiten geschärft hat. Dipl.-Math. Meike Struck danke ich für die gelegentliche Erinnerung daran, auch mal abzuschalten und für Erholung zu sorgen.

Abschließend möchte ich noch meinen Eltern und meinem Bruder danken für vielfältige indirekte Unterstützung und Verständnis.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Kurzfassung	12
Abstrakt/Kurzfassung	13
Abstract (English)	14
1. Management Summary	15
2. Gesamtsicht der Publikationen	24
3. Einführung	29
3.1. Motivation, Problemstellung, Fragen	30
3.2. Methodisches Vorgehen: Design Science Research	33
3.3. Künstliche Neuronale Netze	40
3.4. Aufbau der Arbeit	47
4. Lastmanagement in Stromnetzen	49
4.1. Einführung	50
4.2. Grundlagen	51
4.3. Forschungsdesign	52

INHALTSVERZEICHNIS

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	54
4.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick	56
4.6. Einordnung der Publikation	58
5. Dezentrales Management von Forschungsressourcen	60
5.1. Einführung	61
5.2. Grundlagen	62
5.3. Forschungsdesign	63
5.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	64
5.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick	66
5.6. Einordnung der Publikation	67
6. Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten	69
6.1. Einführung	70
6.2. Grundlagen	71
6.3. Forschungsdesign	72
6.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	73
6.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick	75
6.6. Einordnung der Publikation	76
7. Kritische Würdigung und Ausblick	78
Literaturverzeichnis	87
A. Publikationen	105
A.1. Microlearning mit UbiLearn	106
A.2. Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast	107
A.3. Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbil- dung: Mit Wissenshappchen zum Lernen verführen	109
A.4. Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Ser- vices	110
A.5. Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices	111

INHALTSVERZEICHNIS

A.6. Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles	112
A.7. Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk: Ausgleich von Prognosefehlern volatiler regenerativer Erzeuger	113
A.8. Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten	115
A.9. Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungs- unterstützungssystem für Portfoliobetreiber	117
A.10. Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators	119
A.11. Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application	121
A.12. Near Term Investment Decision Support for Currency Options .	123
A.13. Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to His- torical Consistent Neural Network and other Forecasts	125
A.14. Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschritt- tigen Ensembledaten: Eine Anwendung von Unsicherheitsmodel- lierung für Historical Consistent Neural Network und andere Prognosetechniken	127

Abbildungsverzeichnis

1.1. SimuOne (Simulation intelligenter Verbraucher) und SimuTwo (Simulation von BHKWs)	17
1.2. Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems	18
1.3. FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern	19
1.4. Mittelwert/Median (links), Einzelprognosen (mitte) und Heatmap-Darstellung (rechts) einer Ensembleprognose	21
1.5. VisuOne	22
3.1. Umsetzungen von Design Science Research nach Hevner et al. (2004)	34
3.2. Typische KNN-Konfigurationen mit FAUN: 3-lagige Perceptrons (Eingabe-Schicht, eine verdeckte Schicht, Ausgabeschicht; ohne/mit Shortcuts (links/rechts) (König et al., 2005, S. 10)	41
3.3. Verfügbare Daten zur Ermittlung des nächsten Preissignals (Köpp et al., 2014c)	45
4.1. Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems mit Design Science Research nach Hevner et al. (2004, S. 83)	53
4.2. Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems	54
4.3. Screenshot von SimuOne mit simulierten Warmwasserboilern mit großem Speicher: Preissignale (oben) führen beispielhaft zu einem beeinflussten Lastgang (mitte) und den Ausführungszeiten einzelner Geräte (unten)	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

4.4. Screenshot der BHKW-Simulation SimuTwo: Erzeugung einer (fast) kontinuierlichen Lastkurve (unten) durch gezieltes Schalten einzelner BHKW (oben). Die mittlere Kurve gibt die Speichertemperatur der BHKW wieder	56
5.1. Forschungsdesign (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013)	63
5.2. FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern	64
5.3. Zugrundeliegendes Datenmodell von FACTUM	65
6.1. Forschungsdesign inspiriert durch Hevner et al. (2004, S. 83) . .	72
6.2. Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten	74

Tabellenverzeichnis

1.1. Anforderungsabdeckung FACTUM; Zusammenfassung von (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013)	20
2.1. Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 1/2	27
2.2. Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 2/2	28
3.1. Zielpublikum bei Veröffentlichung von Design Science Forschungsergebnissen; Eigene Darstellung basierend auf Beschreibung von (Hevner et al., 2004, S. 82)	39
3.2. Struktur der Arbeit	47
4.1. Literaturübersicht zum Energiemanagement	51

Abkürzungsverzeichnis

AS	Anwendungssystem
BHKW	Blockheizkraftwerk
CRIS	Current Research Information System
DSM	Demand Side Management
DSS	Decision Support System
ECIS	European Conference on Information Systems
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEX	European Energy Exchange
EVU	Energieversorgungsunternehmen
ERP	Enterprise Ressource Planning
FACTUM	Finance Allocation and Cockpit Tool for University Management
FAUN	Fast Approximation with Universal Neural Networks
HCNN	Historical Consistent Neural Network
ICIS	International Conference on Information Systems
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

Abkürzungsverzeichnis

IKS	Informations- und Kommunikationssystem
IS	Information Systems
IZMP	Institut für Zell- und Molekularpathologie
KNN	Künstliche Neuronale Netze
MHH	Medizinische Hochschule Hannover
M-Learning	Mobile Learning
OR	Operations Research
PoFo	Portfolio
PVA	Photovoltaikanlage
RTP	Real-Time-Pricing
SQP	Sequential-Quadratic-Programming
TAM	Technology Acceptance Model
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
V2G	Vehicle 2 Grid
VBA	Visual Basic for Applications
VKW	Virtuelles Kraftwerk
VNB	Verteilnetzbetreiber
WI	Wirtschaftsinformatik
WKA	Windkraftanlage

Kurzfassung

Abstrakt/Kurzfassung

Softwareunterstützung ist vielfach zu einem zentralen Bestandteil ökonomischen Handelns geworden. Geeignete Anwendungen erleichtern Arbeitsprozesse durch Aggregation von Daten oder anderen Formen der Automatisierung und unterstützen oder verbessern gar Entscheidungen durch eine optimierte Aufbereitung vorhandener Daten. Einige Geschäfts- oder Marktmodelle wären ohne einen Softwareeinsatz an zentraler Stelle überhaupt nicht realisierbar. In den Bereichen Energiewirtschaft, Hochschul-IT und Prognoseanwendungen werden Lücken in Forschung und Praxis aufgezeigt und Konzepte entwickelt, um diese zu schließen. Die praktische Realisierbarkeit der Konzepte wird durch Implementierung in Softwareprototypen demonstriert. Das Vorgehen folgt methodisch dem Pfad der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatikforschung und setzt ein Design Science Research Forschungsdesign um. Der Stand der Forschung wird berücksichtigt und die Forschungsergebnisse wurden durch Zeitschriften- und Konferenzbeiträge der Fachöffentlichkeit kommuniziert. Durch Zusammenarbeit mit einem Industriepartner im Rahmen des SmartWatts Energieforschungsprojektes, der engen Abstimmung mit Anwendern und einer unabhängigen Nachimplementierung des vorgestellten Visualisierungsverfahrens in einem Industrieunternehmen wird ein aktiver Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis realisiert sowie auch die praxisnahe Relevanz deutlich.

Keywords: Wirtschaftsinformatik, Softwareartefakt, Design Science Research, Energieinformatik, Erneuerbare Energien, Entscheidungsunterstützungssysteme, Prognoseverfahren, Visual Analytics, Künstliche Neuronale Netze (KNN), Hochschul-IT

Abstract (English)

Assistance by software has become a central component of economic acting in many cases. Suitable applications make work processes easier with aggregating information or other forms of automation and decisions can be supported or even improved using an optimized processing of existing data. Some business and market models would not be possible without software as a centerpiece. Gaps in research and practice within the areas of the energy sector, university-IT and forecasting applications are presented, and concepts were developed to close these gaps. The feasibility of the concepts is demonstrated by the implementation as software prototypes. The methodical approach follows the path of design-oriented research in the German information system research („Wirtschaftsinformatikforschung“) and implements a design science research design. The state of research is taken into account and the results of research were communicated to the scientific community by publication as journal articles and in conference proceedings. By collaboration with an industrial partner in the SmartWatts energy research project and close coordination with users an active exchange between science and practice is realized. An independent implementation of the presented visualization method also shows the practical relevance of the research.

Keywords: Business Information Science / IS, Softwareartifact, Design Science Research, Energy Informatics, Renewable Energies, Decision Support Systems (DSS), Forecast Methods, Visual Analytics, Artificial Neural Networks (ANN), University-IT

Kapitel 1.

Management Summary

Entscheidungen werden auf Basis von Erfahrungen und Informationen getroffen. Die effiziente Bereitstellung von Informationen in geeigneter Form ist eine wichtige Unterstützung für Entscheidungsträger. Software kann dabei helfen, die relevanten Informationen zu liefern, oder ist sogar die einzige Möglichkeit sie zu erhalten.

Unverarbeitete komplexe Rohdaten überfordern Entscheider oft bereits schon vom Volumen her. Gerade bei zeitkritischen Entscheidungen ist daher eine optimierte Datenverarbeitung erforderlich, damit die Informationen überhaupt in den Entscheidungsprozess einfließen können. Dies gilt insbesondere auch für Daten, die nicht-lineare Zusammenhänge abbilden, da Menschen diese nur schwer erfassen können. So ist zum Beispiel leicht nachvollziehbar, dass bestimmte Steuerungssignale eine bestimmte Wirkung erzielen. Die umgekehrte Richtung ist jedoch nicht offensichtlich erkennbar, so dass ein menschlicher Entscheider ohne technische Unterstützung nicht in der Lage ist, Steuerungssignale zu definieren, um gezielt eine gewünschte Wirkung zu realisieren.

Allgemeine Verwaltungsvorgänge und Ressourcenverwaltung können ohne spezielle IT-Unterstützung oder sogar gänzlich ohne IT-Unterstützung durchgeführt werden. Dies ist jedoch mit sehr hohem Zeitaufwand verbunden und zudem fehlerträchtig. Durch speziell angepasste Software können solche Prozesse signifikant erleichtert werden und Fehler, die bei manueller Datenverarbeitung mit Medienbrüchen entstehen, reduziert oder gar vermieden werden. Zudem kann Vollständigkeit und Konsistenz der Daten kontinuierlich geprüft und überwacht werden. Mit der Möglichkeit zum einfachen Vergleich von verschie-

denen alternativen Szenarien kann auch Entscheidungsfindung unterstützt und verbessert werden.

Vielfach stehen heute große Datenmengen bereit oder werden generiert. Eine unverarbeitete tabellarische rein numerische Ausgabe stößt schnell an Grenzen beim Platzbedarf zur Darstellung und der Aufnahmefähigkeit des menschlichen Nutzers. Daher ist eine Zusammenfassung der Daten auf einen vom Menschen beherrschbaren Umfang erforderlich. Bei geeigneter Aufbereitung kann Software dabei helfen, einen Überblick über sehr große Datenmengen zu schaffen. Kombinierte Verfahren zur Aggregation und Visualisierung von Daten nutzen die menschliche Fähigkeit zur optischen Mustererkennung aus und reduzieren den Informationsverlust, der sich durch eine numerische Zusammenfassung ergibt.

Es werden Forschungsbeiträge präsentiert, in denen neu entwickelte Konzepte zur Entscheidungsunterstützung als Softwareartefakte umgesetzt wurden, um Lösungsansätze und Antworten zum Füllen von bestehenden Forschungslücken in den nachfolgenden Bereichen zu liefern:

Energiewirtschaft: Lastmanagement in Stromnetzen Steuerungsmöglichkeiten zum Ausgleich von Stromerzeugung und -verbrauch unter Berücksichtigung eines steigenden Anteils von regenerativen Energien

Hochschul institute: Dezentrales Management von Forschungsressourcen Verwaltung von Forschungsressourcen zur richtlinienkonformen Verwendung in drittmittelfinanzierten Projekten

Prognoseanwendungen: Decision Analytics with Heatmap Visualization Visualisierung von Zeitreihenprognosen mit Erhalt der Verteilungsinformationen des zugrunde liegenden Prognose-Ensembles

Lastmanagement in Stromnetzen

Der gesellschaftliche und politisch gewünschte Umstieg zu umweltfreundlichen Energiequellen zieht Veränderungen in der Energiewirtschaft nach sich. Anders als konventionelle Kraftwerke sind Windkraftanlagen (WKA) und Photovoltaikanlagen (PVA) nicht – oder nur eingeschränkt mit hoher Ungenauigkeit – langfristig planbar. Für eine stabile Stromversorgung ist es unerlässlich, dass Erzeugungs- und Verbrauchsmenge zu jedem Zeitpunkt gleich sind. Um dies zu gewährleisten muss ggf. auf teure Regelenergie zurückgegriffen werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes SmartWatts wurden „Smart Grid“-Konzepte für das Modellszenario 2020 untersucht. Aus den Problemstellungen im Projekt und einer Literaturrecherche wurden Forschungslücken herausgearbeitet.

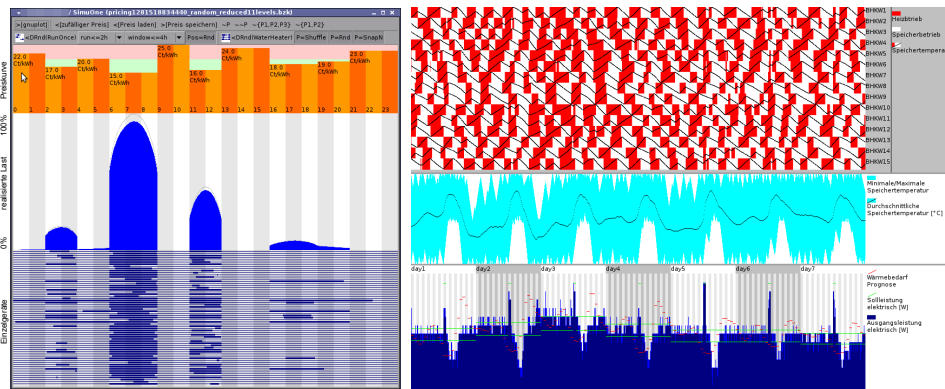


Abbildung 1.1.: SimuOne (Simulation intelligenter Verbraucher) und SimuTwo (Simulation von BHKWs)

Durch Verbraucherbeeinflussung und Zusammenfassung von WKAs, PVAs und Blockheizkraftwerken (BHKWs) zu Virtuellen Kraftwerken (VKWs) ergeben sich neue Möglichkeiten, um – durch kurzfristige Steuerung – den Unterschied zwischen produzierter und benötigter Menge zu reduzieren. Es wurden Softwareartefakte erstellt, die die Reaktion von intelligenten Haushaltsgeräten auf variable Strompreise (Abbildung 1.1 links) sowie eine BHKW-Steuerung zur Realisierung eines Lastgangs unter Berücksichtigung von thermischen Randbedingungen und Wärmebedarfsprognosen (Abbildung 1.1 rechts) simulieren. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Simulationen wurde für die Verbrauchssteuerung ein Verfahren entwickelt, das Preissignale

zur Realisierung eines vorgegebenen Differenzlastgangs liefert. Hierzu werden Künstliche Neuronale Netze (KNN) auf den Zusammenhang von Preissignalen und den daraus resultierenden Lastgängen trainiert und können anschließend in umgekehrter Richtung ein Preissignal zu einem vorgesehenen Differenzlastgang erzeugen. Das Verfahren wurde zunächst in Simulationen sowie später in einem Feldversuch mit 250 Haushalten getestet und dazu in ein prototypisches Energiemanagementsystem integriert. Das Verfahren zur Laststeuerung benötigt keinen Rückkanal der einzelnen Haushalte, sondern arbeitet mit dem aggregierten Lastverhalten der Haushalte. Damit ist es kostensparend und besonders datenschutzfreundlich.

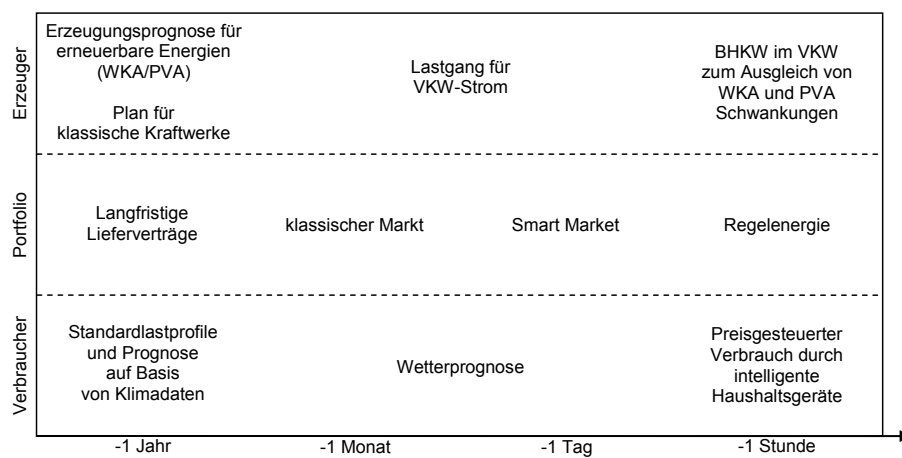


Abbildung 1.2.: Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems

Die vorgestellten Ansätze schaffen zusätzliche kurzfristige Steuerungs- und Entscheidungsmöglichkeiten für Energiemanagementsysteme (Abbildung 1.2) und liefern damit einen Beitrag zum Umgang mit den zukünftigen Anforderungen durch einen steigenden Anteil von volatilen regenerativen Erzeugern. Durch die Integration der Konzepte in ein prototypisches Energiemanagementsystem im Rahmen eines Feldversuchs wurde die Umsetzbarkeit demonstriert.

Die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse als Zeitschriftenbeitrag in *Wirtschaftsinformatik* (Köpp et al., 2013a) bzw. in *Business & Information Systems Engineering (BISE)* (Köpp et al., 2013b) bestätigt durch eine unabhängige Überprüfung die wissenschaftliche Qualität der Forschungsarbeit.

Dezentrales Management von Forschungsressourcen

Ein seit Jahren steigender Anteil von drittmittelfinanzierten Forschungsprojekten sorgt für einen steigenden institutsinternen Verwaltungsaufwand. Entsprechend der Vorgaben der Förderer können die Mittel für Personal, Reisen, Sachausgaben und sonstigen Investitionen nur innerhalb definierter Zeiträume genutzt werden. Abweichungen sollen möglichst vermieden werden, weil verfügbare Mittel bei Nichtnutzung verloren gehen und eine Überschreitung der Mittel dazu führt, dass Kosten durch andere knappe ungebundene Mittel gedeckt werden müssen. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass Mitarbeiter unterbrechungsfrei finanziert sind, um deren Kompetenz langfristig auch für zukünftige Forschungsprojekte zu erhalten.

Beginn	Ende	Nachname	Vorname	Personal-Nr.	Anmerkungen	Projekt 1		Projekt 2		Normkosten	Realkosten	
Monat	Status	Tarifgruppe	Stellenanteil [0,1]	Budget [0,1]	LOM [0,1]	Fond	Anteil	Realkosten	Fond	Anteil	Realkosten	
2011-11	aktiv	HRWI	0.5	0.5							703.79 €	0.00 €
2011-12	aktiv	HRWI	0.5	0.5							703.79 €	0.00 €
2012-01	aktiv	A11	0.5			98765	0.5	2,448.17 €			2,479.00 €	2,448.17 €
2012-02	aktiv	A12	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-03	aktiv	A13	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-04	aktiv	A14	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-05	aktiv	A15	1	0.25	0.25	98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-06	aktiv	A16	1	0.1	0.4	98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-07	aktiv	AZUBI	1			98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-08	aktiv	HRWI	1			98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-09	aktiv	3	1			98765	0.5	2,448.17 €	100	0.5	2,448.17 €	4,896.34 €
2012-10	aktiv	3	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €	100	0.5	2,448.17 €	3,966.40 €
2012-11	inaktiv	3	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €	98765	0.5	2,448.17 €	3,966.40 €
2012-12	aktiv	E13	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €			3,966.40 €	2,448.17 €
2013-01	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-02	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-03	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-04	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-05	aktiv	E14	1	0.3	0.2	100	0.5	3,317.48 €			6,601.00 €	3,317.48 €
2013-06	aktiv	E14	1	0.3	0.2	100	0.5	3,317.48 €			6,601.00 €	3,317.48 €

Abbildung 1.3.: FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern

So lange nicht alle für diese Planung notwendigen Daten zentral von den Hochschul-IT-Systemen bereitgestellt werden können, sorgt dieses für einen hohen manuellen Aufwand. Die von der zentralen Hochschulverwaltung betriebenen Systeme bieten jedoch nur eine ungenügende Unterstützung für die Belange auf Institutsebene. Dadurch entstehen häufig Schattensysteme außerhalb der zentral geplanten Hochschul-IT. Mit FACTUM (Abbildung 1.3) wurde im Rahmen einer Fallstudie beispielhaft ein solches Schattensystem umgesetzt. Die Implementierung erfolgte in Excel/VBA als typische Technologiebasis von

Kapitel 1. Management Summary

vielen durch Endnutzer selbst entwickelte Lösungen, die den Einsatz ohne Unterstützung der zentralen IT ermöglicht. Die Realisierung erfolgte über einen Zeitraum von zwei Jahren auf Basis allgemeiner Anforderungen an Deutschen Hochschulen und spezieller Anforderungen des beteiligten externen Hochschul-instituts, in dem FACTUM nach Abschluss der Entwicklung eingesetzt wurde.

Tabelle 1.1.: Anforderungsabdeckung FACTUM; Zusammenfassung von (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013)

Anforderung		FACTUM / Kommentar
Integrierte Softwarelösung	⊕	Datenimport aus SAP, kein Export in zentrale Systeme
Einheitliches Datenmodell	⊕	Zentrale Erfassung und Konsistenzprüfung
Prozess- & Workflow-Orientierung	⊕	Abbildung interner Prozesse und Workflows
Intuitive Benutzerführung	⊕	Excel-Ribbon, Tooltips
Multiprojektunterstützung	⊕⊕	Einzel- und Gesamtdarstellung
Echtzeitinformationen	⊙	Manuelles Update und Verfügbarkeit in offiziellen Systemen erforderlich
Prognose-Funktionen	⊕	Keine Berechnung von Realkosten möglich
Richtlinien-Überwachung	⊕	Warnung bei Umverteilung; Keine Modellierung von Richtlinien
Termin-Überwachung	⊕	Erinnerungsfunktion, ohne Kalender-Sync
Automatische Berichtgenerierung	⊕	eMail-Versand inoffizieller Projektberichte
Entscheidungsunterstützung	⊕⊕	Darstellung Historie, Aktuell und Prognose
Kennzahlenüberwachung	⊕⊕	Übersicht durch Ampel-System
Datenschutz	⊖⊖	Keinen abgestuften Berechtigungen möglich

Neben der Umsetzung als Softwareartefakt wurde in der Fallstudie untersucht, inwieweit durch dessen Einsatz die zuvor formulierten Anforderungen abgedeckt werden können. In Tabelle 1.1 sind die (signifikanten) Verbesserungen (⊕)⊕ zusammengefasst. Es zeigt sich jedoch auch, dass durch die Grenzen von Schattensystemen nicht alle Anforderungen optimal abgedeckt werden. Insgesamt bietet der Einsatz entsprechender Schattensysteme jedoch einen attraktiven Mehrwert für die User, so lange durch die zentralen IT-Systeme keine Alternativen angeboten werden.

Die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse als Konferenzbeitrag im Tagungsband der *Wirtschaftsinformatik* (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) bestätigt durch eine unabhängige Überprüfung die wissenschaftliche Qualität der Arbeit.

Decision Analytics with Heatmap Visualization

Prognosen sind eine zentrale Komponente in vielen ökonomischen Entscheidungsprozessen. So ist zum Beispiel die Preisentwicklung von Energieträgern oder auch allgemein von Rohstoffen eine sehr wichtige Information für Beschaffungsvorgänge. Schon durch geringfügige Verbesserungen von Prognosen kann ein signifikanter Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Marktteilnehmern entstehen.

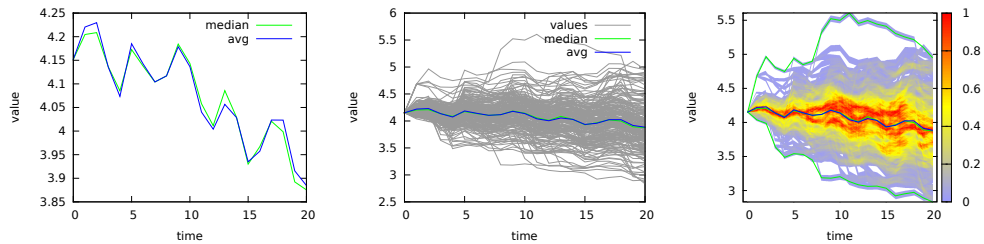


Abbildung 1.4.: Mittelwert/Median (links), Einzelprognosen (mitte) und Heatmap-Darstellung (rechts) einer Ensembleprognose

Ensembleprognosen sind ein in der Praxis etabliertes Verfahren zur Verbesserung der Prognosegüte, da Fehler in Einzelprognosen durch andere Ensemblemitglieder ausgeglichen werden können. In den meisten Fällen werden die Einzelprognosen zum Mittelwert oder Median aggregiert (Abbildung 1.4 links). Solche Ensembleprognosen können unter anderem durch den Einsatz von Historical Consistent Neural Networks (HCNNs) erzeugt werden und dabei mehrere hundert Ensemblemitglieder enthalten. Eine einfache gemeinsame Linien-Plot-Darstellung aller Einzelprognosen liefert bei dieser Anzahl kaum zusätzliche Informationen, da die Linien sich stark überlappen und zu einer homogenen Fläche verschmelzen (Abbildung 1.4 mitte).

Es wurde ein mathematisches Verfahren entwickelt, das alle Einzelprognosen des Ensembles durch eine Faltungsoperation – und durch eine optionale zeitliche lineare Interpolation – zu einer Heatmap zusammenfasst (Abbildung 1.4 rechts). In der Heatmap-Darstellung wird die Struktur des Ensembles sichtbar, insbesondere Bereiche in denen sich viele Einzelprognosen konzentrieren. Dadurch liefert die Heatmap eine Information über die zu erwartende Prognosesicherheit: wenn eine Mehrheit der Ensemblemitglieder im selben Wertebereich

reich liegt ist eine höhere Genauigkeit zu erwarten, als wenn eine Aufspaltung in unterschiedliche sich widersprechende Pfade erfolgt. Durch die Heatmap-Darstellung ergibt sich somit eine Erweiterung des Prognoseergebnisses um den Zustand „das Modell ist sich nicht sicher“, während die Aggregation auf einen einzelnen Wert hier ein falsches Ergebnis liefern würde, das durch keines oder nur eine Minderheit der Ensemblemitglieder gestützt ist.

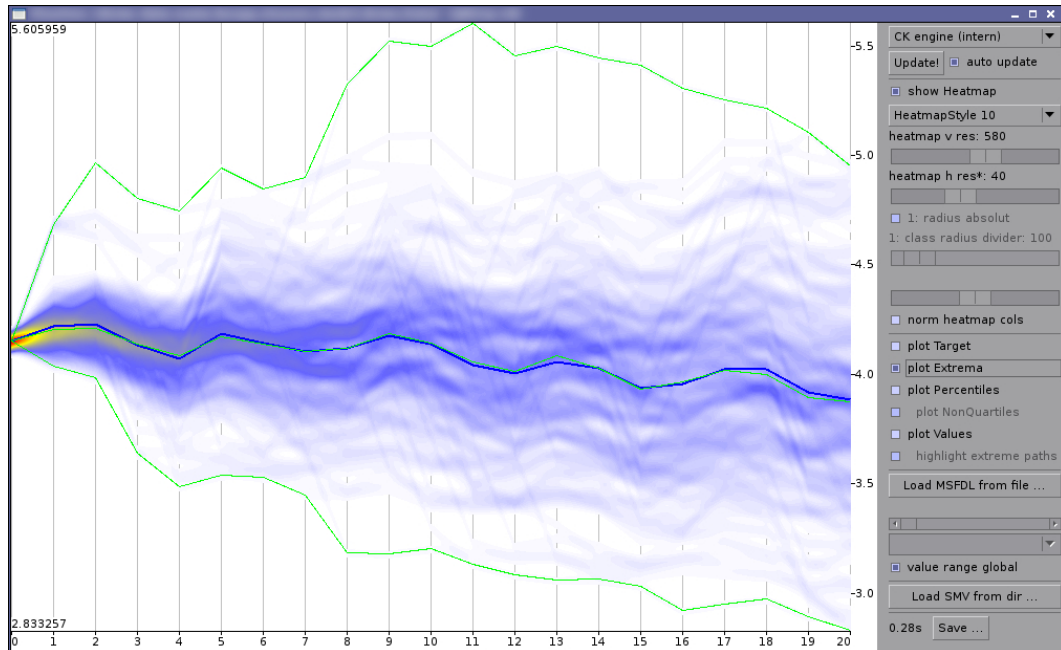


Abbildung 1.5.: VisuOne

Das Verfahren wurde in einem Softwareartefakt (siehe Abbildung 1.5) mit interaktiver Benutzeroberfläche implementiert. Durch optimierte und parallelierte Algorithmen können hochauflösende Heatmaps in einer Geschwindigkeit generiert werden, die auch den Einsatz in Live-Trading-Anwendungen erlauben würde.

Die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse als Zeitschriftenbeitrag in *Wirtschaftsinformatik* (Köpp et al., 2014a) bzw. in *Business & Information Systems Engineering (BISE)* (Köpp et al., 2014b) bestätigt durch eine unabhängige Überprüfung die wissenschaftliche Qualität der Arbeit. Die praktische Relevanz zeigt sich durch eine unabhängige Nachimplementierung des Verfahrens in einem internationalen Unternehmen.

Wissenschaftlicher Beitrag

Die vorgestellten Forschungsarbeiten behandeln relevante Themen aus Wissenschaft und Praxis. Die Beiträge schließen Forschungslücken und geben erste Teilantworten auf nachfolgende Fragen:

Lastmanagement in Stromnetzen: *„Welche derzeitigen und zusätzlichen Entscheidungsoptionen hat ein Portfoliobetreiber unter kombinierter Betrachtung von Erzeuger- und Verbraucherseite?“*

Dezentrales Management von Forschungsressourcen: *„Wie kann das Forschungsressourcenmanagement an deutschen Hochschulen durch den Einsatz einer spezialisierten IT-Lösung verbessert werden?“*

Decision Analytics with Heatmap Visualization: *„Wie können wir die vollständigen Prognoseinformationen unter Erhaltung aller Verteilungsinformationen intuitiv für Entscheider darstellen?“*

Eine Zusammenarbeit mit einem Industriepartner und Einsatz von Komponenten im Feldversuch eines nationalen Forschungsprojektes, eine Fallstudie mit Softwareinsatz in einem Hochschulinstitut und eine unabhängige Nachimplementierung durch kommerzielle Anwender zeigen die praktische Relevanz und Nutzbarkeit der Ergebnisse.

Die Veröffentlichung in einer anerkannten fachspezifischen Zeitschrift (WIRTSCHAFTSINFORMATIK und Business & Information Systems Engineering) oder Konferenz (International Conference on Wirtschaftsinformatik) nach einer mehrstufigen Begutachtung durch mehrere unabhängige anonyme Gutachter zeigt die wissenschaftliche Qualität der Forschungsarbeiten und schafft die Basis für eine kritische Diskussion. Erste Zitationen der Arbeiten sind ein Hinweis auf den Beitrag an neuen Erkenntnissen in den jeweiligen Forschungsbereichen.

Kapitel 2.

Gesamtsicht der Publikationen

Kapitel 2. Gesamtsicht der Publikationen

In diesem Abschnitt erfolgt ein kurzer Überblick der veröffentlichten Forschungsarbeiten und eine Einordnung in verschiedene Themenbereiche. Die genannten Veröffentlichungen sind in den Tabellen 2.1 und 2.2 aufgeführt. Die erste Spalte zeigt den Titel (ohne Untertitel), die beteiligten Autoren, das Veröffentlichungsjahr sowie den Konferenzband, die Zeitschrift oder das Buch, in dem der Artikel veröffentlicht wurde. Die letzte Spalte verweist auf die Kapitel, in denen ggf. eine detaillierte Diskussion der Veröffentlichung erfolgt, sowie auf das Abstract im Anhang.

Die Spalte *JQ3* zeigt das VHB JOURQUAL in der Version 3 (Hennig-Thurau et al., 2015; Hennig-Thurau und Sattler, 2015b), dem offiziellen Ranking von Zeitschriften und Konferenzbänden des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (VHB). Das Rating basiert auf dem Urteil der VHB Mitglieder, zum Methodischen Ansatz und weiteren Details siehe Begleitdokumente (Hennig-Thurau und Sattler, 2015a). Weißenberger et al. (2015) weisen in den *Hinweisen zum verantwortlichen Umgang mit VHB-JOURQUAL3* darauf hin, dass im Rahmen des JOURQUALs nur Beiträge in Zeitschriften und Konferenzen berücksichtigt werden. „Ein anderer Teil betriebswirtschaftlicher Forschung [...] zeigt sich in der **Entwicklung von Prototypen**. Diese Forschungsleistungen werden durch JOURQUAL nicht erfasst und somit auch nicht bewertet.“ (Weißenberger et al., 2015). Die 2015 veröffentlichte Version 3 setzt gegenüber der 2008 erschienenen Version 2.0 (Hennig-Thurau und Sattler, 2011) auf ein neues differenzierteres Bewertungsverfahren, weist aber dennoch eine Korrelation von 0,89 auf (Hennig-Thurau et al., 2015).

Die Spalte *WKWI* zeigt eine Einstufung der Veröffentlichungen nach den *WI-Orientierungslisten* der *Wissenschaftlichen Kommission Wirtschaftsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft* (WKWI) und des *Fachbereichs Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik* (GI-FBWI). Dieses Ranking basiert auf einer fachspezifischen Bewertung relevanter Zeitschriften und Konferenzen aus der Sicht der Wirtschaftsinformatik (Heinzel et al., 2008).

Die Spalte *Ann.-Quote* zeigt die Annahmehquoten der Zeitschrift oder Konferenz. Die Angaben wurden aus (Tuunainen et al., 2011, S. 4), (Breitner und Schumann, 2013, S. 279) und (Business & Information Systems Engineering, 2013, 2015) ermittelt.

Kapitel 2. Gesamtsicht der Publikationen

Motiviert durch die Arbeit im Rahmen des Forschungsprojekts *Smart Watts* erfolgte eine erste Auseinandersetzung mit dem Themenbereich zukünftige Herausforderungen der Energiewirtschaft in *Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast* (siehe Anhang A.2). Das dort beschriebene Teilthema Lastbeeinflussung von privaten Haushalten wurde anschließend im Rahmen der Veröffentlichungen *Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices* (siehe Anhang A.5) und *Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application* (siehe Anhang A.11) weiterentwickelt. In *Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk: Ausgleich von Prognosefehlern volatiler regenerativer Erzeuger* (siehe Anhang A.7) wurde ein Mindestbedarf an BHKWs zum Ausgleich innerhalb eines VKW ermittelt. Eine gemeinsame Betrachtung der einzelnen Teilthemen mit Blick auf den zukünftigen Bedarf an Entscheidungsunterstützung für Portfoliobetreiber erfolgt schließlich wieder in *Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber* bzw. *Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators* (siehe Kapitel 4 sowie Anhänge A.9 und A.10).

Die durch die Realisierung eines Managementtools für drittmittelgeförderte Forschungsprojekte an einem Institut der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) gesammelten Erfahrungen wurden in *Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten* (siehe Kapitel 5 sowie Anhang A.8) veröffentlicht.

Aus der Arbeit mit Künstlichen Neuronalen Netzen (u.A. im zuvor genannten Bereich der Energieforschung) ergab sich die Frage nach einer besseren Verwertbarkeit der in Ensembleprognosen enthaltenen Informationen für Entscheider. Ein erster Ansatz dazu wurde in *Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles* (siehe Anhang A.6) veröffentlicht. Eine Erweiterung und umfassendere Dokumentation des Konzepts wurde schließlich als *Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to Historical Consistent Neural Network and other Forecasts* bzw. *Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten* (siehe Kapitel 6 sowie Anhänge A.14 und A.13) veröffentlicht.

Kapitel 2. Gesamtsicht der Publikationen

Tabelle 2.1.: Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 1/2

Titel Autoren (Jahr) Konferenz/Zeitschrift/Buch	WKWI	JQ3	Ann.- Quote	Kap. Anh.
Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast Köpp, von Mettenheim, Klages und Breitner (2011) Operations Research Proceedings 2010		D		- A.2
Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices Köpp, von Mettenheim und Breitner (2012a) Operations Research Proceedings 2011		D		- A.5
Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk Hilleke, Maske, Köpp, von Mettenheim und Breitner (2012) Tagungsband des Workshops der GOR-Arbeitsgruppen OR im Umweltschutz und Entscheidungstheorie und -praxis vom 01. und 02. März 2012 in Goslar				- A.7
Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014c) Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR) 2012		D		- A.11
Lastmanagement in Stromnetzen Köpp, von Mettenheim und Breitner (2013a) WIRTSCHAFTSINFORMATIK 55(1):39–49	A	B	≈18%	4 A.9
Load Management in Power Grids Köpp, von Mettenheim und Breitner (2013b) Business & Information Systems Engineering 5(1):35–44	A	B	≈18%	4 A.10
Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten Ebeling, Köpp und Breitner (2013) 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI2013)	A	C	18%	5 A.8
Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles von Mettenheim, Köpp und Breitner (2012) Operations Research Proceedings 2011		D		- A.6
Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014b) Business & Information Systems Engineering 6(3):131–140	A	B	<13%	6 A.13
Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014a) WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56(3):147–157	A	B	<13%	6 A.14

Kapitel 2. Gesamtsicht der Publikationen

Tabelle 2.2.: Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 2/2

Titel Autoren (Jahr) Konferenz/Zeitschrift/Buch	WKWI	JQ3	Ann.- Quote	Kap. Anh.
Microlearning mit UbiLearn Breitner, Guhr, König, Köpp und Maske (2010) Handbuch E-Learning. Wolter Kluwers, Köln. 33. Erg.-Lfg.				- A.1
Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbildung: Mit Wissenshäppchen zum Lernen verführen Breitner, Guhr, König, Köpp und Maske (2011) Personalführung 02/2011, S. 48–48		-		- A.3
Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Services Maske, Guhr, Köpp und Breitner (2011) 19th European Conference on Information Systems (ECIS)	A	B	<32%	- A.4
Near Term Investment Decision Support for Currency Options Wiegard, Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014) Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR) 2012		D		- A.12

Weitere Veröffentlichungen erfolgten im Bereich E- und M-Learning: *Microlearning mit UbiLearn* (siehe Anhang A.1) und *Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbildung: Mit Wissenshäppchen zum Lernen verführen* (siehe Anhang A.3) betrachten das Thema Microlearning als eine besondere Form des M-Learning. In *Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Services* (siehe Anhang A.4) werden Ansätze zu nachhaltigen M-Learning Geschäftsmodellen basierend auf einer starken Berücksichtigung der Nutzer-Akzeptanz beschrieben.

In *Near Term Investment Decision Support for Currency Options* (siehe Anhang A.12) wird ein auf Künstlichen Neuronalen Netzen basierendes Prognoseverfahren für Währungsoptionen vorgestellt.

Nachfolgend werden nur die drei erstgenannten Themenbereiche aus Tabelle 2.1 im Detail diskutiert.

Kapitel 3.

Einführung

3.1. Motivation, Problemstellung, Fragen

„Gegenstand der Wirtschaftsinformatik (WI) sind Informationssysteme (IS), oft auch als Informations- und Kommunikationssysteme (IKS) bezeichnet, in Wirtschaft, öffentlicher Verwaltung und im Privathaushalt. IS umfassen menschliche und maschinelle Komponenten (Teilsysteme). Der Begriffsbestandteil »Information« verdeutlicht, dass es wichtigster Zweck der Systeme ist, Aufgabenträger [...] mit Informationen zu versorgen und das betriebliche Geschehen mithilfe von Informationen zu lenken“ (Mertens, 2015). Die „Konzeption, Entwicklung, Einführung, Nutzung und Wartung von Anwendungssystemen (AS) sowie generell das Management des Produktionsfaktors Information.“ stehen im Mittelpunkt der Wirtschaftsinformatik, die als interdisziplinäres Fach die Elemente und Erkenntnisse aus der Betriebswirtschaftslehre, der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Verhaltenswissenschaften vereint (Mertens, 2015). Zu den Zielen der Wirtschaftsinformatik (WI) gehört unter anderem die „gestaltungsorientierte Konstruktion von IS sowie die dafür notwendige (Weiter-) Entwicklung von Konzepten, Vorgehensweisen, Modellen, Methoden, Werkzeugen und (Modellierungs-) Sprachen“ (WKWI und GI FB WI, 2011).

Zu diesen Werkzeugen zählen auch Entscheidungsunterstützungssysteme bzw. Decision Support Systems (DSS). Als interaktive Anwendungssysteme liefern DSS eine situationspezifische effektive Unterstützung von Fach- und Führungskräften im Rahmen von Planungs- und Entscheidungsfindungsprozessen „mit dem Ziel, die Entscheidungsqualität zu verbessern“ und setzen zur Modellierung, Entwicklung und Implementierung von „Verfahren zur Lösung betrieblicher Probleme“ auf Methoden des Operations Research (OR) (Gabriel, 2015).

Als praxisorientiert ausgerichtete Disziplin ist die Wirtschaftsinformatik auf die Erforschung und „Entwicklung innovativer Systeme“ ausgerichtet und liefert Forschungsergebnisse wie zum Beispiel Softwareprototypen (Frank, 2015). Im Fall von Decision Support System (DSS) können diese individuell, mit speziellen Planungssprachen oder auch auf Basis von Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel umgesetzt werden (Gabriel, 2015).

Im Rahmen dieser Arbeit werden Forschungsbeiträge aus drei verschiedenen Bereichen der Wirtschaftsinformatik vorgestellt, in denen jeweils durch die Um-

setzung von Softwareprototypen ein Beitrag zur Entscheidungsunterstützung erfolgt. Diese werden detailliert in den Kapiteln 4, 5 und 6 zusammengefasst. Im nächsten Abschnitt (3.2) erfolgt eine Einordnung in die gemeinsam genutzte Forschungsmethode des Design Science Research. Nachfolgend werden zunächst die zugrunde liegende Motivation und die Forschungsfrage der zentralen Veröffentlichung zu jedem der drei Bereiche dargestellt:

Energiewirtschaft (Kapitel 4): Die Veröffentlichung (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b) entstand aus der Mitarbeit im Forschungsprojekt SmartWatts. Zu den zentralen Zielen von SmartWatts (utilicount GmbH & Co. KG, 2012) gehörte auch eine Untersuchung von Lastbeeinflussung durch dynamische Strompreise und die Steuerung von Virtuellen Kraftwerken (VKWs) durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKWs). Ein weiterer Ausbau erneuerbarer Energien wird von der deutschen Bevölkerung als eines der wichtigsten Themen im Bereich des Umweltschutzes gesehen (Borgstedt et al., 2010, S. 24). Für den Zeitraum von 2002 bis 2014 wurden durch die Europäische Kommission insgesamt 459 „Smart Grid“-Projekte mit einem Gesamtvolumen von 3,15 Milliarden Euro erfasst (Covrig et al., 2014). Dieses hohe Investitionsvolumen zeigt die Bedeutung, die diesem Forschungsbereich zugemessen wird. Im Rahmen des Projektes SmartWatts wurden Konzepte für das Modellszenario 2020 untersucht. Die in (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b) untersuchte Forschungsfrage lautet:

„Welche derzeitigen und zusätzlichen Entscheidungsoptionen hat ein Portfoliobetreiber unter kombinierter Betrachtung von Erzeuger- und Verbraucherseite?“

Forschungsressourcenmanagement (Kapitel 5): Die Veröffentlichung (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) entstand aus der Mitarbeit im Projekt mit dem Institut für Zell- und Molekularpathologie (IZMP) an der Medizinische Hochschule Hannover (MHH) zur Erstellung einer Software zum Forschungsressourcenmanagement für Hochschulen. Vorhandene Systeme waren primär auf die Anforderungen der zentralen Hochschulverwaltung ausgerichtet und konnten die Bedürfnisse auf der dezentralen Verwaltungsebene nicht ausreichend

abdecken. Durch den steigenden Anteil an Drittmittelfinanzierung ergibt sich jedoch an dieser Stelle ein zunehmender Verwaltungsaufwand. Eine erste prototypische Umsetzung von FACTUM entstand im Rahmen der Diplomarbeit von Dipl.-Ök. Britta Ebeling und Dipl.-Ök. Björn Beinlich. Diese wurde anschließend auf Basis der weiteren ermittelten Anforderungen zu einer stabil laufenden, produktiv einsetzbaren Anwendung weiterentwickelt und die Abdeckung der Anforderungen sowie die durch den Einsatz eines solchen Tools erzielbaren Verbesserungen auf Institutsebene untersucht. Die in (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) untersuchte Forschungsfrage lautet:

„Wie kann das Forschungsressourcenmanagement an deutschen Hochschulen durch den Einsatz einer spezialisierten IT-Lösung verbessert werden?“

Prognoseanwendungen (Kapitel 6): Die Veröffentlichung (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2014b,a) wurde durch den Einsatz von Künstliche Neuronale Netze (KNN) in anderen Forschungsprojekten und die Diskussion mit Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim motiviert. Speziell durch Historical Consistent Neural Network (HCNN) kam die Frage auf, wie eine bessere Nutzung der Ensembleinformationen erreicht werden kann. Mit HCNN können beliebig große Ensembles erzeugt werden, die aus – gleichguten – Einzelprognosen bestehen. In den meisten Anwendungen erfolgt bisher eine Reduktion des Ensembles auf Mittelwert oder Median. Damit ist eine einfache Nutzung im Rahmen einer automatisierten Verarbeitung und quantitativer Verfahren möglich, aber gleichzeitig täuscht der erzeugte Einzelwert auch eine Prognosegenauigkeit vor, die nicht real ist. Das entwickelte Visualisierungsverfahren stellt die Prognosegüte transparent für den Entscheider dar. Die in (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2014b,a) untersuchte Forschungsfrage lautet:

„Wie können wir die vollständigen Prognoseinformationen unter Erhaltung aller Verteilungsinformationen intuitiv für Entscheider darstellen?“

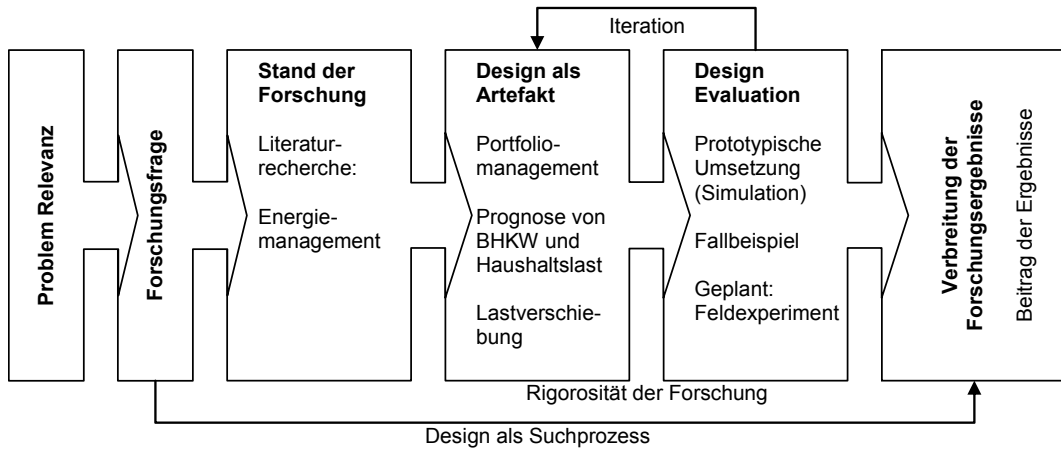
3.2. Methodisches Vorgehen: Design Science Research

„Die behavioristische Forschungskonzeption geht primär der Frage nach, wie sich organisatorische und zwischenmenschliche Phänomene rund um IT-Artefakte erklären und vorhersagen lassen. Gegenstand des konstruktionsorientierten Forschungsansatzes ist hingegen vorrangig die Entwicklung von Problem beschreibenden und Problem lösenden Artefakten im Rahmen der Informationssystementwicklung.“ (Becker und Pfeiffer, 2006). Nach (Hevner et al., 2004, S. 75) wird durch das Erstellen und die Anwendung eines entworfenen Artefakts das Wissen und Verständnis einer Problemstellung und seiner Lösung erlangt. Becker und Pfeiffer (2006) zeigen, dass der behavioristische und der konstruktionsorientierte Forschungsansatz nicht disjunkt sind und sich eher ergänzen. So kann zum einen die behavioristisch orientierte Forschung IT-Artefakte einsetzen, zum anderen „können Methoden aus der behavioristischen Forschung eingesetzt werden, um zu beurteilen, wie gut ein IT-Artefakt eine bestimmte Aufgabe erfüllt.“

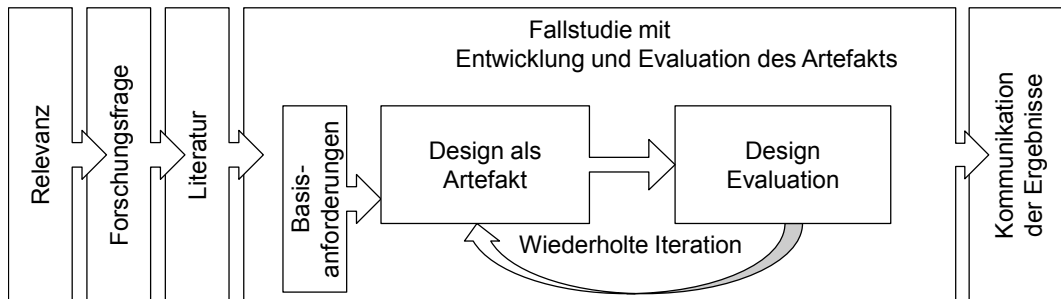
Der Design Science Ansatz hat in den letzten Jahren eine „gewisse Resonanz“ erfahren, die sich auch in der „beachtlichen Zahl von Publikationen, die sich auf »Design Science« als methodische Fundierung berufen“ zeigt (Frank, 2015). Nach (Bichler, 2014, S. 79) wurde der Beitrag (Hevner et al., 2004) bereits über 4.600 Mal zitiert.

Hevner et al. (2004) stellen sieben Leitlinien („*Guidelines*“) zur Umsetzung eines Design Science Research Prozesses auf. Sie empfehlen diese Guidelines aber lediglich als eine Orientierung, deren Anwendung nach individueller Beurteilung erfolgen sollte (Hevner et al., 2004, S. 82). Nachfolgend wird deren Bedeutung und ihre Berücksichtigung in den jeweils am Design Science Research orientierten Forschungsprozess (siehe Abbildung 3.1) der vorgestellten Veröffentlichung beschrieben:

(a) Forschungsprozess in (Köpp et al., 2013a,b):



(b) Forschungsprozess in (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013):



(c) Forschungsprozess in (Köpp et al., 2014b,a):

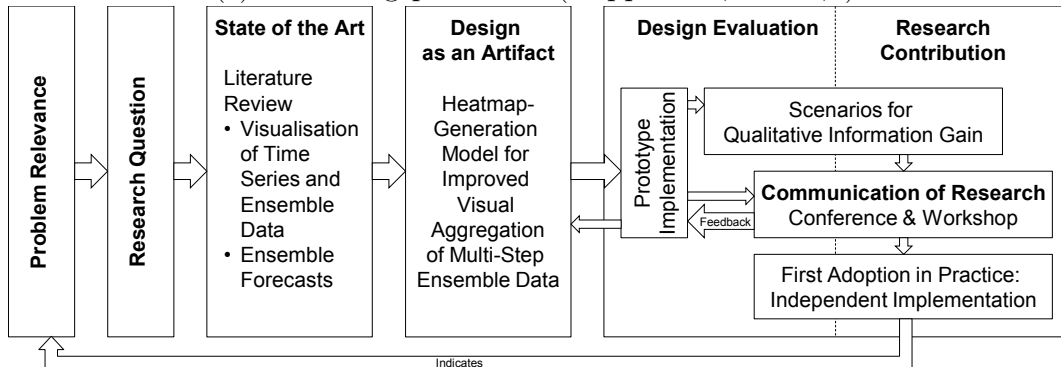


Abbildung 3.1.: Umsetzungen von Design Science Research nach Hevner et al. (2004)

Guideline 1: Design as an Artifact

Als Ergebnis des Design Science Research definiert (Hevner et al., 2004, S. 82) ein zielgerichtetes/zweckmäßiges („purposeful“) IT-Artefakt, das ein wichtiges „organisatorisches“ Problem angeht. Dieses muss „effektiv“ beschrieben werden um eine „Implementierung und Anwendung innerhalb der Problem-Domäne“ (Übersetzung) zu ermöglichen. Es werden verschiedene Arten von IT-Artefakten definiert: Sprachen („constructs“), Methoden („methods“), Modelle („models“), Implementierungen („instantiations“) (Deutsche Übersetzung von Becker und Pfeiffer (2006), original von Hevner et al. (2004) in Klammern). In den vorgestellten Forschungsarbeiten sind jeweils ein oder mehrere Artefakte entstanden: Methoden in Form von Verfahren, mathematischen Berechnungsverfahren und Algorithmen sowie Implementierungen in Form von Software-prototypen. Implementierungen zeigen, dass Sprachen, Methoden oder Modelle umgesetzt werden können in ein funktionsfähiges System (Hevner et al., 2004, S. 79). Bei den im Rahmen von Design Science entstandenen Artefakten handelt es sich in den meisten Fällen jedoch nicht um vollständige produktiv einsetzbare Informationssysteme (Hevner et al., 2004, S. 83).

Guideline 2: Problem Relevance

(Hevner et al., 2004, S. 85) definieren ein Problem formal als die Differenz zwischen erwünschtem Zustand und aktuellem (System-)Zustand. Sie weisen darauf hin, dass wirtschaftlich relevante Probleme und Chancen sich häufig auf eine Erhöhung von Einnahmen oder Reduktion der Kosten durch verbesserte Geschäftsprozesse und Informationssysteme beziehen. Die Forschung soll beim Lösen realer Probleme helfen und dabei insbesondere auch das „Zusammenspiel von Menschen, Organisationen und Informationstechnologie“ (Übersetzung) angehen. In der Energiewirtschaft zeigt sich die Relevanz durch einen Bedarf an neuen Lösungen, der sich durch die bereits begonnene Entwicklung und Veränderung in der Stromversorgung abzeichnet. Beim Forschungsressourcenmanagement zeigt sich die Relevanz in ungenutzten Potentialen zur IT-Unterstützung außerhalb der zentralen Verwaltung. In Prognoseanwendungen genießt die Verbesserung der Prognosegüte höchste Relevanz, da diese sich, je

nach Anwendungsfall, unmittelbar auf Einnahmen oder Ausgaben auswirkt. Typische Nutzer aus der Praxis wurden jeweils bereits im Forschungsprozess beteiligt oder haben das Verfahren später nachimplementiert.

Guideline 3: Design Evaluation

Die Evaluation stellt einen wichtigen Schritt im Forschungsprozess dar und muss durch Einsatz rigoroser Evaluationsmethoden erfolgen. Nach Hevner et al. (2004) umfasst die Evaluation auch eine Integration in (bestehende) technische Infrastruktur. Teile der Implementierungen aus dem Bereich der energiewirtschaftlichen Forschung wurden für einen Feldversuch in ein Energiemanagementsystem aufgenommen. Die für Forschungsressourcenmanagement und Prognoseanwendungen entstandenen Implementierungen enthalten Schnittstellen zum Import aus bestehenden Datenquellen. Die Evaluations-Phase ist iterativ mit der Konstruktions-Phase (siehe auch Guideline 1 auf Seite 35) verknüpft und liefert wichtiges Feedback. Das Design des Artefakts kann zunächst mit einer stark vereinfachten Konzeption und Abbildung der zugrunde liegenden Problemstellung beginnen und ist erst abgeschlossen, wenn alle relevanten Anforderungen und Bedingungen erfüllt sind (Hevner et al., 2004, S. 85). In den vorgestellten Forschungsarbeiten wurden Evaluationsmethoden aus drei von fünf durch Hevner et al. (2004) genannten Bereichen genutzt: „*Observational*“ für Energiewirtschaft und Forschungsressourcenmanagement, „*Experimental*“ in der Ausprägung „*Simulation*“ für Energiewirtschaft und Prognoseanwendungen sowie „*Descriptive*“ für Prognoseanwendungen. (Hevner et al., 2004, S. 85) schlägt ergänzend auch eine Evaluation des „Style“ vor. Bei den Implementierungen wurde auf Realisierung ansprechender und leicht bedienbarer Oberflächen geachtet. Feedback von Dritten wurde jeweils im Rahmen des Design-Prozesses berücksichtigt. Eine explizite systematische Evaluation des Styles erfolgte jedoch nicht.

Guideline 4: Research Contributions

Design Science Research befasst sich mit „wichtigen ungelösten Problemen“ in einer „einzigartigen oder innovativen“ Art und Weise oder einer effizienteren

Umsetzung für bereits gelöste Probleme. Von zentraler Bedeutung für Design Science Research ist die klare Identifikation eines Beitrags zur Erweiterung der Wissensbasis (Hevner et al., 2004, S. 80f). In den meisten Fällen ist das Artefakt selbst der Beitrag. Die Beurteilung des Beitrags konzentriert sich auf die Genauigkeit der Darstellung und die Implementierbarkeit (Hevner et al., 2004, S. 87). Die Forschungsarbeiten aus den Bereichen Energiewirtschaft und Prognoseanwendungen liefern einen Beitrag durch neue innovative Verfahren, Methoden und deren Implementierung. Die Komponenten für ein Energiemanagementsystem schaffen eine Basis zur effizienteren Integration regenerativer Erzeuger ins Stromnetz, das Heatmap-basierte Visualisierungsverfahren erlaubt eine effizientere Nutzung von Ensembleprognosen sowie – verallgemeinert – auch eine Technik zur Datenanalyse von mehrschrittigen Ensembledaten. Bei der Arbeit zum Forschungsressourcenmanagement besteht der Beitrag dagegen nicht im entstandenen prototypischen Schattensystem, sondern in den erfassten Anforderungen und dem abstrahierten Datenmodell sowie den Erkenntnissen, die bei Erstellung und Einsatz gesammelt wurden.

Guideline 5: Research Rigor

Nach (Hevner et al., 2004, S. 82) muss das Artefakt „rigoros definiert, formal dargestellt, kohärent und intern konsistent“ sein. (Hevner et al., 2004, S. 88) verweist jedoch auch darauf, dass eine Überbetonung von verhaltensorientierter Rigorosität sich negativ auf die Relevanz auswirken kann und verweist auf Applegate (1999), nach der eine gleichzeitig rigorose und relevante Forschung möglich ist. Dies wird auch von weiteren Autoren diskutiert, siehe z.B. (Desouza et al., 2005; Whitworth, 2007). Rigorosität wird durch die Nutzung der Wissensbasis in Form von theoretischen Grundlagen und Forschungsmethoden gewährleistet. Bestehende Literatur zu vorangegangenen Forschungen muss daher berücksichtigt werden. Im Rahmen der vorgestellten Forschungsarbeiten wurden zunächst Literaturrecherchen zum Stand der Forschung und verwandter Lösungsansätze durchgeführt. Im Bereich der Energiewirtschaft wurden frühere Ansätze in den Bereichen Demand Side Management (DSM), Real-Time-Pricing (RTP) und Virtuelles Kraftwerk (VKW) berücksichtigt. Im

Bereich Forschungsressourcenmanagement bilden die in früheren Forschungsarbeiten erfasste Anforderungen und Erkenntnisse die Basis für die Konstruktion von FACTUM. Im Bereich Prognoseanwendungen wurden die gängige Praxis und der Einsatz von Heatmaps in verschiedenen anderen Anwendungen zur Abbildung von Wertekonzentrationen berücksichtigt.

Guideline 6: Design as a Search Process

Das Design eines Artefaktes ist kein einmaliger klar abgegrenzter Vorgang, sondern ein längerer Prozess. Durch Vereinfachung des Problems oder Reduktion auf ein Teilproblem kann zunächst ein Startpunkt definiert werden (Hevner et al., 2004, S. 88f), an dem die Suche nach einer Lösung beginnt. Erstes Ziel ist ein lauffähiges und nutzbares Artefakt. Durch dessen Nutzung lassen sich dann Schwächen und Verbesserungspotentiale identifizieren (Hevner et al., 2004, S. 90).

Iteration ist inhärent für den Design Science Research Prozess. Hevner et al. (2004) verweisen hier auf Simon (1996), der schon zuvor den Design-Prozess als einen „Generieren/Testen-Zyklus“ beschrieben hat, und Markus et al. (2002), der auf die typische mehrfache Iteration einer „Konstruieren-und-Evaluieren-Schleife“ bis zur Herstellung des finalen Artefaktes hinweist. Die Softwareprototypen entstanden jeweils in einem iterativen Entwicklungsprozess. Im Bereich Energiewirtschaft wurden die Zwischenstände der Prototypen jeweils mit Fachexperten diskutiert. Auf dieser Basis wurden die zu grunde liegenden Verfahren (z.B. das Reaktionsverhalten von intelligenten Haushaltsgeräten) iterativ verbessert und deren Implementierung in den Softwareprototypen aktualisiert. Bei Finance Allocation and Cockpit Tool for University Management (FACTUM) erfolgte nach jedem Entwicklungszyklus ein Test durch Endnutzer, bis die zuvor definierten Anforderungen vollständig abgedeckt wurden. Im Bereich Prognoseanwendungen wurden im Laufe der Entwicklung sukzessive weitere Heatmap-Typen ergänzt. Die Berechnungsgeschwindigkeit ließ sich durch Einsatz paralleler Algorithmen und die Anzeigegeschwindigkeit durch Implementierung einer eigenen Plot-Engine verbessern. Weiter wurden zusätzliche Konfigurations- und Import-Möglichkeit ergänzt. Der Suchprozess nach

einer besseren Lösung könnte hier noch weiter fortgesetzt werden, beispielsweise durch Integration automatischer Konfigurationsverfahren.

Guideline 7: Communication of Research

Die Forschungsergebnisse müssen verbreitet werden. Dabei sind verschiedene Zielgruppen zu berücksichtigen: Ein technisch orientiertes Publikum und ein managementorientiertes Publikum. Diese können jeweils unterteilt werden in Wissenschaftler und Praktiker und setzen unterschiedliche Schwerpunkte bei der Nutzung der Ergebnisse, siehe hierzu Tabelle 3.1. Für Techniker muss eine

Tabelle 3.1.: Zielpublikum bei Veröffentlichung von Design Science Forschungsergebnissen; Eigene Darstellung basierend auf Beschreibung von (Hevner et al., 2004, S. 82)

	Wissenschaftler	Praktiker
Techniker	erweitern die Forschung	implementieren Ergebnisse
Manager	untersuchen im Kontext	entscheiden über Umsetzung

detaillierte Beschreibung der Artefakte erfolgen, damit Praktiker in die Lage versetzt werden, diese selbst zu implementieren, und Wissenschaftler an die Forschung anknüpfen können, um diese zu erweitern. Für Manager muss dagegen die Relevanz des Problems und innovative Problemlösung klar und deutlich dargestellt werden (Hevner et al., 2004, S. 82). Die wissenschaftliche Zielgruppe wurde jeweils durch Veröffentlichung in wissenschaftlichen Zeitschriften und durch Präsentation auf wissenschaftlichen Tagungen und Workshops unmittelbar angesprochen. Durch die regelmäßige Diskussion mit Praktikern im Projektkontext wurde auch diese Zielgruppe adressiert. Im Bereich Prognoseanwendungen konnten die Forschungsergebnisse auch außerhalb eines Projektkontextes derartig kommuniziert werden, dass durch Praktiker eine Nachimplementierung des Verfahrens erfolgt ist.

3.3. Künstliche Neuronale Netze

In insgesamt neun (Köpp, von Mettenheim, Klages und Breitner, 2011; Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2012a; von Mettenheim, Köpp und Breitner, 2012; Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b, 2014c; Wiegard, Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2014; Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2014b,a) der in dieser Zusammenfassung aufgeführten Forschungsbeiträge werden Künstliche Neuronale Netze (KNN) verwendet. Die Grundidee von KNN besteht in der Nachahmung von „biologischen Vorgänge[n] des menschlichen Denkens und Lernens“ durch mathematische Modelle mit künstlichen Neuronen und Verknüpfungen (Breitner, 2003, S. 112f.). Die Komplexität dieser simulierten neuronalen Netze ist deutlich geringer als im menschlichen Gehirn, die Schaltgeschwindigkeit jedoch deutlich höher (Breitner, 2003, S. 113). KNN können durch ihre universelle Approximationsfähigkeit (Haykin, 2009, S. 197f.) zur Lösung von komplexen nichtlinearen Problemen eingesetzt werden. Explizite formale mathematische Lösungsansätze stoßen an ihre Grenzen, wenn die Anzahl von Variablen sehr groß wird oder nicht alle Einzelvariablen eines Aggregats bekannt sind. (Breitner, 2003, S. 110) liefert eine umfangreiche Sammlung von Standardwerken und Übersichtsartikeln zu KNN.

Wichtige Anwendungsbereiche für KNN in der Wirtschaftsinformatik sind „Zeitreihenanalysen und -prognosen“ sowie „Rating-, Kontroll- und Warnsysteme mit Mustererkennung“ (Breitner, 2014). Prognosen können als ein Spezialfall der Mustererkennung betrachtet werden: es werden Muster im Zusammenhang zwischen Daten aus der Vergangenheit (Eingabe) und der Zukunft (Ausgabe) erkannt. Die Fähigkeit „auch für ähnliche, verzerrte, verrauschte oder unvollständige Inputs den richtigen Soll-Output [zu] liefern (Generalisierungseigenschaft) [...] entspricht den Anforderungen betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprozesse, die oft nur unvollständige, ungenaue oder unsichere Informationen enthalten“ (Breitner, 2014). Beispiele für ökonomische Anwendungen von KNN finden sich u. A. in (Rehkugler und Zimmermann, 1994; von Mettenheim, 2009), für Finance-Anwendungen in (von Mettenheim, 2009; von Mettenheim und Breitner, 2010) und für energiewirtschaftliche Anwendungen in (Nwulu und Fahrioglu, 2011).

Netztopologien

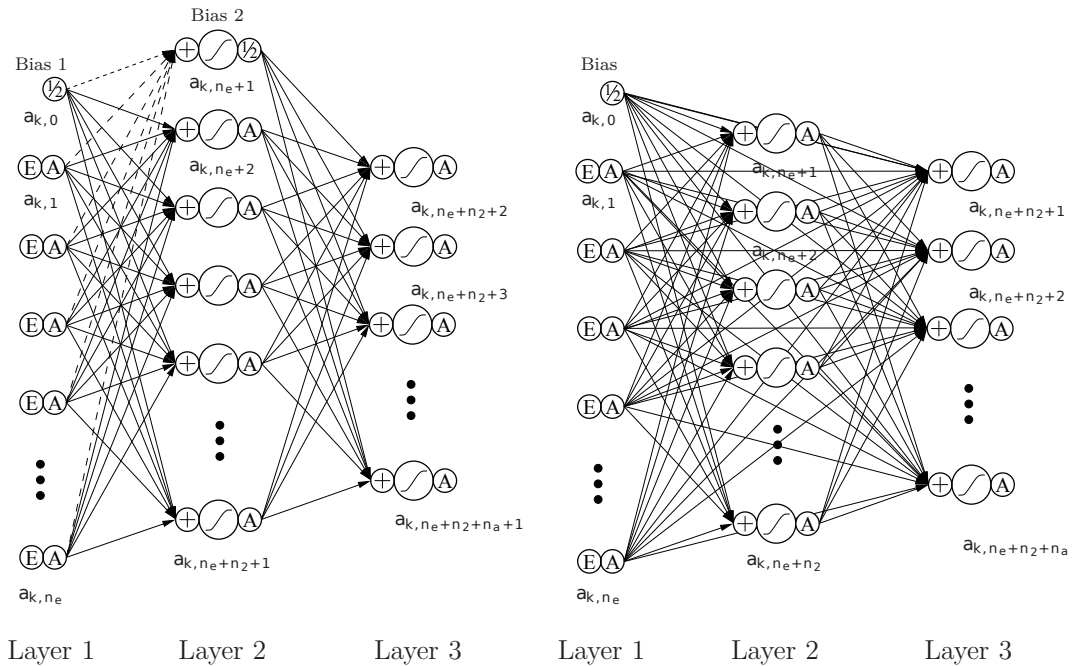


Abbildung 3.2.: Typische KNN-Konfigurationen mit FAUN: 3-lagige Perceptrons (Eingabe-Schicht, eine verdeckte Schicht, Ausgabeschicht; ohne/mit Shortcuts (links/rechts) (König et al., 2005, S. 10)

Wikipedia (2015) nennt insgesamt über zwanzig verschiedene *Klassen und Typen von KNN*. Im Rahmen der hier vorgestellten Forschungsarbeiten wurden zwei Typen eingesetzt: Dreilagige Perceptrons (Breitner, 2003, S. 115ff.) und Rekurrente KNN in Form von Shared Layer Perceptrons (von Mettenheim, 2009; von Mettenheim und Breitner, 2010) bzw. Historical Consistent Neural Network (HCNN) (Zimmermann et al., 2010, 2013). Dreilagige Perceptrons (siehe Abbildung 3.2) bestehen aus der Eingabeschicht (Input Layer), einer verdeckten Schicht (Hidden Layer) und der Ausgabeschicht (Output Layer). Der Ausgabewert eines jeden Neurons wird durch die gewichtete Summe über die Ausgabewerte der Neuronen aller Vorgängerschichten (beim Einsatz von Direktverbindungen) oder der direkten Vorgängerschicht (bei Verzicht auf Direktverbindungen) bestimmt. Dabei kommt der Tangens Hyperbolicus als eine

sigmoide (streng monoton und nach oben und unten beschränkt) Aktivierungsfunktion (Breitner, 2003, S. 116) zum Einsatz:

$$a_i := \tanh \left(\sum_j w_{j,i} \cdot a_j \right)$$

Auf eine vollständige formale Definition wird an dieser Stelle verzichtet und stattdessen auf (König et al., 2005, S. 9ff.) sowie (Breitner, 2003, S. 117ff. und 130ff.) verwiesen.

Rekurrente Topologien – die die Outputs von vorhergehenden Berechnungsschritten als Inputs verwenden – sind gut für Zeitreihendaten geeignet. Shared Layer Perceptrons erhalten durch versteckte Zustandsvariablen ein Gedächtnis (von Mettenheim, 2009, S. 15). Der Folgezustand wird jeweils aus der Gewichtsmatrix und dem vorhergehenden Zustand bestimmt:

$$\vec{s}^{t+1} := \tanh \left(W \cdot \vec{s}^t \right)$$

Für eine vollständige formale Definition wird auf (von Mettenheim, 2009, S. 68ff.) verwiesen.

Die Abbildung dieser KNN-Typen auf einen relativ einfachen mathematischen Term erlaubt eine flexible Nutzung und Integration in verschiedene Anwendungen. Zentrale Herausforderungen bestehen in der Definition einer geeigneten Konfiguration der Netz-Topologie (u.A. die Anzahl der versteckten Neuronen) und in der Ermittlung von solchen Gewichten, die den Zusammenhang zwischen Eingabe und vorgesehener Ausgabe möglichst exakt nachbilden. Für reale Anwendungen ist dies ein komplexes Optimierungsproblem, dessen Komplexität mit der Anzahl der Neuronen steigt.

Training, Konfiguration und Datenaufbereitung

Die Suche nach geeigneten Gewichten des KNN wird auch als *Training* bezeichnet. Beim *überwachten Lernen* (Breitner, 2003, S. 113f.) wird zunächst mit zufälligen Gewichten begonnen. Es erfolgt eine sukzessive Anpassung der Gewichte, um die Abweichung zwischen dem Eingabe-/Ausgabe-Zusammenhang in den Trainingsdaten und der Ausgabe des Netzes – basierend auf den Eingaben

aus den Trainingsdaten – zu minimieren. Der Umfang der Trainingsdaten muss hinreichend groß gewählt werden, damit das resultierende Netz auch auf ähnliche – nicht während des Trainings bekannte – Eingaben eine erwartete Ausgabe liefern kann. Gut trainierte Netze können auch noch für „verzerrte, verrauschte oder unvollständige Eingaben die richtige Soll-Ausgabe liefern“ (Breitner, 2003, S. 113). Um eine Einschränkung der Generalisierungseigenschaft des Netzes zu verhindern, werden zusätzlich Validierungsdaten verwendet. Beim Training wird die Abweichung von den Soll-Ausgaben auf den Validierungsdaten überwacht, um ein Übertraining zu verhindern. Eine detaillierte Beschreibung zum Thema *Validierungs- und Generalisierungsgüte* liefert (Breitner, 2003, S. 44ff). Wiederholtes Training (mehrere Tausend Durchläufe mit unterschiedlichen Initialgewichten) vermindert das Risiko, dass ein lokales Minimum als vermeintlich bestes Ergebnis für die Gewichtsmatrix identifiziert wird. Basierend auf dem gemessenen Fehler (Abweichung von der Soll-Ausgabe) – und ggf. weiterer Nebenbedingungen – wird das beste Netz schließlich für die Nutzung ausgewählt. Es können auch mehrere der besten Netze zu einem Ensemble zusammengefasst werden, um das resultierende Modell robuster gegenüber Ausreißer eines einzelnen Netzes zu gestalten. Zum Thema KNN-Ensembles wird auch auf Kapitel 6 bzw. (Köpp et al., 2014b,a) verwiesen.

(von Mettenheim, 2009, S. 210) fasst das Konfigurieren und Training von KNN als „trial and error“ in Form eines informierten Experimentierens zusammen. Er verweist darauf, dass auch in naher Zukunft keine allgemeingültige Theorie zur Auswahl der besten Parametrierung zu erwarten ist.

Neben der Auswahl und Konfiguration der Netztopologie sowie der Trainingsparameter ist auch die Codierung inklusive Skalierung der Daten eine zentrale Herausforderung bei der Modellbildung. Die geeignete Codierung ist in Abhängigkeit von der zu lösenden Problemstellung zu definieren. So erweist sich z.B. für Prognosemodelle eine Darstellung der Daten als relative Wertänderungen statt absoluter Werte als vorteilhaft, da der Zusammenhang auf diese Weise unabhängig von einem konkreten Wertebereich erfolgt. Im nachfolgenden Beispiel – am Ende dieses Unterkapitels – wurden einige Daten sogar in zwei unterschiedlichen Codierungen (absolute Werte und Differenzen zu vorhergehenden Werten) genutzt. Teilweise kann die Modellqualität durch ein

Reduzieren der Input-Anzahl verbessert werden.

Der Neurosimulator FAUN

Mit der Entwicklung des Neurosimulators FAUN (Fast Approximation with Universal Neural Networks) wurde 1996 begonnen (Breitner, 2003, S. 167). Später wurde FAUN mehrfach erweitert; siehe z.B. (von Mettenheim, 2009, S. 27ff.). Die Kern-Anwendung von FAUN besteht aus einer für verschiedene Systemumgebungen verfügbare Konsolenanwendung, die über Konfigurationsdateien in einer vorgegebenen Verzeichnisstruktur gesteuert wird; siehe *FAUN User Manual* (König et al., 2005, S. 5ff.). Als Erweiterung existiert auch eine Windows-Anwendung mit grafischer Benutzeroberfläche – mit interaktiver Anzeige des Trainingsverlaufs – und eine Web-basierte Anwendung (König et al., 2005, S. 4). FAUN nutzt eine fein-granulare Parallelisierung und unterstützt auch den Betrieb auf Rechner-Clustern (von Mettenheim, 2009, S. 13).

Die rein auf Dateien basierte Konfiguration und Bereitstellung von Trainingsdaten innerhalb eines definierten Workspace ermöglicht eine flexible Ansteuerung durch Skripte. Dadurch ist auch eine automatisierte Erzeugung einer größeren Anzahl von unterschiedlichen Trainingskonfigurationen möglich.

Als Optimierungsverfahren kann u.A. NPSOL (GILL et al., 2001) genutzt werden. FAUN nutzt zum Training den Backpropagation-Algorithmus (Haykin, 2009, S. 159f.), unter Einsatz eines Sequential-Quadratic-Programming (SQP)-Algorithmus (siehe z.B. Fletcher (1981)) mit Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) quasi-Newton-Updates (siehe z.B. J. E. Dennis und Moré (1977)).

Anwendungsbeispiel: Ermittlung von Preissignalen zur Laststeuerung durch dynamische Strompreise

Als ein Beispiel für die Anwendung von KNN in der Energiewirtschaft (siehe Kapitel 4) wird nachfolgend die Umsetzung von Köpp et al. (2014c) dargestellt. Durch ein KNN werden stündlich Preissignale erzeugt, mit denen – durch die Reaktion der preissensiblen Verbraucher – ein vorgegebener Lastgang erreicht werden soll.

Kapitel 3. Einführung

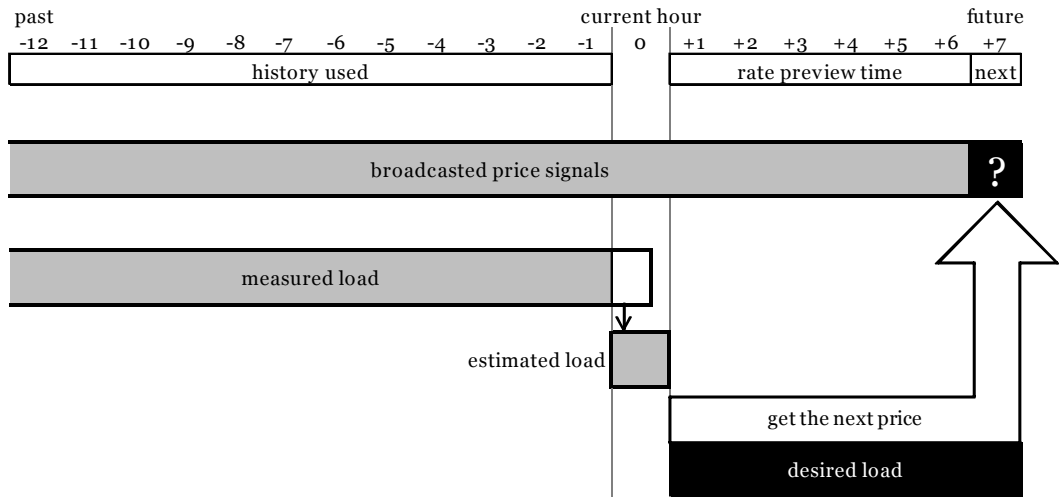


Abbildung 3.3.: Verfügbare Daten zur Ermittlung des nächsten Preissignals (Köpp et al., 2014c)

Das zu Grunde liegende Preismodell (Köpp et al., 2014c, S. 3) sieht eine Vorschauzeit vor: zu jedem Zeitpunkt sind die Strompreise für die nachfolgenden sechs Stunden bereits bekannt. Beim Einsatz von intelligenten Haushaltsgeräten, die automatisch die bekannten Preisinformationen berücksichtigen, hängt der Stromverbrauch in einer Stunde nicht nur vom Preis innerhalb selbiger ab, sondern auch von den Preisen vorhergehender und nachfolgender Stunden. Ein gesetzter Preis beeinflusst daher auch den Stromverbrauch in benachbarten Stunden. Die Veränderung des Stromverbrauchs in Abhängigkeit vom Preis ist vergleichsweise einfach nachvollziehbar. Für eine gezielte Lastbeeinflussung wird jedoch – in umgekehrter Richtung – ein Preis in Abhängigkeit vom gewünschten Lastprofil ermittelt. Abbildung 3.3 zeigt die zum Zeitpunkt der Preisgenerierung bekannten Informationen: das bereits gesendete Preissignal, den gemessenen aggregierten Stromverbrauch in der Vergangenheit sowie den gewünschten Lastgang für die nächsten Stunden. Der gemessene Stromverbrauch ist nur zeitverzögert verfügbar. Der Stromverbrauch der aktuellen Stunde wird daher durch lineare Extrapolation aus den ersten 45 Minuten der Stunde hochgerechnet.

Der Zusammenhang von bereits bekannten Preissignalen der vergangenen sowie in der Zukunft erwünschten Last und dem dafür notwendigen Preissi-

gnal wird durch ein dreilagiges Perceptron mit insgesamt 58 Eingabewerten approximiert:

- Bereits gesendete Preise für die vergangenen 12 Stunden, die aktuelle Stunde und die nächsten 6 Stunden. Alle Preise werden jeweils mit zwei unterschiedlichen Codierungen übergeben: als absoluter Betrag und Differenz zum Preis der jeweils vorangegangenen Stunde.
- Aggregierter Stromverbrauch der vergangenen 12 Stunden und Hochrechnung der aktuellen Stunde.
- Gewünschter Stromverbrauch für die nächsten 7 Stunden.

Als Ausgabe soll das Netz genau einen Wert liefern:

- Das Preissignal für die 7. Stunde (mit absoluter Codierung)

Es erfolgte ein Training von mehreren Tausend zufällig initialisierten Netzen. 30% der Trainingsdaten wurden für die Validierung verwendet. Die besten fünf Netze (geringster Fehler auf den Trainingsdaten) wurden zu einem Ensemble zusammengefasst.

Der Mittelwert des Ensembles liefert mit Out-of-Sample Daten in 93% der Fälle einen Wert der im Bereich des vorgegebenen Preises liegt. Nach Abbildung der kontinuierlichen Ausgabewerte des KNN-Ensembles auf erlaubte Preisstufen – und unter Einhaltung der Nebenbedingungen des Preismodells – reduziert sich diese Quote auf 85%.

Wichtig für den resultierenden Lastgang ist neben den absoluten Werten jedoch auch die lokale Rangfolge der Preise. Mit einer Simulationen intelligenter Geräte wurde gezeigt, dass die Charakteristik des Ziel-Lastgangs mit den erzeugten Preissignalen gut nachgebildet wird.

3.4. Aufbau der Arbeit

Die inhaltliche Struktur der vorliegenden Arbeit ist in Tabelle 3.2 dargestellt. Im Rahmen einer *Management Summary* werden zunächst die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Es folgt eine *Gesamtsicht der Publikationen* mit einer Sammlung aller relevanten Forschungsveröffentlichungen und deren Klassifikation.

Tabelle 3.2.: Struktur der Arbeit

Kapitel 1	Management Summary					
Kapitel 2	Gesamtsicht der Publikationen					
Kapitel 3	Einführung					
Kapitel 4	Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber	.1 Einführung	.2 Grundlagen	.3 Forschungsdesign	.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	.5 Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick
Kapitel 5	Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulen					
Kapitel 6	Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to Historical Consistent Neural Network and other Forecasts					
Kapitel 7	Kritische Würdigung und Ausblick					

Im Hauptteil mit den Kapiteln 3 bis 7 erfolgt eine detailliertere Beschreibung der drei Forschungsbereiche. Eine *Einführung* (dieses Kapitel) und eine abschließende *Kritische Würdigung und Ausblick* am Ende bilden den Rahmen. Die Kapitel 4, 5 und 6 konzentrieren sich jeweils auf die Hauptpublikationen der drei Forschungsbereiche. Diese sind jeweils identisch aufgebaut mit der nachfolgend im Detail beschriebenen Gliederung: (siehe auch Tabelle 3.2).

Kapitel 3. Einführung

Unterabschnitt .1 Einführung: Eine kurze Einführung in das jeweils spezifische Themengebiet und dessen Herausforderungen sowie Motivation zur Forschungsfrage.

Unterabschnitt .2 Grundlagen: Eine Darstellung theoretischer Grundlagen, der wichtigsten Terminologie und Stand der Forschung auf Basis der Literatur.

Unterabschnitt .3 Forschungsdesign: Ein Vorgehensbeschreibung im Rahmen des gewählten Forschungsdesigns einschließlich des Bezugs zu weiteren Publikationen im Rahmen des kumulativen Forschungsprozesses.

Unterabschnitt .4 Zusammenfassung der Ergebnisse: Eine Beschreibung der zentralen Erkenntnisse der Veröffentlichung und Fazit.

Unterabschnitt .5 Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick: Eine Darstellung von Limitationen der Forschung und Ansätze zur kumulativen Fortsetzung der Forschung in diesem Bereich.

Unterabschnitt .6 Einordnung der Publikation: Eine Beschreibung des Prozesses von der Einreichung bis zur Veröffentlichung, sowie die Wahrnehmung der Zeitschrift oder Konferenz im Kontext der Forschungsgemeinschaft in Wirtschaftswissenschaften und Wirtschaftsinformatik.

Kapitel 4.

Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsun- terstützungssystem für Portfoliobetreiber

4.1. Einführung

Durch einen zunehmenden Trend zu dezentraler Einspeisung durch regenerative Erzeuger wie Windkraftanlagen (WKAs) und Photovoltaikanlagen (PVAs) sowie Blockheizkraftwerke (BHKWs) ergibt sich eine Veränderung in der Erzeugerstruktur von Elektrizität. Der zunehmende Anteil regenerativer Energien führt jedoch zu Problemen bei der Netzstabilität: Verbrauchs- und Produktionsmenge von elektrischer Energie müssen zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht stehen. Anders als beim Einsatz von konventionellen Kraftwerken können die regenerativen Erzeugungsanlagen nur eingeschränkt gesteuert werden. Während in windstillen Nächten nur wenig regenerative Energien zur Verfügung stehen, erzeugen WKAs und PVAs in Spitzenzeiten sogar zu viel Strom. Speichertechnologien für Strom sind jedoch nur sehr eingeschränkt verfügbar und es besteht durch das aktuelle Modell der Einspeisevergütung nach dem EEG kein Anreiz zur Steuerung in Form einer Leistungsreduzierung. Dies gilt auch für die durch Wärmebedarf gesteuerten BHKWs.

Sowohl auf Erzeuger- als auch Verbraucherseite können Maßnahmen zur Reduzierung des Problems erfolgen: Auf Erzeugerseite sollen Virtuelle Kraftwerke (VKWs) aus WKAs, PVAs und BHKWs zum Lastausgleich eine besseren Einbindung durch besser planbare Erzeugung ermöglichen. Auf Verbraucherseite soll eine Verbrauchsbeeinflussung (Demand Side Management) durch Preissignale und die daraus resultierende Reaktion von Verbrauchern und intelligenten Geräten eine Verschiebung des Verbrauchs in Zeiten mit Überschuss an regenerativen Energien erfolgen.

Einzelne Ansätze wurden bereits in der Vergangenheit dokumentiert. Es sind jedoch Ansätze erforderlich die Erzeuger- und Verbraucherseite kombinieren. Im Rahmen des E-Energy (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014) Teilprojektes SmartWatts (Deindl et al., 2014) wurden zukünftige Lösungen für ein Energiemanagement untersucht.

In der Veröffentlichung (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b) soll die Forschungsfrage „*Welche derzeitigen und zusätzlichen Entscheidungsoptionen hat ein Portfoliobetreiber unter kombinierter Betrachtung von Erzeuger- und Verbraucherseite?*“ beantwortet werden. Dazu wird ein erster Ansatz ei-

nes Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber vorgestellt, der zur Reduktion kurzfristiger Abweichungen von langfristigen Prognosen Steuerungsvorschläge für Erzeuger und Verbraucherseite liefert.

4.2. Grundlagen

Watson et al. (2010) definieren Energieinformatik als ein neues eigenständiges Forschungsfeld mit dem Ziel einer verbesserten Energieeffizienz durch Einsatz von Informationssystemen: „a research agenda to establish a new subfield of energy informatics, which applies information systems thinking and skills to increase energy efficiency“. Smart Grids erweitern die Energienetze um eine Informationskomponente und schaffen damit die Möglichkeit zur besseren Ausnutzung der Infrastruktur (Bundesnetzagentur, 2011). Kurz zusammengefasst: „Energy + Information < Energy“ (Watson et al., 2010, S. 24).

Tabelle 4.1.: Literaturübersicht zum Energiemanagement

	Erzeuger	ÜNB	Energieversorger	VNB	Verbraucher
Appelrath und Chamoni (2007)	(✓)	(✓)	(✓)		(✓)
Brandt (2007)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Tröschel und Appelrath (2009)	✓	(✓)			
Goutard (2010)	(✓)	✓	✓		
Sonnenschein et al. (2006)	(✓)		✓		✓
Eßer et al. (2007)	✓		✓		✓
Tröschel und Lünsdorf (2010)	(✓)			✓	(✓)
Molderink et al. (2010)	✓			(✓)	✓
Köpp et al. (2011)	✓				✓
Fluhr et al. (2010)				(✓)	✓
Hauttekeete et al. (2010)					✓
Stadler et al. (2009)					✓

Veröffentlichungen im Bereich Energie- und Lastmanagement können in Kategorien eingeteilt werden, die sich am Energiefluss vom Erzeuger über Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), Energieversorgungsunternehmen (EVU), Verteilnetzbetreiber (VNB) bis zum Verbraucher orientieren. Die meisten Veröffentlichungen decken nur einzelne Kategorien ab, davon i.d.R. nur eine oder zwei in der Tiefe (siehe Tabelle 4.1).

Übersichten zum Thema Energiemanagement (im Kontext der Wirtschaftsinformatik) liefern (Appelrath und Chamoni, 2007) und (Brandt, 2007). Die Forschung ist stark auf den technischen Bereich konzentriert (Appelrath und Chamoni, 2007), was durch die Literaturrecherche in (Köpp et al., 2013b, S. 40) – mit einem hohen Anteil an Publikationen der Ingenieurs-Wissenschaften im Umfeld der IEEE – mehrere Jahre später erneut bestätigt wurde. Technische Aspekte sollten jedoch nicht für sich allein gestellt ohne ökonomische und rechtliche Aspekte betrachtet werden (Eßer et al., 2007). Brandt (2007) liefert eine Sammlung von Projekten sowie IT-nahen Forschungsergebnissen in der Energiewirtschaft und weist auf den Veränderungsbedarf bei IT-Systemen/-Konzepten hin. Die Korrektur von Prognoseabweichungen ist eine wesentliche Aufgabe zur Einbindung dezentraler Erzeuger (Tröschel und Appelrath, 2009). Schlechte Prognostizierbarkeit und steigende Produktionsmengen erneuerbarer Energien (EE) führen zu einer steigenden Komplexität beim Energiemanagement und dem Bedarf einer vorausschauenden Planung über mehrere Zeitpunkte (Goutard, 2010). Tröschel und Appelrath (2009) liefern Vorschläge für (multi)agentenbasierte Systeme für VKWs und Sonnenschein et al. (2006) für Echtzeitbepreisung (RTP) mit variablen Strompreisen. Molderink et al. (2010) beschreiben einen mehrstufigen Ansatz auf Basis von individuellen Wärmebedarfsprognosen. Die Kombination von einer BHKW-Steuerung und DSM wird auch von Tröschel und Lünsdorf (2010) als Strategie für das Energiemanagement im Verteilnetz empfohlen.

4.3. Forschungsdesign

Das Forschungsdesign von (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b) basiert auf dem Design Science Research Ansatz von Hevner et al. (2004) und

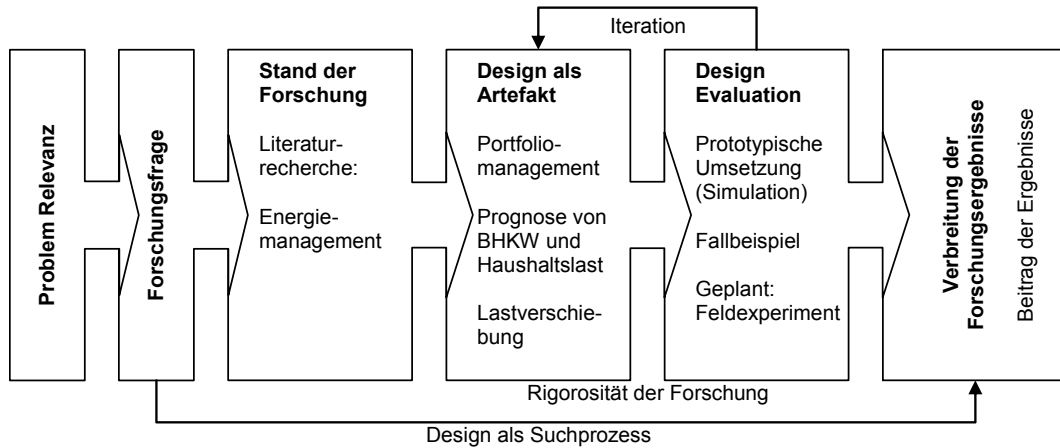


Abbildung 4.1.: Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems mit Design Science Research nach Hevner et al. (2004, S. 83)

ist in Abbildung 4.1 zusammengefasst. Die Veröffentlichungen (Köpp et al., 2013a,b) sind das Ergebnis eines Anfang 2010 begonnenen kumulativen Forschungsprozesses. Die Relevanz ergibt sich aus den veränderten Rahmenbedingungen in der Energieversorgung. Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass dafür angepasste Konzepte, die den gesamten Energiefluss betrachten, bislang nur selten diskutiert wurden. In einem iterativem Prozess wird als Artefakt das erste Konzept eines Portfoliomanagementsystems entwickelt (*Design as an Artifact*) und Teillösungen als prototypische Softwareartefakte mit Simulationsverfahren umgesetzt (*Experimental Design Evaluation*). Als weiterer Evaluationsschritt wurde der Einsatz im Rahmen eines Feldversuchs vorgesehen (*Observational Design Evaluation*). Die Veröffentlichung von Erkenntnissen (*Communication of Research*) erfolgte als Zeitschriftenartikel (Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2013a,b). Erste Zwischenergebnisse wurden zuvor im Rahmen von drei Konferenzen vorgestellt und als Konferenzbeiträge Köpp et al. (2011, 2012a, 2014c) veröffentlicht. Eine parallel angefertigte Forschungsarbeit mit einem Schwerpunkt auf die quantitative Betrachtung des VKW-Konzeptes wurde im Rahmen eines Workshops vorgestellt und in einem Sammelband veröffentlicht (Hilleke et al., 2012).

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

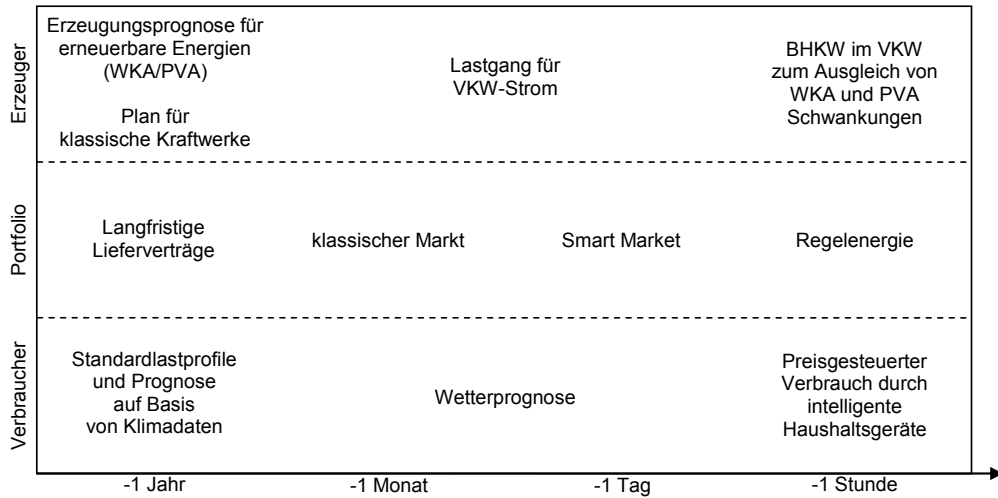


Abbildung 4.2.: Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems

Es wurden erste Teilansätze zur möglichen zukünftigen Umsetzung eines Entscheidungsunterstützungssystems für Energiemanagement entwickelt und vorgestellt. Abbildung 4.2 zeigt eine Übersicht der in einem solchen Energiemanagementsystem vorgesehenen Steuerungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der verschiedenen Planungshorizonte und die über das Portfolio (PoFo) hergestellte Verbindung der verschiedenen Marktteilnehmer. Der Betreiber des PoFos übernimmt die Funktion des heutigen EVU. Er ist bestrebt das PoFo durch langfristige Verträge möglichst kostengünstig auszugleichen und den Bedarf an (teurer) Regelenergie zu reduzieren. Neben dem konventionellen klassischen Markt wie der EEX (eher langfristig orientiert und grob granular) kann auch der SmartMarket (siehe Bundesnetzagentur (2011)) als Option zum kurzfristigen Ausgleich mit Zeithorizont von wenigen Tagen genutzt werden. Das beschriebene Entscheidungsunterstützungssystem kann bei Auswahl der passenden Methode zum Ausgleich/Lastbeeinflussung helfen.

Zur kurzfristigen Steuerung auf Verbraucherseite wurden zunächst verschiedene dynamische Strompreismodelle (RTP) durch die simulierte Reaktion von intelligenten – auf den angekündigten Strompreis reagierende – Haushaltsge-

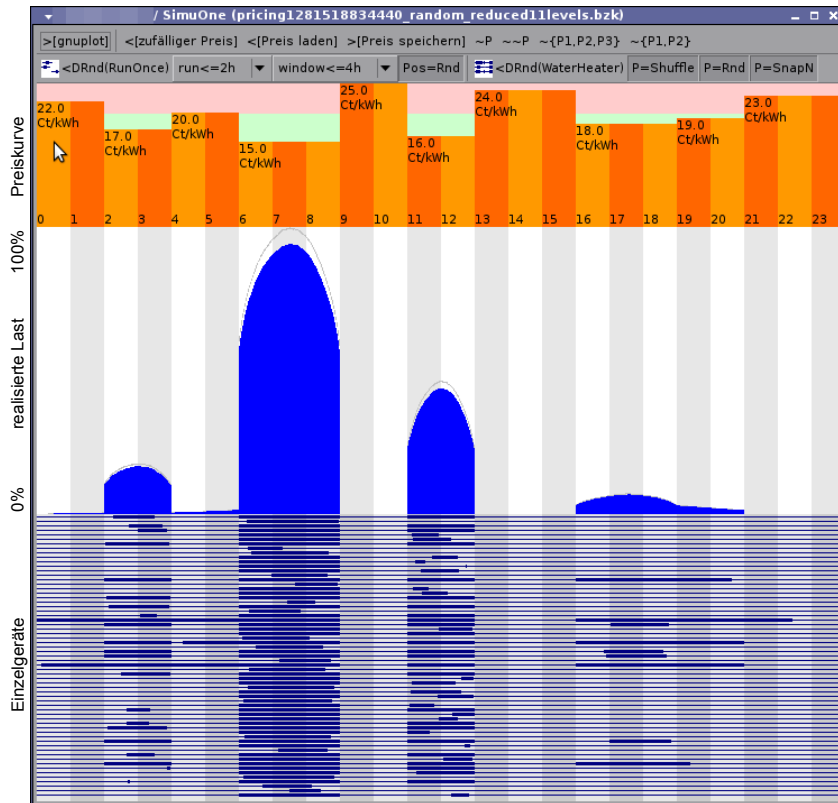


Abbildung 4.3.: Screenshot von SimuOne mit simulierten Warmwasserboilern mit großem Speicher: Preissignale (oben) führen beispielhaft zu einem beeinflussten Lastgang (mitte) und den Ausführungszeiten einzelner Geräte (unten)

räten (wie Warmwasserboiler oder andere Geräte mit Wärmespeicher und einmalig laufende Geräte wie Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler) untersucht; siehe Abbildung 4.3. Diese Untersuchungen lieferten Erkenntnisse über den Zusammenhang „Preissignal \rightarrow Laständerung“. Es wurde deutlich, dass der Zusammenhang stark von den Gerätetypen und deren Steuerungsverfahren abhängt. Für eine gezielte Steuerung im Energiemanagementsystem wird der umgekehrte Zusammenhang „gewünschte Laständerung \rightarrow induziertes Preissignal“ benötigt. Es wurde ein robustes auf KNN basiertes Verfahren entwickelt, das diesen Zusammenhang ohne einen Rückkanal allein aus den Messungen des Aggregats lernt, unabhängig ist von der Kenntnis über die Ausstattung der einzelnen Haushalte und durch kontinuierliches Nachtraining

an Veränderungen der Haushaltsausstattung angepasst werden kann.

Zum Ausgleich von Prognoseabweichungen der regenerativen Erzeuger im VKW wurde eine BHKW-Steuerung umgesetzt, die ein vorgegebenes Lastband abfährt; siehe Abbildung 4.4. Die Steuerung berücksichtigt dabei auch Wärmebedarfsprognosen zur Ermittlung des tatsächlichen Heizbedarfs und die technischen Betriebsparameter der Anlagen.

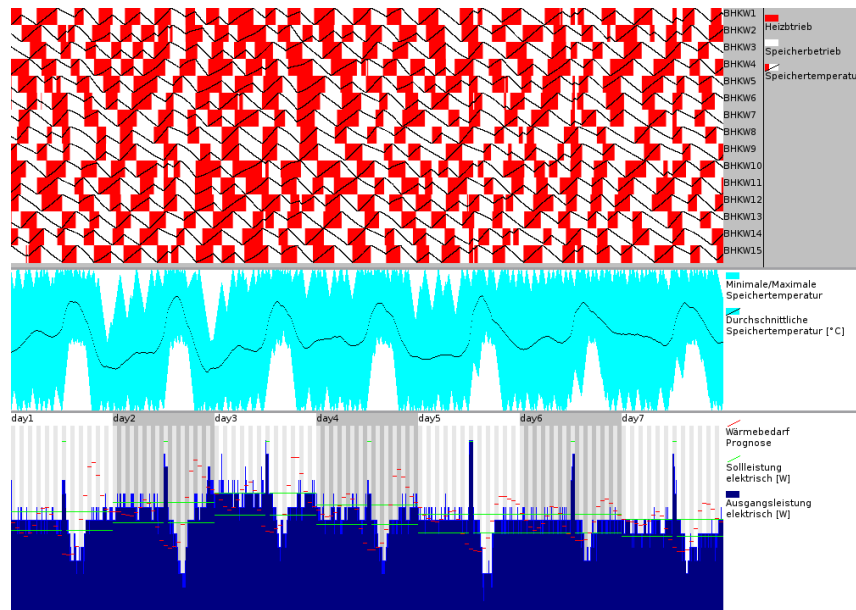


Abbildung 4.4.: Screenshot der BHKW-Simulation SimuTwo: Erzeugung einer (fast) kontinuierlichen Lastkurve (unten) durch gezieltes Schalten einzelner BHKW (oben). Die mittlere Kurve gibt die Speichertemperatur der BHKW wieder

4.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz bildet nur einzelne Bausteine ab und stellt keine vollständige Implementierung eines Energiemanagementsystems dar. Nicht alle entwickelten Konzepte konnten im Rahmen des Feldversuchs getestet werden.

Eine räumliche Komponente fehlt: Es wurde weder die örtliche Verteilung

der Einspeisung berücksichtigt noch eine lokale Differenzierung des Preismodells vorgesehen. Bislang erfolgt eine Betrachtung als „Kupferplatte“. Für den Einsatz im realen Stromnetz müsste das Konzept noch erweitert werden.

Es ist offen wie weit die beschriebene Verbrauchersteuerung real umsetzbar ist: Die rechtlichen Rahmenbedingungen für variable Strompreise sind noch nicht abschließend geklärt und die Akzeptanz von intelligenten Haushaltsgeräten und dynamischer Tarife durch die Verbraucher unklar. Es sind Untersuchungen zur Akzeptanz und zu möglichen Anreizen für Verbraucher erforderlich. Es fehlt an empirischen Untersuchungen von realitätsnahen Szenarien mit repräsentativ ausgewählten Haushalten (Hauttekeete et al., 2010). Andere Ansätze sehen sogar eine direktere Steuerung vor, reduzieren aber den Einfluss der Nutzer. Fluhr et al. (2010) sieht in Elektrofahrzeugen ein großes Potenzial zum Lastausgleich und eine intelligente Ladesteuerung in jedem Fall als erforderlich an, um für das Netz besonders belastende Peaks zu vermeiden. Vehicle 2 Grid (V2G) wurde im Fokus von SmartWatts und den Untersuchungen jedoch explizit nicht betrachtet.

In (Hilleke, Maske, Köpp, von Mettenheim und Breitner, 2012) wurde gezeigt, dass der Ausgleich mit Blockheizkraftwerk (BHKW)s im VKW nur eingeschränkt realisierbar ist. Es sollte quantitativ untersucht werden ob dieses Konzept in Kombination mit DSM zum Lastausgleich ausreicht.

Die Ergebnisse basieren zum Teil auf Simulationen: So konnte im Feldversuch kein Vergleich mit realen BHKWs durchgeführt werden und die verfügbaren Haushaltsgeräte und intelligenten Steckdosen waren weniger intelligent als die zuvor simulierten Geräte. Da im Rahmen des Feldversuchs keine direkte Abrechnung nach dem genutzten Preismodell erfolgte, ist auch das Verhalten der Teilnehmer nur eingeschränkt mit einem realen Einsatz vergleichbar. Es ist davon auszugehen, dass die beobachtbare Steuerungswirkung durch die Rahmenbedingungen im Feldversuch reduziert wurde. Eine insgesamt bessere Steuerungswirkung könnte möglicherweise durch eine globale Steuerung und Optimierung erzielt werden, würde allerdings auch eine erhöhte Kommunikation erfordern und somit Vorbehalte aus Datenschutzsicht fördern. Weitere Unsicherheiten ergeben sich aus dem gewählten Szenario 2020 und der in Deutschland noch geringen Verbreitung von SmartMetering.

4.6. Einordnung der Publikation

Der Aufsatz (Köpp et al., 2013a,b) entstand in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim und Prof. Dr. Michael H. Breitner. Dieser wurde erstmalig am 2011-03-01 für das Schwerpunktheft 1/2012 „Internet der Energie/Smart Grids“ eingereicht; siehe Call for Papers (Terzidis et al., 2010b,a). Es erfolgte eine doppelt-blinde Begutachtung mit „drei internationalen Experten aus Wissenschaft und Praxis (davon normalerweise zwei aus der Wissenschaft und einer aus der Praxis)“ (Buhl, 2009, S. 4). Der Beitrag wurde nach zwei Review-Runden zunächst nicht für die Veröffentlichung im Rahmen des Sonderheftes vorgesehen. Der Gast-Herausgeber Orestis Terzidis forderte zur erneuten Einreichung einer überarbeiteten Version auf. Am 2012-07-17 erfolgte die erneute Einreichung einer umfangreich überarbeiteten Version für eine reguläre Ausgabe der Zeitschrift. In den Reviews der dritten Runde sprachen sich am 2012-09-26 zwei der drei Gutachter für eine inhaltlich unveränderte Veröffentlichung aus, der dritte formulierte geringfügige Änderungswünsche. Am 2012-10-08 wurde der Beitrag durch den Herausgeber Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl angenommen und 2013 veröffentlicht.

Die Annahmequote der Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK/Business & Information Systems Engineering (BISE)* ist in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken, von „<30%“ vor 2009 (Buhl, 2009, S. 4) über 18% in 2010-2011 (Business & Information Systems Engineering, 2013) auf 16% in 2014 (Business & Information Systems Engineering, 2015).

Die Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* erscheint (unter verändertem Titel) bereits seit 1959 und wird in vielen internationalen Zeitschriftenrankings in der Kategorie **A** geführt (Business & Information Systems Engineering, 2015), als einzige nicht englischsprachige Zeitschrift (Winter, 2009). Auch von der Wissenschaftlichen Kommission Wirtschaftsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (WKWI) und des Fachbereichs Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik (GI-FB WI) wird die *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* bzw. *BISE* als einzige deutschsprachige Zeitschrift der höchsten Kategorie **A** in der *WI-Journalliste* zugeordnet (Heinzl et al., 2008, S. 160).

Im VHB-JOURQUAL3 des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (Hennig-Thurau et al., 2015) wird die Zeitschrift im Teilrating für Wirtschaftsinformatik auf Basis des Bewertungsmedians in der Kategorie **B** geführt (Hennig-Thurau und Sattler, 2015b). *Business & Information Systems Engineering (BISE)* hat innerhalb des Teilratings die zweitmeisten Bewertungsstimmen erhalten, was eine hohe Reichweite der Zeitschrift innerhalb der deutschen Betriebswirtschaft im Bereich Wirtschaftsinformatik zeigt. Fast die Hälfte der abstimmenden Hochschullehrer haben sich für die Kategorie **A** (35,1%) oder sogar **A+** (8,3%) ausgesprochen.

Im Rahmen der Internationalisierung erscheint die Zeitschrift seit 2009 parallel in deutscher und englischer Sprache (Winter, 2009). Entsprechend wurde der Artikel zweisprachig als „*Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber*“ (Köpp et al., 2013a) und „*Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators*“ (Köpp et al., 2013b) veröffentlicht.

Die Veröffentlichung wurde von Kranz et al. (2015)¹, Klima und Winkelmann (2015) und Bauer (2014) zitiert, sowie von *Springer für Professionals* als Leseempfehlung zum Thema *Erneuerbare Energien – Software unterstützt Kraftwerksplaner* genannt (Voith, 2014).

¹In den Referenzen von (Kranz et al., 2015) wird der in Abschnitt 6 diskutierte Beitrag (Köpp et al., 2014b) aufgeführt, die Zusammenfassung der Ergebnisse in der tabellarischen Übersicht (Kranz et al., 2015, S. 5) entspricht jedoch den Inhalten von (Köpp et al., 2013b). Angesichts identischer Autoren und Zeitschrift von (Köpp et al., 2013b) und (Köpp et al., 2014b) ist hier von einer Verwechslung beim Einpflegen in die Literaturliste auszugehen.

Kapitel 5.

Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten

5.1. Einführung

Seit Jahren steigt der Anteil von Drittmitteln an deutschen Hochschulen. Die Einwerbung und Nutzung von Drittmitteln ist vielfach zu einem zwingenden Erfordernis geworden, da die Grundmittelversorgung nicht im selben Verhältnis wie die Kosten steigt (Statistisches Bundesamt, 2009). Einzelne Fachbereiche finanzieren sich inzwischen fast zur Hälfte aus Drittmitteln. Das Gesamtvolumen an Drittmitteln hat sich innerhalb von zehn Jahren mehr als verdoppelt (Statistisches Bundesamt, 2009; Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2012). Neben anderen Kennzahlen wie der Anzahl von Veröffentlichungen und Promotionen wird das Drittmittelvolumen inzwischen auch als Indikator für Qualität der Forschung – und damit die Reputation einer Hochschule im Rahmen von Rankings – betrachtet (Berghoff et al., 2009).

Das Management von Forschungsressourcen unterscheidet sich von konventioneller Ressourcenverwaltung wie sie von Standard-ERP-Lösungen abgedeckt wird. Um in Drittmittelprojekten eine „effiziente stichtaggebundene und richtlinienkonforme Mittelausschöpfung“ (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) zu erreichen, entstehen auf Institutsebene hohe Aufwände, um die zur Verwaltung der beteiligten Forschungsressourcen erforderlichen Informationen zu aggregieren (Ebeling et al., 2011). Bereits an Hochschulen vorhandene Softwarelösungen bedienen primär die Anforderungen der zentralen Verwaltung und nehmen auf abweichende oder ergänzende Anforderungen der dezentralen Organisationseinheiten wie Institute und Fakultäten keine Rücksicht (Ebeling et al., 2011). Die ungenügende Unterstützung der dezentralen Prozesse wird häufig durch den Einsatz von Schattensystemen geschlossen, die jedoch immer noch einen hohen manuellen Zusatzaufwand mit sich bringen und inkonsistente Datenbestände begünstigen (Behrens und Sedera, 2004).

In der Veröffentlichung (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) sollen die Ist-Situation unter Einsatz einer beispielhaften Implementierung eines Schattensystems an Deutschen Hochschulen dokumentiert und die Forschungsfrage „*Wie kann das Forschungsressourcenmanagement an deutschen Hochschulen durch den Einsatz einer spezialisierten IT-Lösung verbessert werden?*“ beantwortet werden.

5.2. Grundlagen

euroCRIS (oJ) definiert ein Forschungsinformationssystem (CRIS) als „any informational tool dedicated to provide access to and disseminate research information“ bestehend aus einem Datenmodell und einem Tool(-Set) zur Verwaltung der Daten. Obwohl das Management von Forschungsressourcen schon seit über 30 Jahren gelegentlich thematisiert wird, existieren bislang keine einheitlichen Standards und Prozesse für CRIS (Hornbostel, 2001). Forschungsinformationen sind für verschiedene Akteure innerhalb und außerhalb von Hochschulen relevant, deren Anforderungen unterscheiden sich jedoch stark (Ebeling et al., 2011). Im Rahmen gegenseitiger Konkurrenz von Forschungseinrichtungen ist eine standardisierte Datenbereitstellung von Vorteil (Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2012; Berghoff et al., 2009). Bisher eingesetzte CRIS sind nicht auf das Management von Forschungsressourcen spezialisiert, sondern fokussieren sich eher auf die Außendarstellung (Berkhoff et al., 2012).

Beim Umgang mit Drittmittelprojekten ergeben sich auf Fakultäts- oder Institutsebene besondere Anforderungen: Geldgeber fordern transparente Nachweise über Mittelverwendung entsprechend ihrer Richtlinien (Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2012), um Missbrauch und Verschwendung zu vermeiden. Zur strikten Einhaltung der sehr unterschiedlichen Verwendungsrichtlinien (Ebeling et al., 2011) ist eine permanente Kontrolle erforderlich. Der hierzu erforderliche Aufwand steigt mit Anzahl der Geldgeber und Projekte. Insbesondere auch für eine lückenlose Beschäftigung und Finanzierung von Mitarbeitern ist eine langfristige projektübergreifende Planung und Überwachung notwendig.

Durch historisches Wachstum sind an deutschen Hochschulen ineffiziente Strukturen entstanden mit heterogenen IT-Landschaften, Insellösungen und redundanten Systemen (Sprenger et al., 2010). Integrierte ERP-Systeme wurden vielfach eingeführt, spezielle Erweiterungen wie CRIS sind allerdings die Ausnahme, so dass forschungsrelevante Daten über mehrere Systeme verteilt liegen (Ebeling et al., 2011). Vorhandene Systeme orientieren sich eher an den Anforderungen von zentraler Verwaltung, nicht jedoch an denen auf Fakultäts- oder Institutsebene. Dadurch entstehen Schattensysteme (Behrens und Sedera,

2004) – inoffiziell und ohne Abstimmung mit der zentralen Verwaltung – die häufig auf Excel oder Access basieren (Martens und Teuteberg, 2009). Diese ziehen dann eine Heterogenität, Instabilität, Redundanz und Inkonsistenz in der IT-Landschaft nach sich (Ebeling et al., 2011; Sprenger et al., 2010).

5.3. Forschungsdesign

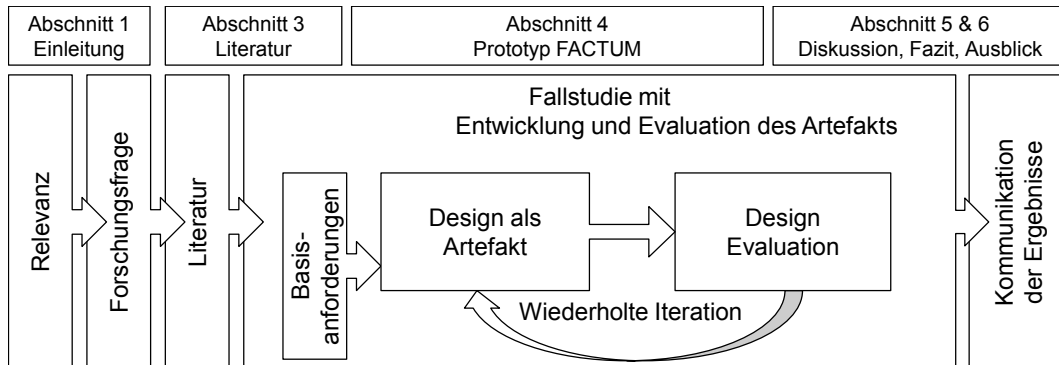


Abbildung 5.1.: Forschungsdesign (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013)

Das Forschungsdesign basiert auf dem Design Science Research Ansatz von Hevner et al. (2004) und ist in Abbildung 5.1 zusammengefasst. Die Relevanz ergibt sich aus der veränderten Finanzierungsstruktur und der bislang fehlenden Abbildung der dafür auf Institutebene benötigten Funktionen in zentralen Hochschulsystemen. Aus den Erkenntnissen vorhergehender Forschungsarbeiten wurden Basisanforderungen auf Institutebene abgeleitet.

Auf Basis dieses Anforderungskatalogs wurde eine Instanz eines prototypischen Systems als *Artefakt* erstellt. Der Prototyp wurde im Rahmen einer einzelnen Fallstudie nach Yin (2009) evaluiert (*Design Evaluation*). Nach Hevner et al. (2004) ist dies ein notwendiger erster Schritt in der Entwicklung. Entwicklung und Evaluation erfolgen iterativ und inkrementell, teilweise parallel. Die Erkenntnisse aus der Evaluation (Einsatz durch Endanwender) fließen jeweils unmittelbar in den Entwicklungsprozess ein, als Änderung oder Erweiterung der Funktionalität (*Design as a Search Process*). Herstellung und Nutzung des Artefakts erlauben ein besseres Verständnis der untersuchten Fragestellung

und zeigen die Machbarkeit des beschriebenen Konzepts (Hevner et al., 2004; Nunamaker et al., 1991). Nachdem die Anforderungen in der Testphase der Fallstudie hinreichend erfüllt sind, wird der Entwicklungsprozess abgeschlossen (Hevner et al., 2004).

5.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Beginn	Ende	Nachname	Vorname	Personal-Nr.	Anmerkungen	Reset	Prüfen	Übernehmen				
01.11.2011	unbefristet	Anno	Nymus	4711	Anonymer Mitarbeiter für €							
Monat	Status	Tarifgruppe	Stellenanteil [0,1]	Budget [0,1]	LOM [0,1]	Fond	Projekt 1 Anteil	Projekt 1 Realkosten	Projekt 2 Anteil	Projekt 2 Realkosten	Normkosten	Realkosten
2011-11	aktiv	HVM	0.5	0.5							703.79 €	0.00 €
2011-12	aktiv	HVM	0.5	0.5							703.78 €	0.00 €
2012-01	aktiv	A11	0.5			98765	0.5	2,448.17 €			2,479.00 €	2,448.17 €
2012-02	aktiv	A12	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-03	aktiv	A13	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-04	aktiv	A14	0.75	0.25		98765	0.5	2,448.17 €			3,718.50 €	2,448.17 €
2012-05	aktiv	A15	1	0.25	0.25	98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-06	aktiv	A16	1	0.1	0.4	98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-07	aktiv	AZUBI	1		0.5	98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-08	aktiv	HVM	1			98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	2,448.17 €
2012-09	aktiv	3	1			98765	0.5	2,448.17 €			4,958.00 €	4,896.34 €
2012-10	aktiv	3	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €			3,966.40 €	2,448.17 €
2012-11	inaktiv	3	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €			3,966.40 €	2,448.17 €
2012-12	aktiv	E13	0.8	0.3		100	0.5	2,448.17 €			3,966.40 €	2,448.17 €
2013-01	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-02	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-03	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-04	inaktiv										0.00 €	0.00 €
2013-05	aktiv	E14	1	0.3	0.2	100	0.5	3,317.48 €			6,601.00 €	3,317.48 €
2013-06	aktiv	E14	1	0.3	0.2	100	0.5	3,317.48 €			6,601.00 €	3,317.48 €

Abbildung 5.2.: FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern

Durch FACTUM (Finance Allocation and Cockpit Tool for University Management; siehe Beispiel-Screenshot in Abbildung 5.2) wurde beispielhaft ein Schattensystem zum dezentralen Management von Forschungsressourcen umgesetzt und in einer Fallstudie mit Testnutzern am IZMP der MHH evaluiert. Entwicklung und Evaluation erfolgten über einen Zeitraum von zwei Jahren. Nach Abschluss der Testphase erfolgte ein Einsatz über mehrere Monate. Zum Zeitpunkt der Fallstudie hatte das IZMP eine komplexe Finanzierungsstruktur mit hohem Drittmittelanteil aus verschiedenen Quellen. Zur Abdeckung der zentralen Anforderungen wird an der MHH ein Enterprise Resource Planning (ERP) von SAP mit Individualsoftware für Controlling eingesetzt. In der Ausgangssituation fehlten auf Institutsebene Lösungen für Entscheidungsunterstützung und Ressourcenplanung, Daten waren auf mehrere Systeme verteilt und lagen teilweise nur in Papierakten vor. Die Aggregation vorhandener

Daten verursachte einen hohen Zeitaufwand. Der Prototyp dokumentiert die Umsetzung der aus vorherigen Forschungsarbeiten und einer Ist-Analyse identifizierten dezentralen Anforderungen. Darüber hinaus dokumentiert der Prototyp auch ein minimales Datenmodell mit dem diese Anforderungen erfüllt werden können (siehe Abbildung 5.3).

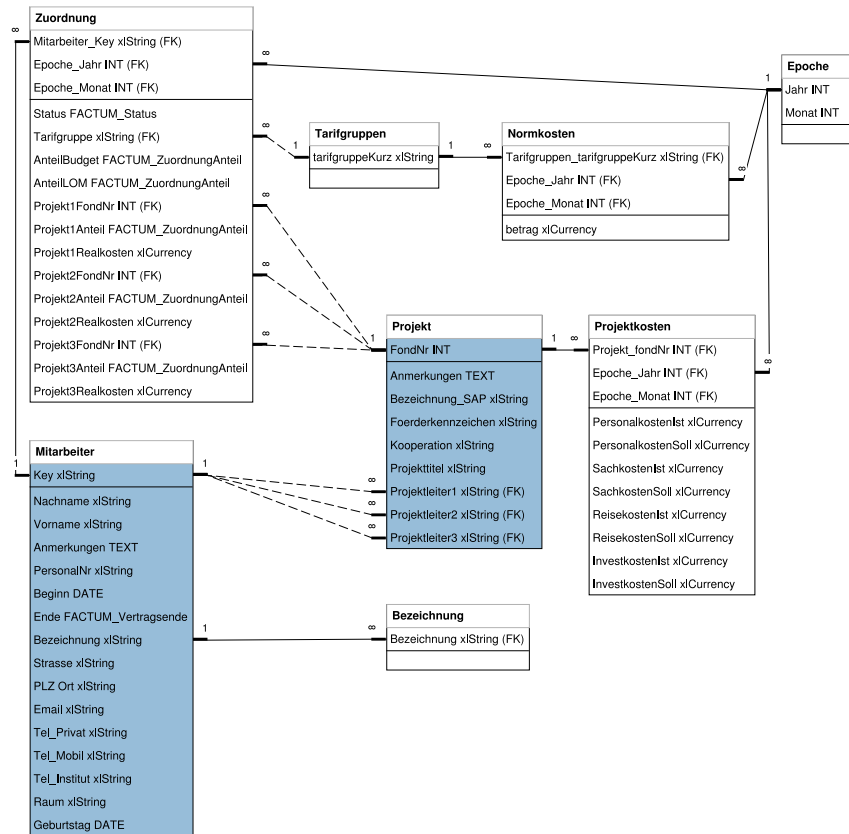


Abbildung 5.3.: Zugrundeliegendes Datenmodell von FACTUM

Gegenüber der Ausgangssituation wurden durch Einsatz von FACTUM signifikante Verbesserungen in den Anforderungsbereichen *Multiprojektunterstützung*, *Entscheidungsunterstützung* und *Kennzahlenüberwachung* beobachtet. Weitere Verbesserungen zeigten sich in den Bereichen *Integrierte Softwarelösung*, *Einheitliches Datenmodell*, *Prozess- und Workflow-Orientierung*, *Intuitive Benutzerführung*, *Prognose-Funktionen*, *Richtlinien- und Termin-Überwachung* sowie *Automatische Berichtgenerierung*. Bei der Bereitstellung von Echtzeitinformationen ergibt sich keine Änderung, da auch die zentralen Systeme dies

nicht abdecken können. Eine signifikante Verschlechterung ergibt sich im Bereich Datenschutz, da in der Excel-Lösung keine abgestuften Zugriffsberechtigungen vergeben werden können.

Es zeigen sich zwar deutliche Grenzen von Schattensystemen, diese werden jedoch von den Nutzern in Kauf genommen so lange die dezentralen Anforderungen nicht durch zentrale Systeme abgedeckt werden. Für die zentrale Verwaltung ergeben sich Nachteile aus dem Einsatz von Schattensystemen. Mit steigendem Drittmittelvolumen ist jedoch mit einem zunehmenden Einsatz zu rechnen, so lange zentrale Systeme die Anforderungen auf Institutsebene nur ungenügend abbilden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind nützlich als Basis zur Entwicklung integrierter Systeme bzw. der Erweiterung bestehender Systeme.

5.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick

Trotz langer Projektlaufzeit ist davon auszugehen, dass das Softwareartefakt FACTUM keine vollständige Abdeckung aller auf dezentraler Ebene vorhandenen Anforderungen erreicht. Teilweise ist dies bedingt durch technische Limitationen eines Schattensystems, wie fehlende Schnittstellen. Angesichts der Einzelfallbetrachtung kann eine abschließende Beantwortung der Forschungsfrage jedoch generell nicht garantiert werden: Die Basisanforderungen wurden zwar unabhängig von der Fallstudie aus der Literatur abgeleitet, durch den iterativen Entwicklungsprozess erfolgte jedoch auch eine starke Ausrichtung auf die individuellen Anforderungen der Testnutzer. Es hat sich gezeigt, dass diese Anforderungen auch innerhalb eines Instituts stark mit der befragten Person variieren und sich im Laufe der Zeit verändern. So zeigte sich im Rahmen einer informellen Befragung nach Veröffentlichung von (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013), dass die an der MHH eingesetzte Software COINS um Funktionen erweitert wurde, die sich mit der Funktionalität von FACTUM überschneiden. Auch die Struktur der Mitarbeiterfinanzierung hatte sich derart verändert, und neue als „elementar wichtig“ wahrgenommene Anforderungen wurden nicht abgedeckt, so dass der wahrgenommene Nutzen einer parallelen Datenpflege in

FACTUM entfallen ist. In einem Einzelfall wurde FACTUM als kompliziert wahrgenommen, gerade weil es auf Basis von Excel realisiert wurde.

Die aus der Fallstudie gewonnenen Aussagen haben nur eine eingeschränkte Allgemeingültigkeit, können jedoch als Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen von integrierten Systemen und weitere Forschung dienen. Im Anschluss an das Projekt hat sich die Eigenschaft von Schattensystemen zur lediglich kurzfristigen Überbrückung bestätigt, nachdem einzelne Anforderungen bereits durch die zentralen Hochschulsysteme abgedeckt wurden. Eine breitere Abdeckung kann jedoch erst langfristig erfolgen. Im Rahmen weiterer Untersuchungen sollte erfasst werden, welche Verbesserungen bereits in die zentralen Hochschulsysteme Einzug gefunden haben. Zur Unterstützung der Umsetzung sollten weitere Fallbeispiele betrachtet, die Wahrnehmung der zentralen Verwaltung für die Belange auf Institutsebene sowie auch Migrationen von Schattensystemen hin zu zentralen Lösungen untersucht werden.

5.6. Einordnung der Publikation

Der Beitrag (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) entstand in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ök. Britta Ebeling und Prof. Dr. Michael H. Breitner. Am 2012-08-12 erfolgte die Einreichung für den Track „*Integrated Systems in Service Industries*“ der *11. internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI2013)*. Die eingereichten Beiträge wurden im Rahmen eines doppelblinden Review-Prozesses von 3 Gutachtern bewertet, die Gutachten wurden am 2012-09-25 übergeben. Stärken des Beitrags bestehen aus Sicht der Gutachter in der hohen praktischen Relevanz, der „Umsetzung eines umfassenden Prototypen“ und dessen nachvollziehbarer Beschreibung. In einer Antwort an die Reviewer wurde am 2012-09-29 auf 3 Aspekte die von 2 Gutachtern aufgeworfen wurden eingegangen. Am 2012-11-14 wurde der Beitrag von den Track Chairs und den Mitgliedern des Programmkomitees unter Auflagen angenommen. Nur 11 von 51 eingereichten Beiträgen wurden als „conditionally accept“ ausgewählt. Die überarbeitete Version des Beitrags wurde am 2012-11-28 erneut eingereicht und am 2012-12-07 final angenommen. Der im Konferenzband zur WI2013 und online publizierte Beitrag (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) entspricht der

am 2012-12-18 als „Camera Ready“ eingereichten finalen Version.

»Mit 18% liegt die Annahmquote von Track 3 damit im internationalen Vergleich bei „B+“ oder sogar „A-“.«(Breitner und Schumann, 2013, S. 279)
Zum Vergleich: Im Zeitraum 2012 bis 2014 lag die Annahmquote der als „A“ klassifizierten ICIS bei 26-29% (Huang et al., 2012; Baskerville und Chau, 2013; Karahanna et al., 2014).

Die *Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik* ist mit regelmäßig mehr als 700 Teilnehmern (wi2015, 2015) die „größte, seit 1993 zweijährig stattfindende Wirtschaftsinformatik-Konferenz im deutschsprachigen Raum“ (Turowski, 2015). Die Konferenzbände der WI werden von der Wissenschaftliche Kommission Wirtschaftsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (WKWI) und des Fachbereichs Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik (GI-FB WI) der höchsten Kategorie **A** zugeordnet. Innerhalb der *WI-Liste der Konferenzen, Proceedings und Lecture Notes* sind darüber hinaus nur noch zwei weitere Konferenzen (ECIS und ICIS) in dieser Kategorie aufgeführt (Heinzl et al., 2008, S. 162).

Nach Veröffentlichung wurde der Beitrag bereits in mindestens 3 wissenschaftlichen Beiträgen externer Autoren zitiert (Gröger und Schumann, 2014a,c,b).

Kapitel 6.

**Decision Analytics with Heatmap
Visualization for Multi-Step
Ensemble Data: An Application of
Uncertainty Modeling to Historical
Consistent Neural Network and
other Forecasts**

6.1. Einführung

Zu den typischen Aufgaben eines Entscheidungsunterstützungssystems (DSS) gehört die Erzeugung, Bereitstellung und Aufbereitung von Prognosen für Entscheider. Auf Basis dieser Informationen werden Entscheidungen getroffen. Dabei sollen zum einen möglichst viele der verfügbaren Informationen genutzt werden, zum anderen müssen diese jedoch auch auf eine für Menschen überschaubare Darstellung aggregiert werden um eine Reizüberflutung des Entscheiders zu verhindern. Durch Kombination mehrerer Einzelprognosen zu einem Ensemble kann die Prognosegüte deutlich verbessert werden (Zhang und Berardi, 2001). Zur weiteren – u.U. automatisierten – Nutzung wird das Ergebnis einer solchen Ensembleprognose häufig auf einen einzelnen Wert reduziert (Welch, 2001; Hansen, 2008). Die Information zur Verteilung der Einzelprognosen geht dabei jedoch verloren. Besonders deutlich zeigt sich dieser Informationsverlust bei multimodal verteilten Prognoseergebnissen: bei diesen fallen Mittelwert oder Median nicht zwingend mit einer der Häufungen von Einzelprognosen zusammen. Mittelwert und Median sind in diesem Fall irreführend, da diese Werte der Mehrzahl der Einzelprognosen widersprechen.

Mehrschrittprognosen beschränken sich nicht auf einen einzelnen Zeitpunkt, sondern liefern eine Zeitreihe von mehreren zeitlich aufeinander folgenden Prognosen. Besonders einfach können solche Ensembles mit Historical Consistent Neural Networks (HCNNs), einer neuen Klasse von Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) erzeugt werden (Zimmermann et al., 2010; von Mettenheim und Breitner, 2010). Durch das Training mit zufällig initialisierten Werten kann eine beliebige Anzahl von guten Prognosen erzeugt werden. Der vorgestellte Ansatz kann allerdings auch mit anderen Prognoseverfahren genutzt werden, die in der Lage sind, eine unbegrenzte Anzahl von Prognosepfaden basierend auf historischen Daten zu erzeugen. Dies umfasst u.A. Evolutionäre Programmierung und Monte Carlo Simulation.

In der Veröffentlichung (Köpp et al., 2014b,a) soll die Forschungsfrage „*Wie können wir die vollständigen Prognoseinformationen unter Erhaltung aller Verteilungsinformationen intuitiv für Entscheider darstellen?*“ beantwortet werden.

6.2. Grundlagen

Potter et al. (2009) betonen zum einen enorme Leistungsfähigkeit von Ensembleprognosen, zum anderen aber auch die gewaltigen Herausforderungen bei deren Visualisierung. Uchida und Itoh (2009) sehen bei Plots mit vielen Pfaden in der Lesbarkeit von sich überschneidenden Linien ein generelles Problem für Techniken der Informations-Visualisierung und weisen darauf hin, dass sich bereits viele wissenschaftliche Arbeiten diesem Thema gewidmet haben. Andrienko und Andrienko (2005) weisen darauf hin, dass ein einfacher Plot mit bereits hundert Zeitreihen durch überlappende Linien vollkommen unbrauchbar wird und schlagen daher eine Aggregation vor. Aggregierte Darstellungen haben sich als gängige Praxis bei der graphischen Darstellung von Zeitreihen-Ensembles etabliert. Üblich sind hier vor allem der Mittelwert oder Median (siehe Abbildung 6.2(a) auf Seite 74), teilweise noch ergänzt durch Quantile und Extrema (siehe Abbildung 6.2(b)). Beispiele hierzu finden sich u.A. in (Andrienko und Andrienko, 2005; Andrienko et al., 2010; Buono et al., 2007; Feng et al., 2010).

Aigner et al. (2007) stellen Interaktivität als wichtigen Teil von Visualisierung heraus. Interaktivität wird auch von May et al. (2010) bei der Definition von Visual Analytics hervorgehoben. Eine Sammlung weiterer Definitionen von Visual Analytics liefert (Aigner et al., 2013). Diese stellen den menschlichen Faktor, die Entdeckung des Unerwarteten und die Interdisziplinarität von Visual Analytics heraus.

Mit Fanplots oder Fancharts existiert ein ähnliches Konzept, das ebenfalls eine Heatmap-ähnliche Darstellung nutzt um Unsicherheit abzubilden. Diese werden u.A. für Makroökonomie (Elder et al., 2005) und für Bevölkerungsprognosen genutzt (Raymer et al., 2012) genutzt. Die Darstellung basiert auf einer Verteilung um den Modus als Zentrum. Nach Definition werden 90% des prognostizierten Wertebereiches eingefärbt. Abel (2012) präsentiert drei Anwendungsbeispiele. Ensembledaten können durch Nutzung der Perzentile (Abel, 2013) als Fanplot dargestellt werden, die multimodalen Verteilungsinformationen gehen dabei jedoch verloren. Ein Prognoseergebnis „weiß nicht“ ist somit nicht mehr möglich.

6.3. Forschungsdesign

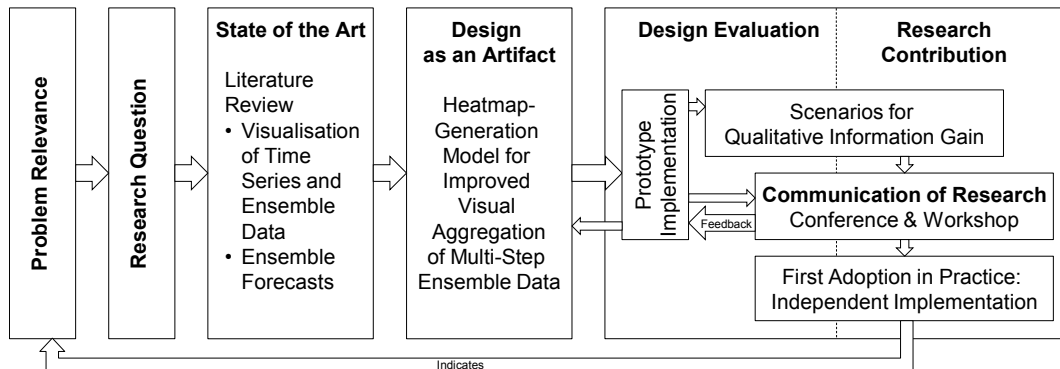


Abbildung 6.1.: Forschungsdesign inspiriert durch Hevner et al. (2004, S. 83)

Das Forschungsdesign basiert auf dem Design Science Research Ansatz von Hevner et al. (2004) und ist in Abbildung 6.1 zusammengefasst. Die Veröffentlichungen (Köpp et al., 2014b,a) sind das Ergebnis eines Anfang 2011 begonnenen kumulativen Forschungsprozesses. Teilergebnisse wurden zuvor im Rahmen eines Workshops (Köpp et al., 2012b) und eines Konferenzbeitrages (von Mettenheim, Köpp und Breitner, 2012) vorgestellt und in diesem Rahmen mit anderen Wissenschaftlern und Praktikern diskutiert (*Communication of Research*). Die Relevanz der Forschung ergibt sich aus der praktischen Anwendung von Prognosemodellen die Ensemble-Zeitreihen erzeugen und dem Informationsverlust, der bei gängigen Aggregationsverfahren erfolgt. Die *Business Relevance* des Verfahrens wird schließlich durch eine bereits erfolgte unabhängige Nachimplementierung durch KNN-Prognose-Experten in einem internationalen Industrieunternehmen untermauert.

Als *Artefakt* im Rahmen des Design Science Research Prozesses entstand ein formales mathematisches Modell zur Heatmap-Generierung. Im ersten Schritt der Evaluation wurde dieses in einem Softwareprototyp implementiert. In Kombination mit einem realen Beispielszenario – einer Gas-Preis-Prognose – und einem künstlichen Szenario – für eine deutliche Sichtbarkeit der Interpolation – wurde im Rahmen einer Deskriptiven *Design Evaluation* mit Szenarios (Hevner et al., 2004, S. 86) die Nützlichkeit durch den Informationsgewinn demonstriert.

6.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch die Darstellung als Heatmap (siehe Abbildung 6.2(d)-(f)) stehen Entscheidern deutlich mehr Prognoseinformationen zur Verfügung als bei der üblichen Aggregation auf Mittelwert und Median (Abbildung 6.2(a)). Bei der Einschränkung auf Mittelwert und Median gehen Informationen zur Prognoseunsicherheit verloren. Auch eine ergänzende Darstellung von Quartilen (Abbildung 6.2(b)) kann nur sehr eingeschränkte Informationen zur Verteilung der Einzelprognosen liefern. Bei Darstellung aller Einzelprognosen (Abbildung 6.2(c)) würde der wahrnehmbare Informationsgehalt wieder abnehmen. In der Heatmap-Darstellung werden die Verteilungsinformationen in sichtbarer Form erhalten. Das ermöglicht insbesondere eine deutlich bessere Einschätzung der Prognose(un)sicherheit. Neben „steigt“ und „sinkt“ erlauben die Verteilungsinformationen noch ein drittes Prognoseergebnis „weiß nicht“, wenn sich die Ensemblemitglieder widersprüchliche Prognosen liefern. Wenn sich das Ensemble in verschiedene Pfade aufspaltet, dann können die Prognosen bei Betrachtung von Mittelwert oder Median in einem Wertebereich liegen, der von keinem einzigen Ensemblemitglied vorhergesagt wurden und liefern somit eine potentiell gefährliche Fehlinformation. Die Heatmap-Darstellung ermöglicht ein intuitives Erkennen solcher Situationen.

Durch Interpolation zwischen den Zeitschritten (Abbildung 6.2(f) mit und (e) ohne) werden zusätzliche Informationen zur Verbesserung der Darstellung gewonnen. Einzelne Pfade werden durch Interpolation sichtbar und es entsteht die Möglichkeit zwischen parallel verlaufenden und sich überkreuzenden Pfaden zu unterscheiden.

Mit dem Prototyp wurden insgesamt 15 verschiedene Heatmap-Typen implementiert. Diese liefern teilweise sehr unterschiedliche optische Ergebnisse. Einige sind parametrierbar. Durch verschiedene Optimierungen am Prototyp und Algorithmen zur Kernel-Berechnung konnte gezeigt werden, dass das Visualisierungsverfahren auch für eine interaktive Navigation in umfangreichen Zeitreihen und zeitkritischen Prognoseanwendungen wie z.B. Live Trading geeignet ist.

Kapitel 6. Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten

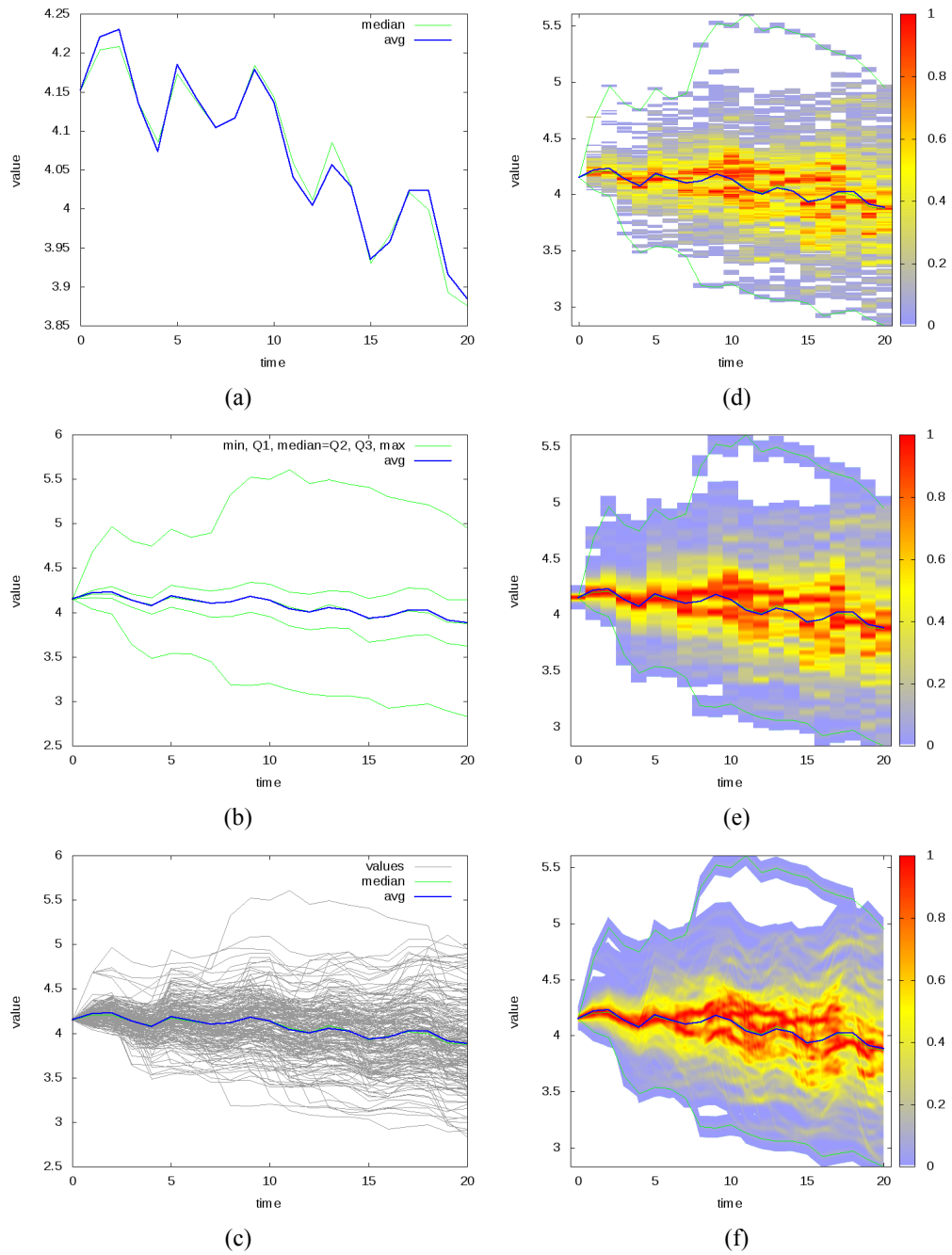


Abbildung 6.2.: Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten

6.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick

Eine entscheidende Einschränkung ergibt sich aus der visuellen Ausrichtung des Verfahrens: Für menschliche Entscheider sind die dargestellten Informationen leicht interpretierbar, offen ist jedoch die Frage ob und wie eine automatisierte Auswertung erfolgen könnte.

Das Feedback von Forschern und Praktikern als Prognoseexperten fiel im informalen Rahmen der Konferenz- und Workshop-Präsentation positiv aus. Darüber hinaus wurde die (wahrgenommene) Nützlichkeit des Verfahrens jedoch noch nicht empirisch bestätigt. Da der Nutzer als eine wichtige Komponente in Visual Analytics angesehen wird (Keim et al., 2006; Aigner et al., 2013), sollte eine formale Untersuchung des Verfahrens z.B. auf Basis des Technology Acceptance Model (TAM) (Davis et al., 1989) erfolgen. Aus einer positiven Wahrnehmung des Verfahrens ergeben sich jedoch nicht automatisch auch tatsächlich verbesserte Entscheidungen. Bislang erfolgte lediglich eine deskriptive qualitative Evaluation des Verfahrens. Ergänzend sollte mit Benchmarks überprüft werden, ob sich aus den zusätzlich sichtbaren Prognoseinformationen und einem darauf basierendem 3-Zustands-Modell (zunehmend, abnehmend, unsicher) ein quantifizierbarer Vorteil in realen Prognoseanwendungen ergibt gegenüber einer reinen Aggregation auf Mittelwert oder Median. Es gilt jedoch als schwierig, den Anteil, den eine bessere Datenvisualisierung zur Verbesserung komplexer Entscheidungsprozesse beiträgt, zu messen (Potter et al., 2012).

Die spaltenweise Normierung verbessert zwar einerseits die Sichtbarkeit der Verteilungsinformationen, erhöht andererseits aber auch das Risiko von Fehlinterpretationen. Dieses Problem könnte durch ergänzende visuelle Indikatoren reduziert werden. Bisher wurde das System nur durch Experten genutzt. Für Nutzer mit wenigen Vorkenntnissen wäre eine Unterstützung/Vorauswahl des Kernel und der Parameter vorteilhaft.

Die Visualisierung ist unabhängig von einem bestimmten Prognoseverfahren und könnte auch unabhängig von Prognoseanwendungen für beliebige geordnete Ensembledaten eingesetzt werden. Eine Nutzung mit anderen Prognoseverfahren als HCNN/KNN ist jedoch bislang noch nicht erfolgt.

6.6. Einordnung der Publikation

Der Artikel (Köpp et al., 2014b,a) entstand in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Hans-Jörg von Mettenheim und Prof. Dr. Michael H. Breitner. Am 2013-07-15 wurde der Artikel zum *BISE – Call for Papers Issue 3/2014: Decision Analytics* (Suhl und Voß, 2013a,b) der Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK/Business & Information Systems Engineering (BISE)* eingereicht. Es erfolgte eine „anonymisiert von mehreren Fachgutachtern in einem doppelblinden Verfahren auf Relevanz, Originalität und fachliche Qualität“ basierte Beurteilung (Suhl und Voß, 2013b) durch zunächst drei Gutachter. Der erste und zweite Gutachter sprachen sich für eine inhaltlich unveränderte Veröffentlichung aus¹, der Dritte schlug eine ausführlichere Diskussion vor. Auf dieser Basis wurde von den Herausgebern am 2013-09-08 eine Annahme nach geringfügigen Änderungen („minor revisions“) in Aussicht gestellt. Die überarbeitete Version des Artikels wurde ergänzt durch einen vierten Gutachter beurteilt, der als einziger weitere Anpassungen für die finale Version vorschlug. Nach der zweiten Überarbeitung wurde der Artikel am 2014-01-31 von Prof. Dr. Lena Suhl als Herausgeberin des Sonderheftes zur Veröffentlichung angenommen.

Nur vier von über 30 Einreichungen wurden veröffentlicht, entsprechend ergibt sich eine Annahmquote von unter 13%. Dieser Wert liegt deutlich unter den Annahmquoten von international anerkannten Wirtschaftsinformatik-Konferenzen wie ICIS und ECIS (Heinzl et al., 2008, S. 162). Zum Vergleich: Im Zeitraum 2012 bis 2014 lag die Annahmquote der ICIS bei 26-29% (Huang et al., 2012; Baskerville und Chau, 2013; Karahanna et al., 2014). Die Annahmquote der Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK/Business & Information Systems Engineering (BISE)* ist in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken, von „<30%“ vor 2009 (Buhl, 2009, S. 4) über 18% in 2010-2011 (Business & Information Systems Engineering, 2013) auf 16% in 2014 (Business & Information Systems Engineering, 2015).

Die Annahme nach weniger als zwei Überarbeitungen in der Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK/BISE* erfolgt nur in Ausnahmefällen. Im Jahrgang 2012 wurde nur ein einziger Beitrag (Felden und Buder, 2012) von 24

¹Der zweite Gutachter bemängelte lediglich ein fehlendes Satzzeichen.

bereits nach einer Überarbeitung angenommen. Im der ersten Hälfte des Jahrgangs 2013 keiner. Viele der Beiträge in dieser Zeitschrift wurden in den letzten Jahren erst nach drei oder mehr Überarbeitungen angenommen.

Die Zeitschrift *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* erscheint (unter verändertem Titel) bereits seit 1959 (Business & Information Systems Engineering, 2015) und wird als einzige nicht englischsprachige Zeitschrift in vielen internationalen Zeitschriftenrankings in der Kategorie **A** geführt (Winter, 2009). Auch von der Wissenschaftlichen Kommission Wirtschaftsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (WKWI) und des Fachbereichs Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik (GI-FB WI) wird die *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* bzw. *BISE* als einzige deutschsprachige Zeitschrift der höchsten Kategorie **A** in der *WI-Journaliste* zugeordnet (Heinzl et al., 2008, S. 160). Im VHB-JOURQUAL3 des Verbands der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (Hennig-Thurau et al., 2015) wird die Zeitschrift im Teilrating für Wirtschaftsinformatik auf Basis des Bewertungsmedians in der Kategorie **B** geführt (Hennig-Thurau und Sattler, 2015b). *Business & Information Systems Engineering (BISE)* hat innerhalb des Teilratings die zweitmeisten Bewertungsstimmen erhalten, was eine hohe Reichweite der Zeitschrift innerhalb der deutschen Betriebswirtschaft im Bereich Wirtschaftsinformatik zeigt. Fast die Hälfte der abstimmenden Hochschullehrer haben sich für die Kategorie **A** (35,1%) oder sogar **A+** (8,3%) ausgesprochen.

Im Rahmen der Internationalisierung erscheint die Zeitschrift seit 2009 parallel in deutscher und englischer Sprache (Winter, 2009). Entsprechend wurde der Artikel zweisprachig als „*Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to Historical Consistent Neural Network and other Forecasts*“ (Köpp et al., 2014b) und „*Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten: Eine Anwendung von Unsicherheitsmodellierung für Historical Consistent Neural Network und andere Prognosetechniken*“ (Köpp et al., 2014a) veröffentlicht.

Die Veröffentlichung wurde anschließend bereits durch Branco et al. (2015) zitiert und als Literaturempfehlung zum Thema „Information Visualization using Heatmaps“ (UMO-Lehrstuhl, 2015) genannt.

Kapitel 7.

Kritische Würdigung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden drei Themen aus dem Bereich der Wirtschaftsinformatik behandelt, deren zentrale Forschungsarbeiten bereits in den Kapiteln 4, 5 und 6 zusammengefasst und eingeordnet wurden.

Lastmanagement in Stromnetzen

In den Veröffentlichungen (Köpp et al., 2013a,b) wurde die Forschungsfrage *„Welche derzeitigen und zusätzlichen Entscheidungsoptionen hat ein Portfoliobetreiber unter kombinierter Betrachtung von Erzeuger- und Verbraucherseite?“* untersucht. Der Portfoliobetreiber hat die Aufgabe, ein dauerhaftes Gleichgewicht zwischen Erzeuger- und Verbraucherseite im Stromnetz sicherzustellen, wobei ein Zukauf von sehr teurer Regelenergie möglichst vermieden werden soll. Durch einen steigenden Anteil regenerativer Energien wird dies eine zunehmend schwierigere wirtschaftliche Herausforderung. Die durchgeführte Literaturrecherche zeigt eine Lücke in der wissenschaftlichen Betrachtung von Konzepten zur Steuerung und Entscheidungsunterstützung, die den gesamten Energiefluss betrachten. Es wurde ein erster Ansatz eines Entscheidungsunterstützungssystems für Portfoliobetreiber entwickelt, das Steuerungsvorschläge für Erzeuger und Verbraucherseite liefert, um kurzfristige Abweichungen von langfristigen Prognosen auszugleichen. Einzelne Komponenten wurden als prototypische Softwareartefakte implementiert, wodurch die generelle Realisierbarkeit gezeigt werden konnte. Im Rahmen des SmartWatts Feldversuchs (2012 bis 2014) wurden diese, teilweise mit Anpassungen, in ein bestehendes Energiemanagementsystem integriert. Dadurch konnte insbesondere auch das auf Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) basierte Verfahren zur Preisgenerierung mit realen Verbrauchern getestet werden. Die im Feldversuch beobachtete Reaktion der Verbraucher auf dynamische Strompreise war jedoch nur schwach nachweisbar. Zumindest teilweise ist die schwache Steuerungswirkung durch allgemeine Grenzen bei der Durchführung sowie sich negativ auf die Steuerungswirkung auswirkende Abweichungen zwischen beschriebenem Konzept und der Realisierung des Feldversuchs zu erklären: unter anderem erfolgte im Feldversuch keine reale Abrechnung der angezeigten dynamischen Strompreise und nur wenige Haushalte wurden mit intelligenten Geräten ausgestat-

tet. Die simulierte Ansteuerung der BHKWs konnte im Feldversuch nicht mit realen Werten verglichen werden. Speziell vor dem Hintergrund des bereits in optimistischer Abschätzung von Hilleke, Maske, Köpp, von Mettenheim und Breitner (2012) aufgezeigten quantitativen Mengengerüsts ist das Konzept der BHKW-Steuerung zum Ausgleich von Prognosefehlern bei regenerativen Erzeugern kritisch zu hinterfragen. Insgesamt ist zu kritisieren, dass die durchgeführte Evaluation vorwiegend auf Simulationsdaten basiert und ein empirischer Nachweis der Funktionsfähigkeit der beschriebenen Ansätze bislang nicht erfolgt ist.

Weitere Grenzen ergeben sich aus dem Rahmen des SmartWatts-Projektes: Die Betrachtung eines Zielszenarios im Jahr 2020 bringt verschiedene Unsicherheiten mit sich: Zukünftige Marktmodelle und Marktteilnehmer könnten zu diesem Zeitpunkt erheblich von dem beschriebenen Szenario abweichen, wodurch ggf. nicht im Ansatz berücksichtigte Nebenbedingungen mit erfüllt werden müssen. Hier zeigen sich bereits jetzt Unterschiede zu anderen „Smart Grid“-Forschungsprojekten, die nicht nur Privathaushalte, sondern auch gewerbliche Verbraucher, oder auch Elektrofahrzeuge bei der verbraucherseitigen Lastbeeinflussung berücksichtigen.

Für eine reale Steuerung durch dynamische Preise müssten weitere Nebenbedingungen außer dem reinen Portfolioausgleich berücksichtigt werden. Das beschriebene Konzept zielt darauf ab, den Einsatz von Regelenergie zu vermeiden. In Abhängigkeit vom Preismodell und jeweils aktueller Marktlage muss dieses Vorgehen jedoch nicht in jedem Fall die ökonomisch günstigste Handlungsalternative sein, was bislang nicht berücksichtigt wurde.

Entsprechend der Forschungsfrage wurden zusätzliche Entscheidungsoptionen für Portfoliobetreiber beschrieben, diese erfüllen jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Dezentrales Management von Forschungsressourcen

In der Veröffentlichung (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) wurde die Forschungsfrage *„Wie kann das Forschungsressourcenmanagement an deutschen Hochschulen durch den Einsatz einer spezialisierten IT-Lösung verbessert wer-*

den?“ untersucht. Die durchgeführte Literaturrecherche sowie auch die Ergebnisse einer im Rahmen von vorausgehenden Forschungsarbeiten durchgeführten Befragung zeigten auf, dass vorhandene Hochschul-IT-Systeme vorwiegend auf die Anforderungen der zentralen Verwaltung ausgerichtet sind. Funktionen, die auf Institutsebene zum Forschungsressourcenmanagement als notwendig angesehen werden, sind durch diese Systeme häufig nicht abgedeckt. Aus diesen Erkenntnissen wurden zunächst allgemeine Basisanforderungen an solche Systeme abgeleitet. Im Rahmen einer Einzelfallstudie wurden diese Anforderungen verfeinert und in Form des prototypischen Schattensystems FACTUM umgesetzt. Dieses System wurde über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren in enger Abstimmung mit den Anwendern iterativ erweitert. Es konnte gezeigt werden, dass sich deutliche Verbesserungen bei der Ressourcenverwaltung auf Institutsebene erzielen lassen. Die deutlich erkennbaren Grenzen eines Schattensystems werden von den Nutzern bewusst in Kauf genommen, so lange ihre individuellen Anforderungen nicht durch die bereits vorhandenen zentralen Systeme abgedeckt werden.

Durch die Einzelfallbetrachtung ergibt sich eine nur eingeschränkte Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Bereits während der Projektlaufzeit kam es durch die Wechsel der Anwender als Ansprechpartner zur Anforderungsermittlung zu einer Verschiebung der Gesamtanforderungen, so dass einzelne Funktionen vermisst und weitere als nicht mehr notwendig wahrgenommen wurden. Der Einsatz erfolgte später nicht durch dieselben Nutzer mit denen die Entwicklung abgesprochen wurde. Nach der Veröffentlichung von (Ebeling, Köpp und Breiter, 2013) haben sich die Rahmenbedingungen teilweise erheblich verändert, da z.B. der Bedarf für Multiprojektmanagement entfallen ist und einzelne Funktionen zwischenzeitlich in die zentralen Hochschulsysteme integriert wurden. Dadurch wurde der wahrgenommene Nutzen durch Einsatz des Schattensystems deutlich reduziert und in Frage gestellt.

Eine systematische, strukturierte Befragung der Anwender wurde nicht durchgeführt. Der Abgleich zur Abdeckung der Anforderungen erfolgte eher informell im Rahmen des iterativen Entwicklungsprozesses durch Vorführung des jeweils aktuellen Prototypen. Die Anforderungen wurden ohne eine quantitative Gewichtung aufgenommen und es wurde kein Vergleich der Anforderun-

gen zu Beginn und Ende des Projektes durchgeführt. Es erfolgte auch keine quantitative Evaluation der realisierten Verbesserungen und es erfolgten keine expliziten User-Tests.

Entsprechend der Forschungsfrage wurden im Rahmen einer Einzelfallstudie Verbesserungsmöglichkeiten für das Forschungsressourcenmanagement an deutschen Hochschulen aufgezeigt. Diese können ohne eine Integration in die zentralen Hochschulsysteme jedoch nicht optimal umgesetzt werden. Deutlich wurde auch die insbesondere durch die funktionale Erweiterung von offiziellen Systemen begrenzte Lebensdauer von Schattensystemen.

Decision Analytics with Heatmap Visualization

In den Veröffentlichungen (Köpp et al., 2014b,a) wurde die Forschungsfrage *„Wie können wir die vollständigen Prognoseinformationen unter Erhaltung aller Verteilungsinformationen intuitiv für Entscheider darstellen?“* untersucht.

Die durchgeführte Literaturrecherche zeigte eine Lücke bei der Visualisierung von Ensembleprognosen auf. Solche Ensembleprognosen aus mehreren hundert Einzelprognosen können unter anderem durch den Einsatz von HCNN erzeugt werden. In praktischen Anwendungen erfolgt bislang meistens eine Aggregation der Ensembledaten auf Mittelwert oder Median. Dabei gehen Informationen verloren. Es wurde ein formales mathematisches Modell entwickelt, das Heatmaps durch eine Faltungsoperation generiert, die die Verteilungsstruktur der Ensembleprognose abbilden können. Das Modell wurde in Form eines prototypischen Softwareartefaktes implementiert. An Hand eines Prognosebeispiels und synthetischer Testszenarien konnte damit ein visuell wahrnehmbarer Informationsgewinn gezeigt werden. Es wurde demonstriert, dass Unsicherheit im Prognosemodell durch die Heatmap-Visualisierung sichtbar gemacht wird. Widersprüchliche Aussagen der Ensemblemitglieder werden in Form von sich aufsplittender Pfade für den Nutzer erkennbar, statt wie bei der üblichen Aggregation auf einen einzelnen Wert abgebildet zu werden, der möglicherweise durch kein einziges Mitglied im Ensemble gestützt wird. Damit steht der Zustand *„das Ensemble ist sich über das Ergebnis für diesen Zeitpunkt nicht sicher“* als weiteres Prognoseergebnis zur Verfügung.

Insgesamt wurden 15 Heatmap-Varianten mit unterschiedlichen Darstellungseigenschaften implementiert und die Geschwindigkeit der Berechnung und Anzeige durch optimierte Algorithmen und die Nutzung von mehreren CPU-Kernen so weit gesteigert, dass das Verfahren auch für zeitkritische Anwendungen wie Live-Trading einsetzbar ist. Das Softwareartefakt erlaubt zudem eine interaktive Konfiguration durch den Nutzer sowie eine Navigation durch historische Prognosedaten.

Die Visualisierung kann menschliche Entscheider unterstützen, liefert jedoch keine Lösung für eine automatisierte Auswertung. Daher ist das Verfahren keine universell nutzbare Alternative zu den üblichen Aggregationsverfahren, die Prognosen auf „exakte“ Werte abbilden. Damit ist der Einsatz stark abhängig vom jeweiligen Nutzer und dessen Erfahrungen und subjektiver Wahrnehmung. Auch wenn eine Nachimplementierung des Verfahrens zeigt, dass der Ansatz im Unternehmenskontext als vielversprechend angesehen wird, wurde bislang nicht nachgewiesen, dass der wahrgenommene Nutzen einzelner Experten sich in einen realen wirtschaftlichen Vorteil umsetzen lässt.

Entsprechend der Forschungsfrage konnte gezeigt werden, dass die Heatmap-Darstellung eine bessere Sichtbarkeit der Prognoseinformationen und insbesondere der Verteilungsinformationen des Ensembles für Entscheider ermöglicht. Ob diese verbesserte Sichtbarkeit auch tatsächlich mit einer *vollständigen* Darstellung aller Verteilungsinformationen – ohne jeglichen Verlust durch Aggregation – einhergeht, wurde nicht explizit nachgewiesen. Eine optimale Darstellung der Informationen erfordert zudem bislang noch eine manuelle Konfiguration der Visualisierungsparameter durch den Benutzer.

Zusammenfassende Betrachtung

Das verbindende Element der vorgestellten Forschungsarbeiten liegt in der Umsetzung und dem Einsatz von Softwareprototypen für verschiedene Anwendungsszenarien im Bereich der Entscheidungsunterstützung. Ein methodischer Rahmen wird jeweils durch Design Science Research vorgegeben. Durch die entwickelten Konzepte und deren Implementierung in Software wurden neue Möglichkeiten aufgezeigt, so wie von Hevner et al. (2004) als zentrales Paradig-

ma des Design Science Research beschrieben: „The design-science paradigm seeks to extend the boundaries of human and organizational capabilities by creating new and innovative artifacts.“

Die individuellen Limitationen der einzelnen Forschungsarbeiten wurden in den vorhergehenden Abschnitten sowie in den Abschnitten 4.5, 5.5 und 6.5 beschrieben. Ein unmittelbarer inhaltlicher Zusammenhang zwischen den Themen besteht nicht. Es erfolgt jedoch in allen Fällen eine softwaregestützte Entscheidungsunterstützung. Das Heatmap-basierte Visualisierungsverfahren für Ensembleprognosen kann – wie mit den Beispieldaten gezeigt – für energiewirtschaftliche Anwendungen eingesetzt werden, jedoch auch für beliebige andere Prognoseanwendungen. Das Thema Lastmanagement in Stromnetzen gliedert sich in das interdisziplinäre Forschungsfeld der Energieinformatik (Goebel et al., 2014), das neben der IT-Infrastruktur und (Energie-)Wirtschaftlichen Problemstellungen auch den Bereich Elektrotechnik umfasst. Elektrotechnische Anforderungen wurden bei der Betrachtung weitgehend ausgeklammert, auch wenn diese für eine reale wirtschaftlich tragbare Umsetzung nicht vernachlässigbar sind. Eine allgemeine Limitation der Forschungsergebnisse ergibt sich aus der rein qualitativen Betrachtung: Es konnten eine generelle Durchführbarkeit und Möglichkeiten zur Verbesserung aufgezeigt werden, jedoch keine quantitativ messbaren Ergebnisse erzielt werden. Auch erfolgte kein Einsatz der Softwareartefakte unter realen und repräsentativen Bedingungen. Das Schatensystem für Forschungsressourcenmanagement wurde vom Funktionsumfang teilweise bereits durch offizielle Systeme eingeholt, das Konzept für Lastmanagement in Stromnetzen betrachtet ein erst zukünftig zu erwartendes und daher als unsicher anzunehmendes Szenario.

Im Rahmen von Peer-Review-Verfahren wurden die vorgestellten Forschungsarbeiten von bis zu vier Wissenschaftlern und teilweise auch Praktikern aus dem selben Fachbereich anonym begutachtet und zur Veröffentlichung empfohlen, siehe hierzu auch Abschnitte 4.6, 5.6 und 6.6. Die Annahme zur Veröffentlichung sowie die bereits erfolgte Zitation der Arbeiten können als Indikator für die inhaltliche und methodische Qualität der Forschungsarbeiten betrachtet werden.

Ausblick

Die vorgestellten Forschungsarbeiten sind Teil eines kumulativen Forschungsprozesses. Im Rahmen der Untersuchungen wurden neue Fragestellungen identifiziert, die in zukünftigen Forschungsarbeiten untersucht werden sollten:

- Beim vorgestellten Ansatz zum Energiemanagement wurden verschiedene Komponenten und Teilnehmer ausgeschlossen. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnten Erweiterungen des Ansatzes unter Einbeziehung von Elektrofahrzeugen, Biogasanlagen, Industriellen Verbrauchern, Kühlhäusern und Unternehmen untersucht werden.
- Die Beeinflussung des Stromverbrauchs sieht den Einsatz von dynamischen Stromtarifen vor. Aus Verbrauchersicht ergeben sich daraus erhebliche Unterschiede zu den heute üblichen Stromtarifen mit konstanten Bezugskonditionen. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte die Akzeptanz von Real-Time-Pricing (RTP) bei Verbrauchern untersucht sowie versucht werden Faktoren und Rahmenbedingungen zu identifizieren, die die Akzeptanz positiv beeinflussen können.
- Es ist unklar, ob dynamische Stromtarife in Deutschland aktuell einsetzbar wären. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte untersucht werden welche rechtlichen Anforderungen ein Preismodell und auch die dafür notwendigen Abrechnungssysteme erfüllen müsste und welche Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen möglicherweise erforderlich wären.
- Bei der Betrachtung des dezentralen Forschungsressourcenmanagements hat sich gezeigt, dass die Anforderungen sich bereits innerhalb einer Institution verändern und einzelne Funktionen bereits Einzug in die zentralen Hochschulsysteme gefunden haben. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnten die Anforderungen mit der aktuellen Situation in einer größeren Anzahl von Hochschulinstituten abgeglichen werden.
- Der Einsatz von dezentralen Schattensystemen ist nicht im Interesse der zentralen Verwaltung. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte untersucht werden, ob und wie sich durch eine stärkere Einbeziehung der dezentralen

tralen Verwaltungsebene bei der Planung und Auswahl von IT-Systemen dem Entstehen von Schattensystemen entgegen wirken lässt.

- Das Verfahren zur Heatmap-Visualisierung von Ensembleprognosen wurde an Hand eines einzelnen Prognosebeispiels und künstlicher Szenarien vorgestellt. Eine praxisnahe Evaluation steht noch aus. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnten quantitative Benchmarks zum Vergleich mit etablierten Aggregationsverfahren erfolgen.
- Die Konfiguration der Heatmap-Visualisierung muss bislang manuell durch den Nutzer erfolgen. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte untersucht werden, welche Konfigurationen die besten Ergebnisse liefern, wie der Nutzer bei der Konfiguration unterstützt werden kann und in welcher Form eine automatische Konfiguration möglich wäre.
- Das Verfahren zur Heatmap-Visualisierung von Ensembleprognosen steht in Konkurrenz zu etablierten Aggregationsverfahren, die einzelne „exakte“ Werte liefern und keinen Zustand „Prognose unsicher“ kennen. In zukünftigen Forschungsarbeiten könnte die Akzeptanz bei Prognoseexperten, Entscheidern und Nutzern mit wenig Erfahrung bei der Arbeit mit Prognosen untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- Abel, Guy (2012) The fanplot package for R. Online <http://gjabel.wordpress.com/2012/08/13/the-fanplot-package-for-r/> (Abruf 2013-09-27).
- Abel, Guy (2013) Bank of England Fan Charts in R. Online <http://gjabel.wordpress.com/2013/04/24/bank-of-england-fan-charts-in-r/> (Abruf 2013-10-21).
- Aigner, Wolfgang; A. Bertone; S. Miksch; C. Tominski; H. Schumann (2007) Towards a Conceptual Framework for Visual Analytics of Time and Time-Oriented Data. In: S. G. Henderson; B. Biller; M. H. Hsieh; J. Shortle; J. D. Tew; R. R. Barton (Hrsg.) *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, S. 721–729. Washington.
- Aigner, Wolfgang; Paolo Federico; [weitere unbekannte Autoren von InfoVis:Wiki] (2013) Visual Analytics. Online http://www.infovis-wiki.net/index.php?title=Visual_Analytics&oldid=155469 (Abruf 2014-06-12).
- Andrienko, G.; N. Andrienko (2005) Visual Exploration of the Spatial Distribution of Temporal Behaviors. In: *Proceedings of the Ninth International Conference on Information Visualisation*, S. 799–806. doi:10.1109/IV.2005.135.
- Andrienko, G.; N. Andrienko; M. Mladenov; M. Mock; C Poelitz (2010) Extracting Events from Spatial Time Series. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Information Visualisation*, S. 48–53. doi:10.1109/IV.2010.17.
- Appelrath, Hans-Jürgen; Peter Chamoni (2007) Veränderungen in der Energie-

LITERATURVERZEICHNIS

- wirtschaft – Herausforderungen für die IT. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 49(5):329–330. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-007-0076-8.
- Applegate, Lynda M. (1999) Rigor and Relevance in MIS Research – Introduction. *MIS Quarterly* 23(1):1–2.
- Baskerville, Richard; Michael Chau (2013) Welcome from the Program Chairs [ICIS 2013]. Online http://aisel.aisnet.org/icis2013/ICIS2013_ProgramChairWelcome.pdf (Abruf 2015-05-03).
- Bauer, Christine (2014) A framework for conceptualizing context for intelligent systems (CCFIS). *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 6(4):403–417.
- Becker, Jörg; Daniel Pfeiffer (2006) Beziehungen zwischen behavioristischer und konstruktionsorientierter Forschung in der Wirtschaftsinformatik. In: Stephan Zelewski; Naciye Akca (Hrsg.) *Fortschritt in den Wirtschaftswissenschaften*, S. 1–17. DUV. ISBN 978-3-8350-0349-1. doi:10.1007/978-3-8350-9199-3_1.
- Behrens, S.; W. Sedera (2004) Why Do Shadow Systems Exist after an ERP Implementation? Lessons from a Case Study. In: *PACIS 2004 Proceedings*. Paper 136.
- Berghoff, Sonja; Gero Federkeil; Petra Giebisch; Cort-Denis Hachmeister; Mareike Hennings; Isabel Roessler; Frank Ziegele (2009) Das CHE-Forschungsranking deutscher Universitäten 2009. Arbeitspapier Nr. 130, CHE gemeinnütziges Centrum für Hochschulentwicklung, Gütersloh.
- Berkhoff, K.; Britta Ebeling; S. Lübbe (2012) Integrating research information into a software for higher education administration – benefits for data quality and accessibility. In: K. Jeffery; J. Dvořák (Hrsg.) *E-Infrastructures for research and Innovation: Linking Information Systems to Improve Scientific Knowledge Production. Proceedings of the 11th International Conference on Current research Information Systems*, S. 167–176. Prag.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bichler, Martin (2014) Reflektionen zum Stand der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56(2):79–81. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-014-0410-x.
- Borgstedt, Silke; Tamina Christ; Fritz Reusswig (2010) Umweltbewusstsein in Deutschland 2010 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Bericht, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Heidelberg, Potsdam.
- Branco, Frederico; Ramiro Gonçalves; José Martins; Manuel Pérez Cota (2015) Decision Support System for the Agri-food Sector – The Sousacamp Group Case. In: Alvaro Rocha; Ana Maria Correia; Sandor Costanzo; Luis Paulo Reis (Hrsg.) *New Contributions in Information Systems and Technologies*, Band 353 der *Advances in Intelligent Systems and Computing*, S. 553–563. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-16485-4. doi:10.1007/978-3-319-16486-1_54.
- Brandt, Philipp (2007) IT in der Energiewirtschaft. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 49(5):380–385. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-007-0082-x.
- Breitner, Michael H. (2003) *Nichtlineare, multivariate Approximation mit Perzeptrons und anderen Funktionen auf verschiedenen Hochleistungsrechnern*. Nummer 263 in DISKI. Akademische Verlagsgesellschaft Aka, Berlin. ISBN 3-89838-263-X.
- Breitner, Michael H. (2014) Neuronales Netz. In: Karl Kurbel; Jörg Becker; Norbert Gronau; Elmar Sinz; Leena Suhl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam. Online <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/KI-und-Softcomputing/Neuronales-Netz/> (Abruf 2015-07-12).
- Breitner, Michael H.; Nadine Guhr; Claudia M. König; Cornelius Köpp; Philipp Maske (2010) Microlearning mit UbiLearn. In: A. Hohenstein; K. Wilbers (Hrsg.) *Handbuch E-Learning: Expertenwissen aus Wissenschaft und Praxis*

LITERATURVERZEICHNIS

- *Strategien, Instrumente, Fallstudien*, S. 1–23. Wolter Kluwers, Köln. 33. Erg.-Lfg. Juli 2010 (8.41).
- Breitner, Michael H.; Nadine Guhr; Claudia M. König; Cornelius Köpp; Philipp Maske (2011) Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbildung: Mit Wissenshäppchen zum Lernen verführen. *Personalführung* 02/2011, 44. Jahrgang, Deutsche Gesellschaft für Personalführung e.V. S. 40–48.
- Breitner, Michael H.; Matthias Schumann (2013) Integrated Systems in Service Industries. In: Rainer Alt; Bogdan Franczyk (Hrsg.) *Proceedings of the 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI2013), Feb 27 – Mar 01 2013*, Band 1, S. 279–280. University Leipzig. ISBN 978-3-00-041359-9.
- Buhl, Hans Ulrich (2009) 50 Jahre Zeitschrift WIRTSCHAFTSINFORMATIK: Auf zu neuen Ufern... *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 51(1):1–7. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-008-0110-5.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014) Smart Energy made in Germany: Erkenntnisse zum Aufbau und zur Nutzung intelligenter Energiesysteme im Rahmen der Energiewende. Online http://www.e-energy.de/images/BMWi-E-Energy_Abschlussbroschuere_Juni_2014.pdf (Abruf 2015-02-17).
- Bundesnetzagentur (2011) „Smart Grid“ und „Smart Market“: Eckpunktepapier der Bundesnetzagentur zu den Aspekten des sich verändernden Energieversorgungssystems. Online http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/SmartGridEckpunktepapier/SmartGridPapierpdf.pdf?__blob=publicationFile (Abruf 2015-02-26).
- Buono, P.; C. Plaisant; A. Simeone; A. Aris; B. Shneiderman; G. Shmueli; W. Jank (2007) Similarity-Based Forecasting with Simultaneous Previews: A River Plot Interface for Time Series Forecasting. In: *Proceedings of the 11th International Conference Information Visualization*. IEEE Computer Society, Zürich. doi:10.1109/IV.2007.101.

LITERATURVERZEICHNIS

- Business & Information Systems Engineering (2012/2013) Stats & History - BISE. Online http://www.bise-journal.com/?page_id=102 (Abruf 2013-09-11). .
- Business & Information Systems Engineering (2015) Stats & History - BISE. Online http://www.bise-journal.com/?page_id=102 (Abruf 2015-04-22).
- Covrig, Catalin Felix; Mircea Ardelean; Julija Vasiljevska; Anna Mengolini; Gianluca Fulli; Eleftherios Amoiralis (2014) *Smart Grid Projects Outlook 2014*. Science and Policy Report. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Petten - The Netherlands. ISBN 978-92-79-38374-8. doi:10.2790/22075.
- Davis, Fred D.; Richard P. Bagozzi; Paul R. Warshaw (1989) User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science* 35(8):982–1003. ISSN 0025-1909. doi:10.1287/mnsc.35.8.982.
- Deindl, Matthias; Christian Maasem; Marcel Scheibmayer; Julian Krengel; Violett Panahabadi; Jonas Flur; Benno Zielonka; Sarai Kölle; Markus Seyfarth; Wolfram Schumacher; Cornelius Köpp; Robert Delahaye; Matthias Friedrich; Roland Martynski; Jan Rösen; Martin Pöppe; Hauke Hinrichs; Ina Rothkegel; Pascal Hahulla; Daniel Kern; Jürgen Altgott; Thomas Schulz (2014) *Smart Watts – Gestaltung des Energiesystems der Zukunft in der Modellregion Aachen*, Band 14 der *FIR-Edition Forschung*. FIR e. V. an der RWTH Aachen, Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen. ISBN 978-3-943024-22-7. Online http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2015/25058/pdf/smartwatts_edition_forschung_band_14_20140826.pdf (Abruf 2015-02-17).
- Desouza, Kevin C.; Omar El Sawy; Robert D. Galliers; Claudia Löbbecke; Richard T. Watson (2005) Information Systems Research That Really Matters: Beyond the IS Rigor Versus Relevance Debate. In: David E. Avison; Dennis F. Galletta (Hrsg.) *Proceedings of the International Conference on Information Systems, ICIS 2005, December 11-14, 2005, Las Vegas, NV, USA*. Association for Information Systems.

LITERATURVERZEICHNIS

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (2012) *Förderatlas 2012: Kennzahlen zur öffentlich finanzierten Forschung in Deutschland*. WILEY-VCH, Weinheim. ISBN 978-3-527-33378-3.
- Ebeling, Britta; Marc Klages; Michael H. Breitner (2011) IT-gestütztes Management von Drittmitteln im Rahmen des Forschungsmanagements an deutschen Hochschulen. In: H.-U. Heiß; P. Pepper; H. Schlingloff; J. Schneider (Hrsg.) *Informatik 2011*, Band P-192 der *LNI-Proceedings*. Köllen, Bonn.
- Ebeling, Britta; Cornelius Köpp; Michael H. Breitner (2013) Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten. In: Rainer Alt; Bogdan Franczyk (Hrsg.) *Proceedings of the 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI2013)*, Band 1, S. 343–357. University Leipzig.
- Elder, Rob; George Kapetanios; Tim Taylor; Tony Yates (2005) Assessing the MPC's fan charts. In: *Bank of England Quarterly Bulletin: Autumn 2005*, S. 326–348. Bank of England, London. Online verfügbar <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Pages/inflationreport/irprobab.aspx>.
- euroCRIS (o.J.) The European Organisation for International Research Information. Online <http://www.eurocris.org/> (Abruf 2012 oder früher).
- Eßer, Anke; Markus Franke; Andreas Kamper; Dominik Möst (2007) Future power markets – impacts of consumerresponse and dynamic retail prices on electricity markets. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 49(5):335–341. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-007-0077-7.
- Felden, Carsten; Johannes Jakob Buder (2012) Integrierte Informationsversorgung zur Entscheidungsunterstützung in Netzgesellschaften. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 54(1):17–32. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-011-0306-y.
- Feng, D.; L. Kwock; Y. Lee; R.M. Taylor II (2010) Matching Visual Saliency to Confidence in Plots of Uncertain Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 16(6):980–989. doi:10.1109/TVCG.2010.176.

LITERATURVERZEICHNIS

- Fletcher, Roger (1981) *Practical Methods of Optimization: Constrained optimization, Band 2*. John Wiley and Sons, Chichester and New York. ISBN 9780471278283.
- Fluhr, Jonas; Klaus-Henning Ahlert; Christof Weinhardt (2010) A Stochastic Model for Simulating the Availability of Electric Vehicles for Services to the Power Grid. In: *Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences - 2010*. IEEE computer society. doi:978-0-7695-3869-3/10.
- Frank, Ulrich (2015) Konstruktionsorientierter Forschungsansatz. In: Karl Kurbel; Jörg Becker; Norbert Gronau; Elmar Sinz; Leena Suhl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam. Online <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Forschung-in-WI/Konstruktionsorientierter-Forschungsansatz> (Abruf 2015-06-21).
- Gabriel, Roland (2015) Entscheidungsunterstützungssystem. In: Karl Kurbel; Jörg Becker; Norbert Gronau; Elmar Sinz; Leena Suhl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam. Online <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Kontext-und-Grundlagen/Informationssystem/Entscheidungsunterstützungssystem> (Abruf 2015-06-21).
- GILL, Philip E.; Walter MURRAY; Michael A. SAUNDERS; Margaret H. Wright (2001) USER'S GUIDE FOR NPSOL 5.0: A FORTRAN PACKAGE FOR NONLINEAR PROGRAMMING. Bericht. Technical Report SOL 86-6, Revised June 4, 2001.
- Goebel, Christoph; Hans-Arno Jacobsen; Victor Razo; Christoph Doblander; Jose Rivera; Jens Ilg; Christoph Flath; Hartmut Schmeck; Christof Weinhardt; Daniel Pathmaperuma; Hans-Jürgen Appelrath; Michael Sonnenschein; Sebastian Lehnhoff; Oliver Kramer; Thorsten Staake; Elgar Fleisch;

LITERATURVERZEICHNIS

- Dirk Neumann; Jens Strüker; Koray Ereğ; Rüdiger Zarnekow; Holger Ziekow; Jörg Lässig (2014) Energieinformatik: Aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56(1):31–39. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-013-0396-9.
- Goutard, E. (2010) Renewable energy resources in energy management systems. In: *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES*, S. 1–6. doi:10.1109/ISGTEUROPE.2010.5639003.
- Gröger, Stefan; Matthias Schumann (2014a) Drittmittelprojekte in Hochschulen – Entwicklung eines fallstudienbasierten Referenzprozessmodells. In: E. Plödereder; L. Grunske; E. Schneider; D. Ull (Hrsg.) *Proceedings Informatik 2014*, S. 1119–1133. Stuttgart.
- Gröger, Stefan; Matthias Schumann (2014b) Entwicklung eines Referenzmodells für die Gestaltung des Drittmittel-Prozesses einer Hochschule und Ableitung von Einsatzgebieten für Dokumenten- und Workflow-Management-Systeme. Arbeitsbericht Nr. 1/2014. Professur für Anwendungssysteme und E-Business, Georg-August-Universität Göttingen. Online http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/lm/arbeitsberichte_anwebus/2014_01.pdf (Abruf 2015-02-16).
- Gröger, Stefan; Matthias Schumann (2014c) Managing Third-Party Funding Projects at German State Universities – A Theoretical Deduction of Design Principles for Implementing an IT-Artifact. In: Michel Avital; Jan Marco Leimeister; Ulrike Schultze (Hrsg.) *22st European Conference on Information Systems, ECIS 2014, Tel Aviv, Israel, June 9-11, 2014*. Tel Aviv.
- Hansen, Bruce E. (2008) Least-squares forecast averaging. *Journal of Econometrics* 146(2):342–350. doi:10.1016/j.jeconom.2008.08.022.
- Hauttekeete, L.; J. Stragier; W. Haerick; L. De Marez (2010) Smart, smarter, smartest... the consumer meets the smart electrical grid. In: *9th Conference on Telecommunications Internet and Media Techno Economics (CTTE), 2010*, S. 1–6. doi:10.1109/CTTE.2010.5557717.

LITERATURVERZEICHNIS

- Haykin, S. (2009) *Neural networks and learning machines*. Pearson, Upper Saddle River, 3. edition.
- Heinzl, Armin; Detlef Schoder; Ulrich Frank (2008) WI-Orientierungslisten. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 50(2):155–163. ISSN 0937-6429. doi:10.1365/s11576-008-0040-2. Verabschiedete Fassung der WKWI-Sitzung vom 2008-02-27 in München. Wissenschaftliche Kommission Wirtschaftsinformatik im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft (WKWI) und des Fachbereichs Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik (GI-FB WI).
- Hennig-Thurau, Thorsten; Henrik Sattler (2011) VHB-JOURQUAL 2.1: ... ein Ranking von betriebswirtschaftlich relevanten Zeitschriften auf der Grundlage von Urteilen der VHB-Mitglieder. Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. Online <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-21-2011/> (Abruf 2013-09-30).
- Hennig-Thurau, Thorsten; Henrik Sattler (2015a) Begleitdokumente zu VHB-JOURQUAL3. Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. Online <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-3/begleitdokumente/> (Abruf 2015-07-06).
- Hennig-Thurau, Thorsten; Henrik Sattler (2015b) VHB-JOURQUAL3: Teilrating Wirtschaftsinformatik. Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. Online <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-3/teilrating-wi/> (Abruf 2015-06-15).
- Hennig-Thurau, Thorsten; Henrik Sattler; Harald Dyckhoff; Nikolaus Franke; Georg Schreyögg (2015) VHB-JOURQUAL3. Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. Online <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-3/> (Abruf 2015-06-15).
- Hevner, Alan R.; Salvatore T. March; Jinsoo Park; Sudha Ram (2004) Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* 28(1):75–105.

LITERATURVERZEICHNIS

- Hilleke, Marius; Mathias Maske; Cornelius Köpp; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2012) Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk: Ausgleich von Prognosefehlern volatiler regenerativer Erzeuger. In: Fabian Renatus; Robert Kunze; Ingo Karschin; Jutta Geldermann; Wolf Fichtner (Hrsg.) *Entscheidungsunterstützung durch Operations Research im Energie- und Umweltbereich, Tagungsband des Workshops der GOR-Arbeitsgruppen „OR im Umweltschutz“ und „Entscheidungstheorie und -praxis“ vom 01. und 02. März 2012 in Goslar*, Operations Research. Shaker Verlag, Aachen. ISBN 978-3-8440-1478-5.
- Hornbostel, S. (2001) Die Hochschulen auf dem Weg in die Audit Society. Über Forschung, Drittmittel, Wettbewerb und Transparenz. In: E. Stölting; U. Schimank (Hrsg.) *Die Krise der Universitäten*, S. 139–158. Westdeutscher Verlag, Wiesbaden.
- Huang, Ming-Hui; Gabe Piccoli; Vallabh Sambamurthy (2012) ICIS 2012 Welcome Letters: Welcome from the 2012 ICIS Program Chairs. Online <http://icis2012.aisnet.org/Files/ICIS2012%20Welcome%20Letters.pdf> (Abruf 2015-05-03).
- J. E. Dennis, Jr.; Jorge J. Moré (1977) Quasi-Newton Methods, Motivation and Theory. *SIAM Review* 19(1):46–89.
- Karahanna, Elena; Ananth Srinivasan; Bernard Tan (2014) ICIS 2014 - PROGRAM CHAIR WELCOME LETTER. Online http://icis2014.aisnet.org/images/ICIS_PC_Welcome.pdf (Abruf 2015-05-03).
- Keim, Daniel A.; Florian Mansmann; Jorn Schneidewind; Hartmut Ziegler (2006) Challenges in Visual Data Analysis. In: *Proceedings of the Conference on Information Visualization, IV '06*, S. 9–16. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA. ISBN 0-7695-2602-0. doi:10.1109/IV.2006.31.
- Klima, Christoph; Axel Winkelmann (2015) Anforderungen an Endkunden-Demand-Response-Informationssysteme. In: O. Thomas; F. Teuteberg (Hrsg.) *Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2015)*, S. 978–992. Osnabrück.

LITERATURVERZEICHNIS

- Kranz, Johann; Lutz M. Kolbe; Chulmo Koo; Marie-Claude Boudreau (2015) Smart energy: where do we stand and where should we go? *Electronic Markets* S. 1–10. ISSN 1019-6781. doi:10.1007/s12525-015-0180-3.
- König, Simon; Frank Köller; Michael H. Breitner (2005) *FAUN 1.1 User Manual*. Nummer 16 in IWI Discussion Paper Series. Leibniz Universität Hannover, Institut für Wirtschaftsinformatik.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2012a) Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices. In: Diethard Klatte; Hans-Jakob Lüthi; Karl Schmedders (Hrsg.) *Operations Research Proceedings 2011*, Operations Research Proceedings, S. 147–152. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-29209-5. doi:10.1007/978-3-642-29210-1_24.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2012b) Visualizing Neural Network Ensemble Forecasts with Heatmaps. In: *Workshop der GOR-Arbeitsgruppen „Simulation und Optimierung komplexer Systeme“ und „Fuzzy Systeme, Neuronale Netze und künstliche Intelligenz“ gemeinsam mit Siemens AG Corporate Technology GTF Modellierung, Simulation & Optimierung vom 23.-24. Februar 2012*. Universität der Bundeswehr München.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2013a) Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 55(1):39–49. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-012-0348-9.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2013b) Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators. *Business & Information Systems Engineering* 5(1):35–44. doi:10.1007/s12599-012-0246-0.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2014a) Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensemble-daten: Eine Anwendung von Unsicherheitsmodellierung für Historical Con-

LITERATURVERZEICHNIS

- sistent Neural Network und andere Prognosetechniken. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56(3):147–157. doi:10.1007/s11576-014-0417-3.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2014b) Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to Historical Consistent Neural Network and other Forecasts. *Business & Information Systems Engineering* 6(3):131–140. doi:10.1007/s12599-014-0326-4.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2014c) Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application. In: Stefan Helber; Michael H. Breitner; Daniel Rösch; C. Schön; J.-M. Graf von der Schulenburg; P. Sibbertsen; M. Steinbach; S. Weber; A. Wolter (Hrsg.) *Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR), Leibniz University of Hannover, Germany, September 5-7, 2012*, Operations Research Proceedings, S. 321–326. Springer. ISBN 978-3-319-00794-6.
- Köpp, Cornelius; Hans-Jörg von Mettenheim; Marc Klages; Michael H. Breitner (2011) Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast. In: Bo Hu; Karl Morasch; Stefan Pickl; Markus Siegle (Hrsg.) *Operations Research Proceedings 2010*, Operations Research Proceedings, S. 519–524. Gesellschaft für Operations Research e.V., Springer.
- Markus, M. Lynne; Ann Majchrzak; Les Gasser (2002) A Design Theory for Systems that Support Emergent Knowledge Processes. *MIS Quarterly* 26(3):179–212.
- Martens, B.; F. Teuteberg (2009) Ein Referenz- und Reifegradmodell für integrierte Fundraising-Managementsysteme an Hochschulen. In: *Wirtschaftsinformatik 2009 Proceedings*, Band 2, S. 543–552.
- Maske, Philipp; Nadine Guhr; Cornelius Köpp; Michael H. Breitner (2011) Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Services. In: Virpi Kristiina Tuunainen; Matti Rossi; Joe Nandhakumar (Hrsg.) *Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems (ECIS), 09.*

LITERATURVERZEICHNIS

- 11.06.2011, Aalto University School of Economics. Helsinki. Paper 245. Online verfügbar <http://aisel.aisnet.org/ecis2011/245>.
- May, R.; P. Hanrahan; D. A. Keim; B. Shneiderman; S. Card (2010) The state of visual analytics: Views on what visual analytics is and where it is going. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, S. 257–259. Salt Lake City.
- Mertens, Peter (2015) Wirtschaftsinformatik. In: Karl Kurbel; Jörg Becker; Norbert Gronau; Elmar Sinz; Leena Suhl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam. Online <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Kerndisziplinen/Wirtschaftsinformatik> (Abruf 2015-06-21).
- von Mettenheim, Hans-Jörg (2009) *Advanced neural networks: finance, forecast, and other applications*. Dissertation, Gottfried Willhelm Leibniz Universität Hannover.
- von Mettenheim, Hans-Jörg; Michael H. Breitner (2010) Robust Decision Support Systems with Matrix Forecasts and Shared Layer Perceptrons for Finance and other Applications. In: *ICIS 2010 Proceedings*. Paper 83.
- von Mettenheim, Hans-Jörg; Cornelius Köpp; Michael H. Breitner (2012) Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles. In: Diethard Klatte; Hans-Jakob Lüthi; Karl Schmedders (Hrsg.) *Operations Research Proceedings 2011*, Operations Research Proceedings, S. 573–578. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-29209-5. doi:10.1007/978-3-642-29210-1_91.
- Molderink, A.; V. Bakker; M. G C Bosman; J.L. Hurink; G. J M Smit (2010) Management and Control of Domestic Smart Grid Technology. *Smart Grid, IEEE Transactions on* 1(2):109–119. ISSN 1949-3053. doi:10.1109/TSG.2010.2055904.

LITERATURVERZEICHNIS

- Nunamaker, Jay F.; Minder Chen; Titus D. M. Purdin (1991) System Development in Information System Research. *Journal of Management Information Systems* 7(3):89–106.
- Nwulu, N.I.; M. Fahrioglu (2011) A neural network model for optimal demand management contract design. In: *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, S. 1–4. doi: 10.1109/EEEIC.2011.5874776.
- Potter, K.; A. Wilson; P.-T. Bremer; D. Williams; V. Pascucci; C.R. Johnson (2009) A Flexible Approach for the Statistical Visualization of Ensemble Data. In: *Proceedings of the IEEE ICDM Workshop on Knowledge Discovery from Climate Data*. Miami.
- Potter, Kristin; Paul Rosen; Chris R. Johnson (2012) From Quantification to Visualization: A Taxonomy of Uncertainty Visualization Approaches. In: Andrew M. Dienstfrey; Ronald F. Boisvert (Hrsg.) *Uncertainty Quantification in Scientific Computing*, Band 377 der *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, S. 226–249. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-32676-9. doi:10.1007/978-3-642-32677-6_15.
- Raymer, J; G J Abel; A Rogers (2012) Does specification matter? Experiments with simple multiregional probabilistic population projections. *Environment and Planning A* 44(11):2664–2686. doi:10.1068/a4533.
- Rehkugler, Heinz; Hans Georg Zimmermann (Hrsg.) (1994) *Neuronale Netze in der Ökonomie: Grundlagen und finanzwirtschaftliche Anwendungen*. Vahlen. ISBN 978-3-8006-1871-2.
- Simon, Herbert A. (1996) *The Sciences of the Artificial (3rd Ed.)*. MIT Press, Cambridge, MA, USA. ISBN 9780262193740.
- Sonnenschein, Michael; Michael Stadler; Barbara Rapp; Jörg Bremer; Stefan Brunhorn (2006) A Modelling and Simulation Environment for Real-time Pricing Scenarios in Energy Markets. In: K. Tochtermann; A. Scharl (Hrsg.) *Informatics for Environmental Protection - Enviroinfo Graz 2006*, S. 153–160. Graz. ISBN 3-8322-5321-1.

LITERATURVERZEICHNIS

- Sprenger, Jon; Marc Klages; Michael H. Breitner (2010) Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Auswahl, die Migration und den Betrieb eines Campus-Management-Systems. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 52(4):211–224.
- Stadler, Michael; Wolfram Krause; Michael Sonnenschein; Ute Vogel (2009) Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices. *Environmental Modelling & Software* 24(2):285–295. ISSN 1364-8152. doi:10.1016/j.envsoft.2008.07.003.
- Statistisches Bundesamt (2009) Hochschulstandort Deutschland 2009: Ergebnisse aus der Hochschulstatistik. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 9. Dezember 2009 in Berlin.
- Suhl, Leena; Stefan Voß (2013a) BISE – Call for Papers Issue 3/2014: Decision Analytics. *Business & Information Systems Engineering* 5(1):55. doi:10.1007/s12599-012-0242-4.
- Suhl, Leena; Stefan Voß (2013b) WI – Call for Papers Heft 3/2014: Decision Analytics. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 55(1):61–62. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-012-0344-0.
- Terzidis, Orestis; Hans-Jürgen Appelrath; Christof Weinhardt (2010a) BISE – Call for Papers Issue 1/2012: Internet of Energy / Smart Grids. *Business & Information Systems Engineering* 2(4):259–266. doi:10.1007/s12599-010-0112-x.
- Terzidis, Orestis; Hans-Jürgen Appelrath; Christof Weinhardt (2010b) WI – Call for Papers Heft 1/2012: Internet der Energie / Smart Grids. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 52(4):255–256. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-010-0233-3.
- Tröschel, Martin; Hans-Jürgen Appelrath (2009) Towards Reactive Scheduling for Large-Scale Virtual Power Plants. In: Lars Braubach; Wiebe van der Hoek; Paolo Petta; Alexander Pokahr (Hrsg.) *Multiagent System Technologies*, Band 5774 der *Lecture Notes in Computer Science*, S. 141–152. Springer Berlin / Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-04143-3_13.

LITERATURVERZEICHNIS

- Tröschel, Martin; Ontje Lünsdorf (2010) Conjoint generation management and load adaption for an optimised power grid utilisation. In: *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, S. 1–2. ISSN 1944-9925. doi:10.1109/PES.2010.5590122.
- Turowski, Klaus (2015) Wirtschaftsinformatik-Konferenzen. In: Karl Kurbel; Jörg Becker; Norbert Gronau; Elmar Sinz; Leena Suhl (Hrsg.) *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik*. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government, Universität Potsdam. Online <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Kerndisziplinen/Wirtschaftsinformatik/Wirtschaftsinformatik-Konferenzen> (Abruf 2015-06-15).
- Tuunainen, Virpi Kristiina; Matti Rossi; Joe Nandhakumar (Hrsg.) (2011) *ECIS2011* The 19th European Conference on Information Systems: ICT and Sustainable Services Development. Helsinki, 9-11 June 2011. Program Guide*. Aalto University, School of Economics. Online verfügbar (archiviert 2011-12-26) <http://web.archive.org/web/20111226170819/http://www.ecis2011.fi/wp-content/uploads/2010/11/ECIS2011-ProgramGuide-web2.pdf>.
- Uchida, Y.; T. Itoh (2009) A Visualization and Level-of-Detail Control Technique for Large Scale Time Series Data. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Information Visualisation*, S. 80–85. Montpellier. ISSN 1550-6037. doi:10.1109/IV.2009.33.
- UMO-Lehrstuhl (2015) EAM information visualization using heatmaps. Online <https://www.wisem.wiwi.uni-due.de/seminarthemen/umo-lehrstuhl/themenblock-2-bachelor/> (Abruf 2015-03-06). Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Unternehmensmodellierung, Universität Duisburg Essen, Ulrich Franke (Hrsg.).
- utilicount GmbH & Co. KG (2012) Smart Watts. Online <http://smartwatts.de/> (Abruf 2013-09-18).

LITERATURVERZEICHNIS

- Voith, Sabine (2014) Software unterstützt Kraftwerksplaner. Springer für Professionals. Online <http://www.springerprofessional.de/5049806> (Abruf 2014-05-06).
- Watson, Richard T.; Marie-Claude Boudreau; Adela J. Chen (2010) Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community. *MIS Quarterly* 34(1):23–38.
- Weißberger, Barbara E.; Birgitta Wolff; Harald Dyckhoff; Nikolaus Franke; Georg Schreyögg (2015) Hinweise zum verantwortlichen Umgang mit VHB-JOURQUAL3. Für den VHB-Vorstand und JOURQUAL-Beirat. Online <http://vhbonline.org/service/jourqual/vhb-jourqual-3/begleitdokumente/hinweise-zum-verantwortlichen-umgang-mit-vhb-jourqual3/> (Abruf 2015-07-06).
- Welch, Ivo (2001) The Equity Premium Consensus Forecast Revisited. Cowles Foundation Discussion Paper No. 1325, University of California, Los Angeles (UCLA); National Bureau of Economic Research (NBER).
- Whitworth, Brian (2007) Combining Rigor and Relevance: The Open Electronic Archive Option. In: *ACIS 2007 Proceedings, 18th Australasian Conference on Information Systems, 5-7 Dec 2007*. Toowoomba. Paper 22.
- wi2015 (2015) Tagungshistorie: Über 21 Jahre WI-Tagung. Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Online <https://www.wi2015.de/tagungshistorie/> (Abruf 2015-06-15).
- Wiegard, Rouven; Cornelius Köpp; Hans-Jörg von Mettenheim; Michael H. Breitner (2014) Near Term Investment Decision Support for Currency Options. In: Stefan Helber; Michael H. Breitner; Daniel Rösch; C. Schön; J.-M. Graf von der Schulenburg; P. Sibbertsen; M. Steinbach; S. Weber; A. Wolter (Hrsg.) *Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR), Leibniz University of Hannover, Germany, September 5-7, 2012*, Operations Research Proceedings, S. 197–202. Springer. ISBN 978-3-319-00794-6.

LITERATURVERZEICHNIS

- Wikipedia (2015) Künstliches neuronales Netz. Online https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliches_neuronales_Netz (Abruf 2015-07-12). Mindestens 165 verschiedene Autoren.
- Winter, Robert (2009) Interview mit Alan R. Hevner zum Thema „Design Science“. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 51(1):148–151. ISSN 0937-6429. doi:10.1007/s11576-008-0109-y.
- WKWI; GI FB WI (2011) Profil der Wirtschaftsinformatik. Online http://wi.vhbonline.org/fileadmin/Kommissionen/WK_WI/Profil_WI/Profil_WI_final_ds26.pdf (Abruf 2015-06-21). Grundlage: Ergebnis der Arbeitsgruppe „Profil der Wirtschaftsinformatik“ (2009-2011) – Schoder, D. (Sprecher); Bichler, M.; Buhl, U.; Hess, Th.; Krcmar, H.; Sinz, E.
- Yin, Robert K. (2009) *Case study research: design and methods*, Band 200200 der *Applied Social Research Methods Series*. Sage Publications, Thousand Oaks. ISBN 9781452242569.
- Zhang, G. P.; V. L. Berardi (2001) Time Series Forecasting with Neural Network Ensembles: An Application for Exchange Rate Prediction. *The Journal of the Operational Research Society* 52(6):652–664.
- Zimmermann, Hans-Georg; R. Grothmann; C. Tietz; H. von Jouanne-Diedrich (2010) Market Modeling, Forecasting and Risk Analysis with Historical Consistent Neural Networks. In: *Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society*, S. 531–536. doi: 10.1007/978-3-642-20009-084.
- Zimmermann, Hans-Georg; Christoph Tietz; Ralph Grothmann (2013) Historical Consistent Neural Networks: New Perspectives on Market Modeling, Forecasting and Risk Analysis. In: Petia Georgieva; Lyudmila Mihaylova; Lakhmi C Jain (Hrsg.) *Advances in Intelligent Signal Processing and Data Mining*, Band 410 der *Studies in Computational Intelligence*, S. 259–274. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-28695-7. doi: 10.1007/978-3-642-28696-4_10.

Anhang A.

Publikationen

A.1. Microlearning mit UbiLearn

Michael H. Breitner, Nadine Guhr, Claudia M. König, Cornelius Köpp,
Philipp Maske

In: Andreas Hohenstein; Karl Wilbers (Hrsg.) Handbuch E-Learning: Expertenwissen aus Wissenschaft und Praxis - Strategien, Instrumente, Fallstudien. Wolter Kluwers, Köln. 33. Ergänzungslieferung. Juli 2010 (Beitrag 8.41). ISBN 87156-298-X

Abstract: In unserer immer mobiler und dynamischer werdenden Gesellschaft, in der mehr und mehr in fragmentierten Formen kommuniziert wird, ergeben sich zunehmend neue Anforderungen an herkömmliche Aus-, Fort- und Weiterbildungsangebote: Situatives Lernen direkt »am Puls des Geschehens« erfordert angepasste Lerninhalte, die den Nutzer in seiner aktuellen Situation unmittelbar weiterbringen, z. B. am Arbeitsplatz, auf Reisen etc. Vom Lernenden soll nicht mehr verlangt werden, seinen aktuellen Tätigkeitskontext unnötig lang zu unterbrechen, denn Zeit ist ein kostbares Gut und der schonende Umgang mit den immateriellen Ressourcen ist in der heutigen Zeit von erheblicher Bedeutung. Vielmehr soll der Nutzen, d. h. der aktuelle Lernfortschritt, unmittelbar und direkt durch die Nutzung von Leer- und Nischenzeiten als Lernzeiten erfolgen. Aus diesen Anforderungen ergibt sich, dass mobiles Lernen eine ideale Grundlage für Microlearning darstellt, auch wenn Microlearning nicht zwangsläufig mobiles Lernen voraussetzt. In diesem Kontext stellt UbiLearn als marktfähiges, praxisbewährtes und innovatives Lernsystem, welches durch seine Flexibilität, Kundenorientierung und Erweiterbarkeit sowohl stationäres als auch mobiles Lernen unterstützt, eine Lösung dar und wird im Folgenden anhand konkreter Beispiele aus der Praxis vorgestellt.

Keywords: Ubiquitäres Lernen, Microlearning, Microcontent, Führungskraftentwicklung, Soft Skills, Nutzerakzeptanz

Referenz: Breitner, Guhr, König, Köpp und Maske (2010)

A.2. Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast

Cornelius Köpp, Hans-Jörg v. Mettenheim, Marc Klages, Michael H. Breitner

In: Bo Hu; Karl Morasch; Stefan Pickl; Markus Siegle (Hrsg.) Operations Research Proceedings 2010: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society, Universität der Bundeswehr, München, September 1-3, 2010. S. 519–524. Gesellschaft für Operations Research e.V., Springer. ISBN 978-3-642-20008-3

doi: 10.1007/978-3-642-20009-0_82

Abstract: The rising share of renewable energy poses new challenges to actors of electricity markets: wind and solar energy are not available without variation and interruption, so there is a rising need of high priced control energy. Smart grids are introduced to deal with this problem, by load balancing at the electricity consumers and producers. We analyze the capabilities of electrical load balancing and present initial results, starting with a short review of relevant literature. Second part is an analysis of load balancing potentials at consumer households. A software prototype is developed for simulating the reaction to dynamically changing electricity rates, by implementing two generic classes of smart devices: devices running once in a defined limited time slice, as a simplified model of real devices like dish washer, clothes washer, or laundry dryer; devices without time restriction and a given daily runtime, as a simplified model of water heater with large storage. Third part is an analysis of centrally controlled combined heat and power plants (CHPP) for load balancing in a virtual power plant composed of CHPPs, wind and solar energy plants. CHPP load is driven by heating requirements but we want to forecast the (uninfluenced) produced electricity. Our neural network forecast of CHPP load allows to alter the behavior of heat (and electricity) production. In times of low demand or high production by wind and solar energy, the CHPP can be switched off, provided that sufficient heat reserves have been accumulated

Anhang A. Publikationen

before. Based on the neural network forecast, a software prototype simulates the effects of load balancing in virtual power plants by controlling the CHPPs.

Keywords: electrical load balancing, smart grid, smart devices

Referenz: Köpp, von Mettenheim, Klages und Breitner (2011)

A.3. Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbildung: Mit Wissenshäppchen zum Lernen verführen

Michael H. Breitner, Nadine Guhr, Claudia M. König, Cornelius Köpp,
Philipp Maske

In: Personalführung 02/2011, 44. Jahrgang, Deutsche Gesellschaft für Personalführung e.V., S. 40–48. ISSN 0723-3868

Abstract: Das Lernen anhand von kurzen Lernsequenzen ist im Vergleich zu traditionellen Lehr- und Lernmethoden ein vergleichsweise neues Phänomen. Möglich und befördert wurde es durch die Verbreitung leistungsfähiger mobiler Endgeräte. Vertreter der jüngeren Generation sowie Informations- und Wissensarbeiter müssen kaum Hemmschwellen überwinden, um diese Medien auch für Lernzwecke zu nutzen. Weiterbildungner und Medienpädagogen wiederum sehen in den ‚Wissenshäppchen‘ eine Chance, Hemmschwellen gegenüber Lernprozessen niedrig zu halten. Der Artikel gibt einen Überblick über einen noch jungen Ansatz, der zahlreiche verschiedene Lernaktivitäten und Lernmodelle umfasst.

Keywords:

Referenz: Breitner, Guhr, König, Köpp und Maske (2011)

A.4. Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Services

Philipp Maske, Nadine Guhr, Cornelius Köpp, Michael H. Breitner

In: Virpi Kristiina Tuunainen; Matti Rossi; Joe Nandhakumar (Hrsg.) Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems (ECIS), 09. – 11.06.2011, Aalto University School of Economics, Helsinki, Finland. Paper 245.

Online: <http://aisel.aisnet.org/ecis2011/245/>

Abstract: In today's mobile world, people demand access to learning materials and courses anytime and anywhere. There is a high market potential for m(obile)-learning services, but the mere existence of such services does not mean market readiness. Added values of m-learning services are necessary to attract new users. Mobile technologies both expand and constrain the practicality of value-based m-learning. Existing evaluation systems primarily focus a didactical or a technical point of view. This study utilizes the design science paradigm to address the design of an m-learning application that meets the needs of users and augments their willingness-to-pay so that suppliers can bring it to market sustainability. The results of an extended technology acceptance model (TAM) based evaluation shows that user acceptance and willingness-to-pay for m-learning is driven by the special exploitation of didactic added value of m-learning content and a technologically adopted implementation of m-learning applications.

Keywords: Mobile learning, design science, technology acceptance model, mobile application, business model, intensity of use, willingness to pay, sustainability

Referenz: Maske, Guhr, Köpp und Breitner (2011)

A.5. Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: Diethard Klatte; Hans-Jakob Lüthi; Karl Schmedders (Hrsg.) Operations Research Proceedings 2011: Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR 2011), August 30 - September 2, 2011, Zurich, Switzerland. S. 147–152. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-29209-5

doi: 10.1007/978-3-642-29210-1_24

Abstract: The rising share of renewable energies in today's power grids poses challenges to electricity providers and distributors. Renewable energies, like, e.g., solar power and wind, are not as reliable as conventional energy sources. The literature introduces several concepts of how renewable energy sources can be load-balanced on the producer side. However, the consumer side also offers load-balancing potential. Smart devices are able to react to changing price signals. A rational behavior for a smart device is to run when electricity rates are low. Possible devices include washing machines, dryers, refrigerators, warm water boilers, and heat pumps. Prototypes of these devices are just starting to appear. For a field experiment with 500 households we simulate adequate device behavior. The simulation leads to a mapping from price signal to load change. We then train a neural network to output an appropriate price signal for a desired load change. Our results show that even with strong consumer-friendly constraints on acceptable price changes the resulting load change is significant. We currently implement the results with a leading energy services provider.

Keywords: Energy Policy and Planning, Machine Learning, Simulation

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2012a)

A.6. Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles

Hans-Jörg von Mettenheim, Cornelius Köpp, Michael H. Breitner

In: Diethard Klatte; Hans-Jakob Lüthi; Karl Schmedders (Hrsg.) Operations Research Proceedings 2011: Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR 2011), August 30 - September 2, 2011, Zurich, Switzerland. S. 573–578. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-29209-5

doi: 10.1007/978-3-642-29210-1_91

Abstract: Advanced neural network architectures like, e.g., Historically Consistent Neural Networks (HCNN) offer a host of information. HCNN produce distributions of multi step, multi asset forecasts. Exploiting the entire informational content of these forecasts is difficult for users because of the sheer amount of numbers. To alleviate this problem often some kind of aggregation, e.g., the ensemble mean is used. With a prototypical visualization environment we show that this might lead to loss of important information. It is common to simply plot every possible path. However, this approach does not scale well. It becomes unwieldy when the ensemble includes several hundred members. We use heat map style visualization to grasp distributional features and are able to visually extract forecast features. Heatmap style visualization shows clearly when ensembles split into different paths. This can make the forecast mean a bad representative of these multi modal forecast distributions. Our approach also allows to visualize forecast uncertainty. The results indicate that forecast uncertainty does not necessarily increase significantly for future time steps.

Keywords: Decision Support Systems, Forecasting, Machine Learning

Referenz: von Mettenheim, Köpp und Breitner (2012)

A.7. Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk: Ausgleich von Prognosefehlern volatiler regenerativer Erzeuger

Marius Hilleke, Mathias Maske, Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: Fabian Renatus, Robert Kunze, Ingo Karschin, Jutta Geldermann, Wolf Fichtner (Hrsg.) Entscheidungsunterstützung durch Operations Research im Energie- und Umweltbereich, Tagungsband des Workshops der GOR-Arbeitsgruppen „OR im Umweltschutz“ und „Entscheidungstheorie und -praxis“ vom 01. und 02. März 2012 in Goslar, Operations Research. S. 40–55. Shaker Verlag, Aachen. ISBN 978-3-8440-1478-5

Abstract: Der Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung steigt seit Jahren kontinuierlich und wird in den nächsten Jahren weiter steigen. Windkraft- und Solar-Anlagen liefern jedoch im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken keine konstante Leistung. Exakte Prognosen der durch Wind und Sonne erzeugten Energie sind schwierig. Virtuelle Kraftwerke (VKW) werden als eine Möglichkeit gehandelt, um eine planbare Energieversorgung zu ermöglichen. Hierbei sollen Blockheizkraftwerke (BHKWs) mit Speichern die Prognoseabweichungen von Windkraft- und Solar-Anlagen ausgleichen. Noch ist jedoch unklar, ob dieses Konzept tatsächlich realisiert werden kann. Der Beitrag stellt ein Modell zur Bestimmung einer minimal erforderlichen installierten BHKW-Leistung vor. Zunächst werden die Abweichungen der Prognosen von der tatsächlichen Erzeugung untersucht. Anschließend erfolgt eine Analyse der bereits installierten BHKW-Typen und deren verfügbarer Leistung. Selbst ohne weitere Nebenbedingungen zur Sicherstellung eines Betriebs ohne Komfortverlust wird deutlich, dass derzeit nur ein Bruchteil der erforderlichen BHKW-Leistung vorhanden ist. In einer Erweiterung des Modells wird zusätzlich eine planmäßige Leistungsreduktion von Windkraftanlagen als weiterer

Anhang A. Publikationen

Ausgleichsmechanismus berücksichtigt. Auch dies macht jedoch eine deutlich größere BHKW-Leistung als derzeit vorhanden erforderlich.

Keywords: Virtuelles Kraftwerk, Blockheizkraftwerke, Integration regenerativer Energien, Prognosefehler, Windenergie, Solarenergie, EEX

Referenz: Hilleke, Maske, Köpp, von Mettenheim und Breitner (2012)

A.8. Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten

Britta Ebeling, Cornelius Köpp, Michael H. Breitner

In: Proceedings of the 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI2013). Paper 22.

Online: <http://aisel.aisnet.org/wi2013/22>

Abstract: Der Anteil externer Finanzierung der deutschen Hochschulforschung steigt seit Jahren kontinuierlich an. Da sich das Management von Forschungsressourcen in vielen Punkten von „konventioneller“ Ressourcenverwaltung unterscheidet, nimmt der damit verbundene Verwaltungsaufwand deutlich zu. Damit ändern sich auch die Anforderungen an die IT-Unterstützung insbesondere an den Hochschulinstituten. Die bestehenden Systeme sind auf diese Anforderungen nicht ausreichend spezialisiert, so dass es zur Bildung von Schattensystemen kommt. In Anlehnung an den Design Science Research Ansatz wird ein Prototyp mit dem Charakter eines Schattensystems über zwei Jahre hinweg iterativ entwickelt und gleichzeitig in einem typischen Fall evaluiert. Damit können die bestehenden Anforderungen auf dezentraler Ebene untersucht und die Realisierung von Schattensystemen in diesem Umfeld dokumentiert werden. Die bestehenden Grenzen des Prototyps bestätigen, dass Schattensysteme jedoch nicht als dauerhafte Lösung geeignet sind. Die Erkenntnisse aus Entwicklung und Einsatz des Prototyps dienen als Diskussionsbasis für die zukünftige Entwicklung eines hochschulweit integrierten Forschungsressourcenmanagements.

Keywords: Forschungsressourcenmanagement, Hochschulen, Design Science Research, Prototypentwicklung, Fallstudie

Referenz: Ebeling, Köpp und Breitner (2013)

A.9. Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungsunterstützungssystem für Portfoliobetreiber

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK (1/2013) 55(1):39–49. Springer Gabler. ISSN 0937-6429.

doi: 10.1007/s11576-012-0348-9

Abstract: Die zunehmende Verbreitung dezentral eingespeister erneuerbarer Energien führt zu Stabilitätsproblemen in Stromnetzen. Im Gegensatz zu steuerbaren und somit gut planbaren konventionellen Kraftwerken ist die Energieerzeugung aus Windkraft und Photovoltaikanlagen aufgrund von wetterbedingten Fluktuationen nur deutlich kurzfristiger und ungenauer zu prognostizieren. Grundsätzlich können sowohl Stromerzeuger als auch -verbraucher helfen, die Stabilitätsproblematik zu verringern. Zu diesem Zweck werden Beiträge zu einem Entscheidungsunterstützungssystem mit Steuerungsstrategien zur Beeinflussung des Verhaltens von Stromerzeugern und -verbrauchern vorgeschlagen. Auf der Erzeugerseite dienen dezentrale, kleinere Blockheizkraftwerke im Verbund als virtuelles Kraftwerk zum Lastausgleich. Basierend auf Prognosen bietet der Betreiber des virtuellen Kraftwerks einen Lastgang an. Auf Abweichungen kann später durch geeignete Steuerung der Blockheizkraftwerke reagiert werden. Auf der Verbraucherseite kommt eine Anreiz-basierte Steuerung über Preissignale zum Einsatz. Intelligente Geräte reagieren auf die übermittelten Strompreise dadurch, dass sie ihre Ausführungszeit, wenn möglich, auf einen Zeitraum günstiger Strompreise verlegen. Zur Vorbereitung eines Feldversuchs ist es zunächst notwendig, die intelligenten Geräte zu simulieren. Das Ergebnis der Simulation wird dazu verwendet, ein künstliches neuronales Netz zu trainieren, mit dem sich für gewünschte Lastverschiebungen geeignete Preissignale ermitteln lassen.

Anhang A. Publikationen

Keywords: Lastausgleich, Virtuelle Kraftwerke, Management komplexer Stromnetze, Künstliche Neuronale Netze, Simulation, Smart Devices

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2013a)

A.10. Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: Business & Information Systems Engineering (1/2013) 5(1):35–44. Springer Gabler. ISSN 1867-0202

doi: 10.1007/s12599-012-0246-0

Abstract: Decentralized renewable energy sources become more and more common. This leads to stability problems in power grids. Conventional energy sources are easy to control. In contrast, wind and solar power are much more difficult to forecast. Forecasts are only possible short term and are more imprecise. Producers and consumers of energy can try to help reducing stability problems. Contributions towards a decision support system are proposed and recommend how to alter the behavior of producers and consumers. On the producer side centrally controlled heat and power plants are able to shift load in a virtual power plant. The plant operator offers a load curve based on forecasts. The centrally controlled heat and power plants help to mitigate the effect of revised forecasts. An incentive based control on the consumer side is also proposed. Smart appliances react to pricing information. They alter their execution window towards the cheapest time slot, if possible. The exact behavior of appliances in the expected field experiment is still partially unknown. It is necessary to simulate the behavior of these appliances and to train an artificial neural network. The artificial neural network allows computing the pricing signal leading to a desired load shift.

Keywords: Load shifting, Virtual power plant, Management of complex energy systems, Artificial neural networks, Simulation, Smart devices

Anhang A. Publikationen

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2013b)

A.11. Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: S. Helber; M. H. Breitner; D. Rösch; C. Schön; J.-M. Graf von der Schulenburg; P. Sibbertsen; M. Steinbach; S. Weber; A. Wolter (Hrsg.) *Operations Research Proceedings 2012: Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR)*, Leibniz University of Hannover, Germany, September 5-7, 2012. S. 321–326. Springer. ISBN 978-3-319-00794-6

doi: [10.1007/978-3-319-00795-3_47](https://doi.org/10.1007/978-3-319-00795-3_47)

Abstract: The share of renewable energy in today's power grids is continually increasing. However, it is notoriously difficult to accurately forecast renewable electricity sources like wind and solar production with the granularity that energy providers require. To compensate for the fluctuating production and forecast errors, energy providers have to use expensive control energy. This partly negates the positive effect of renewables. Various ideas for load smoothing on the production side have been suggested. Here, we focus on load shifting on the consumer side: electricity rates that may vary in hourly intervals can influence smart devices in private consumer households. With real-time pricing (RTP) the energy provider can send high prices when production is behind forecasts. On the other hand, prices should be cheap when the production exceeds the forecast. Cheap rates would incite electricity consumptions. The challenge is to identify the price signal that will result in the desired load shift at consumers. As the behavior of smart devices is still unknown today we use a simulation prototype and train an artificial neural network with simulation data. As it turns out the neural network leads to good results and achieves hit rates in the task of mapping the desired load shift to a price signal. This hit rate

Anhang A. Publikationen

only slightly decreases when we submit the price model to some constraints that increase consumer-friendliness. The advantage of using a neural network is that it can adapt to a slowly changing mix of smart devices in households. By regularly retraining the network we are able to react to the future reality.

Keywords: Electrical Markets, Decision Support Systems, Energy Policy and Planning

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014c)

A.12. Near Term Investment Decision Support for Currency Options

Rouven Wiegard, Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim,
Michael H. Breitner

In: S. Helber; M. H. Breitner; D. Rösch; C. Schön; J.-M. Graf von der Schulenburg; P. Sibbertsen; M. Steinbach; S. Weber; A. Wolter (Hrsg.) *Operations Research Proceedings 2012: Selected Papers of the International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR)*, Leibniz University of Hannover, Germany, September 5-7, 2012. S. 197–202. Springer. ISBN 978-3-319-00794-6

doi: 10.1007/978-3-319-00795-3_29

Abstract: Currency options on a future confer the right but not the obligation to trade the underlying currency future at a pre-agreed price (the strike). Most currency options trade over-the-counter (OTC). That means that they do not follow standard rules for option contracts. They can, in principle, have arbitrary maturities, strike prices, and volume. Valuing OTC options is complex and various models have been developed for that task. Here, we present a Decision Support System (DSS) that helps in gauging the probable price of a currency option within the next thirty minutes. The forecast horizon is continuous and also an input to the model. We train an artificial neural network on past price data, using tick prices of option and underlying future of the past two hours. Fuzzy coding of time-points increases the robustness of our model. Error on the out-of-sample data set is small. Interestingly, we do not need additional data to obtain satisfactory results. The tick data time series of option and future prices contains enough information to lead to a good forecast. Especially, we do not use volatility or interest rate data. The neural network is, in most cases, able to correctly forecast the main troughs and peaks of the following thirty minutes. An ensemble of neural networks further smoothes the result. Our DSS is useful for both sellers and buyers of options. Sellers get a

Anhang A. Publikationen

tool that is calibrated on the latest market data. Buyers can judge, whether they should hedge their risks now or rather wait a short amount of time.

Keywords:

Referenz: Wiegard, Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014)

A.13. Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-Step Ensemble Data: An Application of Uncertainty Modeling to Historical Consistent Neural Network and other Forecasts

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: Business & Information Systems Engineering (3/2014) 6(3):131–140.
Springer Fachmedien, Wiesbaden. ISSN: 2363-7005

doi: 10.1007/s12599-014-0326-4

Abstract: Today’s forecasting techniques, which are integrated into several information systems, often use ensembles that represent different scenarios. Aggregating these forecasts is a challenging task: using the mean or median (common practice) important information is lost, especially if the underlying distribution at every step is multimodal. To avoid this we present a heatmap visualization approach. It is visually easy to distinguish regions of high activity (high probability of realization) from regions of low activity. This form of visualization enables us to identify splitting paths in the forecast ensemble and adds a “third alternative” to the decision space. Most forecast systems only offer “up” or “down”: the presented heatmap visualization introduces “don’t know”. When we look at the heatmap we can identify regions in which the underlying forecast model is not sure of the outcome. We present a software prototype with interactive visualization to support decision makers and discuss the information gained by its use. The prototype was already presented to and discussed with researchers and practitioners.

Keywords: Decision analytics, Forecast, Visualization, Fuzzy decision making, Uncertainty modeling, Historical consistent neural network (HCNN),

Anhang A. Publikationen

Heatmap

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014b)

A.14. Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten: Eine Anwendung von Unsicherheitsmodellierung für Historical Consistent Neural Network und andere Prognosetechniken

Cornelius Köpp, Hans-Jörg von Mettenheim, Michael H. Breitner

In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK (3/2014) 56(3):147–157. Springer Fachmedien, Wiesbaden. ISSN: 0937-6429

doi: doi:10.1007/s11576-014-0417-3

Abstract: Heutige in verschiedenen Informationssystemen integrierte Prognosetechniken nutzen oft Ensembles zur Darstellung verschiedener zukünftiger Szenarien. Die Aggregation dieser Prognosen stellt eine anspruchsvolle Aufgabe da: Bei der Nutzung von Mittelwert und Median (gängige Praxis) gehen wichtige Informationen verloren, vor allem wenn die zugrundeliegende Verteilung zu jedem Schritt multimodal ist. Um dies zu vermeiden präsentieren wir einen Heatmap-Visualisierungsansatz. Visuell ist eine einfache Unterscheidung zwischen Bereich mit hoher Aktivität (hohe Wahrscheinlichkeit der Realisierung) und solchen mit niedriger Aktivität möglich. Diese Form der Darstellung ermöglicht eine Identifikation von sich aufspaltenden Pfaden im Prognoseensemble und schafft dadurch eine „dritte Alternative“ im Entscheidungsraum. Die meisten Prognosesysteme bieten nur Ergebnisse „auf“ oder „ab“ an. Die vorgestellte Heatmap Visualisierung führt zusätzlich ein Ergebnis „weiß nicht“ ein. Durch Blick auf die Heatmap können somit Bereiche identifiziert werden, in denen sich das zugrundeliegende Prognosemodell nicht sicher ist über den zukünftigen Ausgang. Wir präsentieren einen Softwareprototyp zur Unterstützung von Entscheidern durch eine interaktive Visualisierung und diskutieren

Anhang A. Publikationen

den Informationsgewinn durch die Nutzung. Der Prototyp wurde bereits anderen Forschern und Praktikern präsentiert und mit diesen diskutiert.

Keywords: Decision analytics, Prognose, Visualisierung, Fuzzy decision making, Unsicherheitsmodellierung, Historical consistent neural network (HCNN), Heatmap

Referenz: Köpp, von Mettenheim und Breitner (2014a)