Softwareprototypen als Beitrag zur Entscheidungsunterstützung in Energiewirtschaft, Hochschulinstituten und Prognoseanwendungen

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

Doktor der Wirtschaftswissenschaften
— Doctor rerum politicarum —

vorgelegte Dissertation
von

Dipl.-Math. Cornelius Köpp

[redacted]

2015

Erstgutachter: Prof. Dr. Michael H. Breitner
Zweitgutachter: Prof. Dr. J.-Matthias Graf von der Schulenburg

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 **11**

Tabellenverzeichnis **13**

Abkürzungsverzeichnis **14**

Kurzfassung **16**

Abstrakt/Kurzfassung 17

Abstract (English) 18

1. Management Summary **19**

2. Gesamtsicht der Publikationen **28**

3. Einführung **33**

3.1. Motivation, Problemstellung, Fragen 34

3.2. Methodisches Vorgehen: Design Science Research 37

3.3. Künstliche Neuronale Netze 44

3.4. Aufbau der Arbeit 51

4. Lastmanagement in Stromnetzen **53**

4.1. Einführung 54

4.2. Grundlagen 55

4.3. Forschungsdesign 56

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse 58
4.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick 60
4.6. Einordnung der Publikation 62

5. Dezentrales Management von Forschungsressourcen 64
5.1. Einführung 65
5.2. Grundlagen 66
5.3. Forschungsdesign 67
5.4. Zusammenfassung der Ergebnisse 68
5.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick 70
5.6. Einordnung der Publikation 71

6. Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten 73
6.1. Einführung 74
6.2. Grundlagen 75
6.3. Forschungsdesign 76
6.4. Zusammenfassung der Ergebnisse 77
6.5. Kritische Würdigung, Entwicklung und Ausblick 79
6.6. Einordnung der Publikation 80

7. Kritische Würdigung und Ausblick 82

Literaturverzeichnis 91

A. Publikationen (Bildschirmoptimiert*) 110**
A.1. Microlearning mit UbiLearn 111
A.1.1. Einleitung 113
A.1.2. Microlearning: Der Trend zum Lernen zwischendurch und bei Bedarf 113
A.1.3. Führungskräfteentwicklung 116
A.1.4. Nutzerakzeptanzanalyse von ubiquitären Lernsystemen . 119
A.1.5. Microlearning im Kontext von UbiLearn 122
A.1.6. Fazit und Ausblick 131
A.1.7. Literaturhinweise 132

A.2. Analysis of Electrical Load Balancing by Simulation and Neural Network Forecast . . . 136
A.2.1. Introduction . . . 138
A.2.2. Load Balancing Potentials at Consumer Households . . . 139
A.2.3. Combined Heat and Power Plants (CHPP) for Load Balancing in a Virtual Power Plant . . . 140
A.2.4. Conclusions and Outlook . . . 142
A.2.5. References . . . 142
A.3. Microlearning in der Berufsbegleitenden Fort- und Weiterbildung: Mit Wissenshäppchen zum Lernen verführen . . . 143
A.3.1. Was genau ist Microlearning? . . . 147
A.3.2. Projekte in der Führungskräfteentwicklung . . . 149
A.3.3. Unterstützte Seminarkonzepte . . . 149
A.3.4. Fallbeispiele: Microlearning im Alltag . . . 150
A.3.5. Fazit . . . 152
A.3.6. Summary . . . 152
A.3.7. Literatur . . . 152
A.4. Towards a Sustainable Business Model for Mobile Learning Services . . . 153
A.4.1. Introduction . . . 155
A.4.2. Litrature Review . . . 155
A.4.3. Design as an Artifact . . . 158
A.4.4. Design Evaluation . . . 160
A.4.5. Conclusions and Outlook . . . 163
A.4.6. References . . . 165
A.5. Price-Induced Load-Balancing at Consumer Households for Smart Devices . . . 167
A.5.1. Introduction . . . 168
A.5.2. Dynamic Electricity Rates . . . 169
A.5.3. Simulation of Smart Devices . . . 170
A.5.4. Neural Network Training . . . 172
A.5.5. Conclusions and Outlook . . . 173
A.5.6. References . . . 173

A.6. Visualizing Forecasts of Neural Network Ensembles 174
A.6.1. Introduction 175
A.6.2. Basic Visualization Techniques for Ensemble Forecasts . 176
A.6.3. Prototypical Visualization Environment with Heatmaps . 177
A.6.4. Conclusions and Outlook 179
A.6.5. References 180
A.7. Eine quantitative Bedarfsanalyse von Blockheizkraftwerken im Virtuellen Kraftwerk: Ausgleich von Prognosefehlern volatiler regenerativer Erzeuger 181
A.7.1. Einleitung 184
A.7.2. Datenbasis 185
A.7.3. Fehlerausgleich mittels Blockheizkraftwerken 186
A.7.4. Fehlerausgleich mittels Blockheizkraftwerken und Wind-reserve 190
A.7.5. Ergebnisse 192
A.7.6. Kritische Betrachtung der Ergebnisse 195
A.7.7. Fazit und Ausblick 196
A.7.8. Tabellenverzeichnis 197
A.7.9. Literaturverzeichnis 197
A.8. Diskussion eines Prototyps für das dezentrale Management von Forschungsressourcen an deutschen Hochschulinstituten 199
A.8.1. Einleitung 200
A.8.2. Forschungsmethodik 202
A.8.3. Aktueller Stand in Forschung und Praxis 203
A.8.4. Prototyp FACTUM 206
A.8.5. Diskussion 210
A.8.6. Fazit und Ausblick 213
A.8.7. Literatur 214
A.9. Lastmanagement in Stromnetzen: Beiträge für ein Entscheidungs-unterstützungssystem für Portfoliobetreiber 215
A.9.1. Einleitung 217
A.9.2. Stand der Forschung 218

A.9.3. Entscheidungsunterstützungssystem zum Energiemanagement . . . 220
A.9.4. Portfolioausgleich unter Berücksichtigung von Erzeuger- und Verbraucherseite . . . 221
A.9.5. Prototypische Umsetzung und Fallbeispiel . . . 223
A.9.6. Grenzen, Zusammenfassung und Ausblick . . . 225
A.9.7. Literatur . . . 227
A.10. Load Management in Power Grids: Towards a Decision Support System for Portfolio Operators . . . 228
A.10.1. Introduction . . . 229
A.10.2. State of Research . . . 230
A.10.3. Decision Support Systems for Energy Management . . . 232
A.10.4. Portfolio Balancing that Takes Both Producers and Consumers into Account . . . 233
A.10.5. Prototypical Implementation and a Case Study . . . 235
A.10.6. Limits, Summary, and Outlook . . . 237
A.10.7. References . . . 238
A.11. Towards a Decision Support System for Real-Time Pricing of Electricity Rates: Design and Application . . . 239
A.11.1. Introduction . . . 242
A.11.2. Real-Time Pricing Model for Consumers and Reaction . 243
A.11.3. Getting the Next Price Signal using Neural Networks . . 244
A.11.4. Conclusions and Outlook . . . 246
A.11.5. References . . . 246
A.12. Near Term Investment Decision Support for Currency Options . 247
A.12.1. Introduction . . . 250
A.12.2. Decision Problem and Data . . . 250
A.12.3. Neural Network Forecast Model and Training . . . 251
A.12.4. Evaluation and Discussion . . . 252
A.12.5. Conclusion and Further Research . . . 254
A.12.6. References . . . 254

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 255
A.13.1. Introduction and Motivation 257
A.13.2. Research Design 258
A.13.3. Related Work 258
A.13.4. Mathematical Model of Heatmap Generation 260
A.13.5. Prototype Visualization Tool 261
A.13.6. Discussion 262
A.13.7. Limitations 264
A.13.8. Conclusions and Outlook 264
A.13.9. References 265
A.13.10 Anhang A 267
A.13.11 Table A-1 268
A.13.12 Fig. A-1 269
A.14. Decision Analytics mit Heatmap Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten: Eine Anwendung von Unsicherheitsmodellierung für Historical Consistent Neural Network und andere Prognosetechniken 270
A.14.1. Einführung und Motivation 272
A.14.2. Forschungsdesign 273
A.14.3. Stand der Forschung 274
A.14.4. Mathematisches Modell der Heatmap-Generierung 276
A.14.5. Prototypisches Visualisierungs-Tool 277
A.14.6. Diskussion 278
A.14.7. Limitationen 279
A.14.8. Fazit und Ausblick 280
A.14.9. Literatur 281
A.14.10 Anhang A 283
A.14.11 Tab. A-1 284
A.14.12 Abb. A-1 285

A.15. A Financial Decision Support System for Currency Option Price Forecasts with Artificial Neural Networks 286
A.15.1. Introduction and Motivation 287
A.15.2. Research backround 290
A.15.3. Decision Problem and Dataset 293
A.15.4. System Design and Implementation 296
A.15.5. Evaluation and Discussion 302
A.15.6. Limitations 306
A.15.7. Conclusions and Outlook 309
A.15.8. References 312

Abbildungsverzeichnis

1.1. SimuOne (Simulation intelligenter Verbraucher) und SimuTwo (Simulation von BHKWs) 21
1.2. Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems 22
1.3. FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern 23
1.4. Mittelwert/Median (links), Einzelprognosen (mitte) und Heatmap-Darstellung (rechts) einer Ensembleprognose 25
1.5. VisuOne 26

3.1. Umsetzungen von Design Science Research nach Hevner et al. (2004) 38
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) 45
3.3. Verfügbare Daten zur Ermittlung des nächsten Preissignals (Köpp et al., 2014c) 49

4.1. Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems mit Design Science Research nach Hevner et al. (2004, S. 83) 57
4.2. Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems 58
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) 59

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 60

5.1. Forschungsdesign (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) 67
5.2. FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern 68
5.3. Zugrundeliegendes Datenmodell von FACTUM 69

6.1. Forschungsdesign inspiriert durch Hevner et al. (2004, S. 83) . . 76
6.2. Visualisierung von mehrschrittigen Ensembledaten 78

Tabellenverzeichnis

1.1. Anforderungsabdeckung FACTUM; Zusammenfassung von (Ebeling, Köpp und Breitner, 2013) 24

2.1. Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 1/2 31
2.2. Übersicht der Veröffentlichungen – Teil 2/2 32

3.1. Zielpublikum bei Veröffentlichung von Design Science Forschungsergebnissen; Eigene Darstellung basierend auf Beschreibung von (Hevner et al., 2004, S. 82) 43
3.2. Struktur der Arbeit 51

4.1. Literaturübersicht zum Energiemanagement 55

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

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 Softwareprotypen 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

Hochschulinstitute: 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.

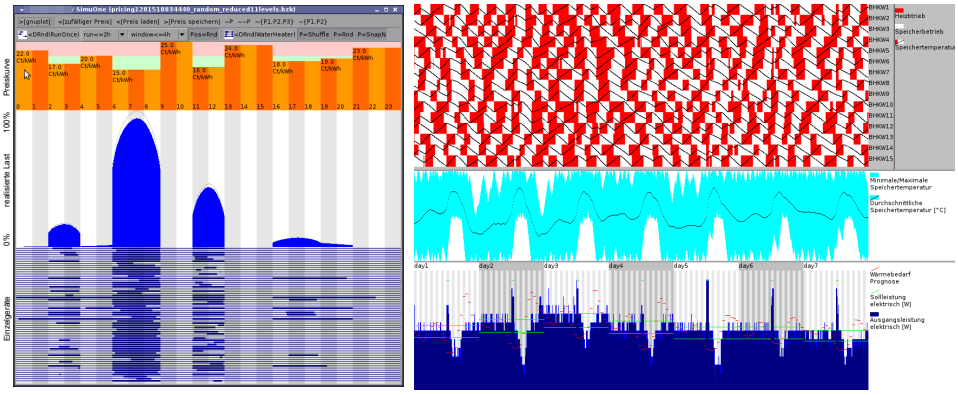

Abbildung 1.1.: SimuOne (Simulation intelligenter Verbraucher) und SimuTwo (Simulation von BHKWs)

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.

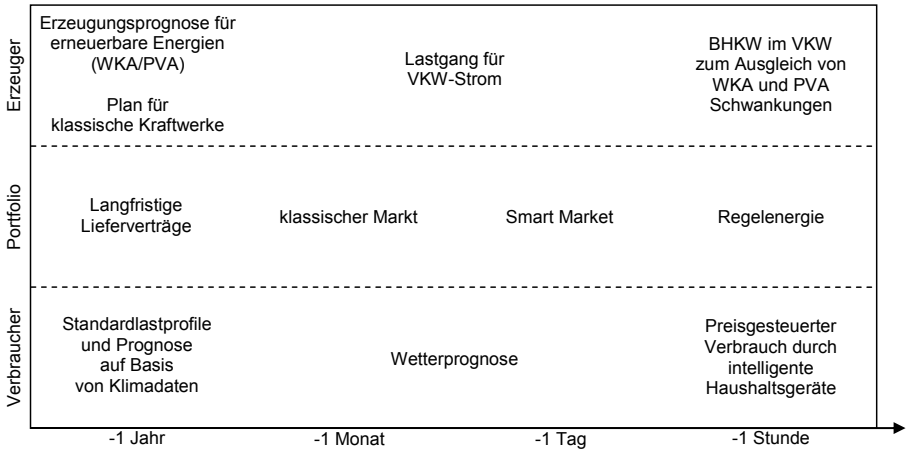

Abbildung 1.2.: Steuerungsmöglichkeiten des Energiemanagementsystems

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.

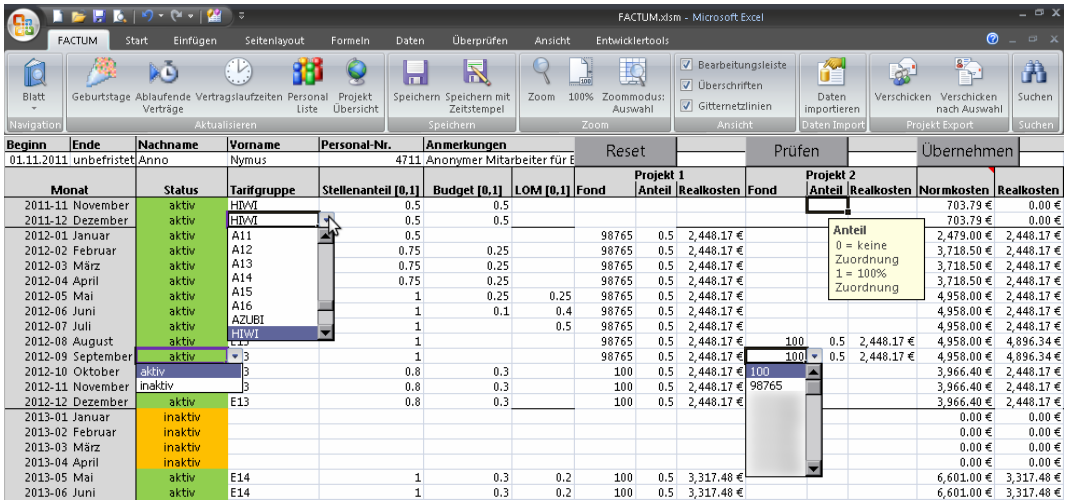

Abbildung 1.3.: FACTUM Beispiel: Projektzuweisung von Mitarbeitern

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

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 Hochschulinstituts, 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	$\oplus$	Datenimport aus SAP, kein Export in zentrale Systeme
Einheitliches Datenmodell	$\oplus$	Zentrale Erfassung und Konsistenzprüfung
Prozess- & Workflow-Orientierung	$\oplus$	Abbildung interner Prozesse und Workflows
Intuitive Benutzerführung	$\oplus$	Excel-Ribbon, Tooltips
Multiprojektunterstützung	$\oplus\oplus$	Einzel- und Gesamtdarstellung
Echtzeitinformationen	$\odot$	Manuelles Update und Verfügbarkeit in offiziellen Systemen erforderlich
Prognose-Funktionen	$\oplus$	Keine Berechnung von Realkosten möglich
Richtlinien-Überwachung	$\oplus$	Warnung bei Umverteilung; Keine Modellierung von Richtlinien
Termin-Überwachung	$\oplus$	Erinnerungsfunktion, ohne Kalender-Sync
Automatische Berichtgenerierung	$\oplus$	eMail-Versand inoffizieller Projektberichte
Entscheidungsunterstützung	$\oplus\oplus$	Darstellung Historie, Aktuell und Prognose
Kennzahlenüberwachung	$\oplus\oplus$	Übersicht durch Ampel-System
Datenschutz	$\ominus\ominus$	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 $(\oplus)\oplus$ 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 Mehrwehrt 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.

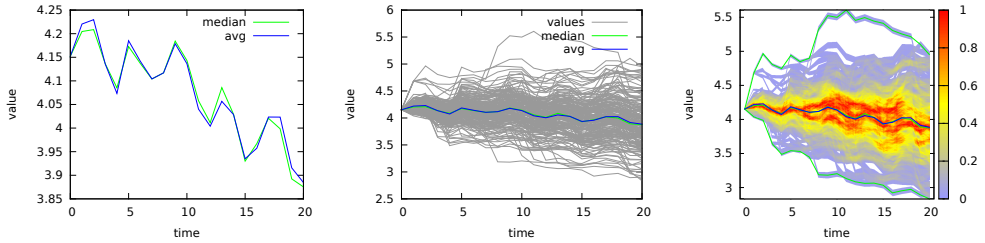

Abbildung 1.4.: Mittelwert/Median (links), Einzelprognosen (mitte) und Heatmap-Darstellung (rechts) einer Ensembleprognose

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 Wertebe-

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.

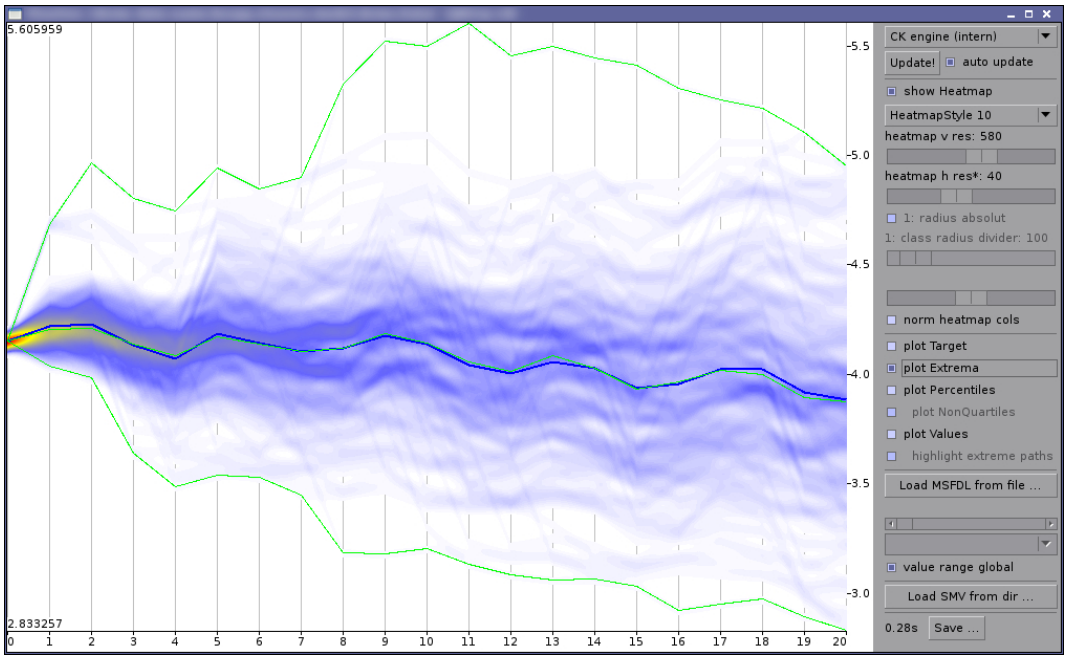

Abbildung 1.5.: VisuOne

Das Verfahren wurde in einem Softwareartefakt (siehe Abbildung 1.5) mit interaktiver Benutzeroberfläche implementiert. Durch optimierte und parallelisierte 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 Softwareeinsatz 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.