



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences

Campus Gummersbach



# **SPOTSeven Lab Jahresbericht 2013/14**

[www.spotseven.de](http://www.spotseven.de)

Kontakt:  
Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein  
Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften  
Fachhochschule Köln  
Steinmüllerallee 1  
51643 Gummersbach  
Germany  
[thomas.bartz-beielstein@fh-koeln.de](mailto:thomas.bartz-beielstein@fh-koeln.de)  
[www.spotseven.de](http://www.spotseven.de)

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Vorwort</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Das SPOTSeven Lab</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1      | Die Fachhochschule Köln   | 7         |
| 2.2      | Der Forschungsschwerpunkt CIplus  | 7         |
| 2.3      | Das SPOTSeven Lab   | 7         |
| <b>3</b> | <b>Arbeitsgebiete und Forschungsprojekte</b>  | <b>11</b> |
| 3.1      | Arbeitsgebiete  | 11        |
| 3.1.1    | SPOTSeven   | 11        |
| 3.1.2    | Computational Intelligence  | 11        |
| 3.1.3    | Data Mining   | 14        |
| 3.1.4    | Statistische Versuchsplanung, Design of Experiments   | 15        |
| 3.1.5    | Modellierung und Simulation   | 15        |
| 3.1.6    | Big Data  | 16        |
| 3.1.7    | Schadenvorhersage   | 17        |
| 3.1.8    | Optimierung   | 18        |
| 3.2      | Aktuelle Projekte   | 20        |
| 3.2.1    | MCIOP – Mehrkriterielle CI-basierte Optimierungsverfahren für den industriellen Einsatz                               | 20        |
| 3.2.2    | CIMO – Computational-Intelligence-basierte Mehrzieloptimierungsverfahren  | 22        |
| 3.2.3    | Entwicklung von stabilen und querempfindlichkeitsfreien COe-sensitiven Materialien für Rauchgassensoren               | 23        |
| 3.2.4    | ISAFAN: Intelligente Schadenvorhersage an Faserverbundstoff-Bauteilen in industriellen Anwendungen                    | 24        |
| 3.2.5    | PER-OPTI – Optimierung der Prozessführung basierend auf der automatischen Performancebewertung in modernen Walzwerken | 24        |
| 3.3      | Abgeschlossene Projekte   | 26        |
| 3.3.1    | FIWA – Methoden der Computational Intelligence für Vorhersagemodelle in der Finanz- und Wasserwirtschaft              | 26        |
| 3.4      | Industriepartner  | 27        |
| <b>4</b> | <b>Promotionen und Abschlussarbeiten</b>  | <b>29</b> |
| 4.1      | Doktoranden   | 29        |
| 4.2      | Gutachtertätigkeiten, Mitgliedschaften in Promotionskomitees  | 32        |
| 4.2.1    | Aktuelle Promotionsvorhaben   | 32        |
| 4.2.2    | Abgeschlossene Promotionsvorhaben   | 32        |
| 4.3      | Praxisprojekt- und Abschlussarbeiten  | 33        |
| 4.3.1    | Arbeiten im Berichtszeitraum  | 33        |
| 4.3.2    | Weitere Arbeiten  | 35        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Konferenzen</b>  | <b>37</b> |
| 5.1      | Einladungen . . . . .   | 37        |
| 5.2      | Organisation und Mitgliedschaft in Programmkomitees . . . . . | 37        |
| 5.2.1    | Chair . . . . .   | 37        |
| 5.2.2    | Organisation (Challenges, Tutorien, Workshops) . . . . .      | 37        |
| 5.2.3    | Mitgliedschaften in Programmkomitees . . . . .                | 37        |
| 5.3      | Teilnahme . . . . .   | 37        |
| <b>6</b> | <b>Personal</b>   | <b>39</b> |
| 6.1      | Hochschullehrer . . . . .                                     | 39        |
| 6.2      | Wissenschaftliche Mitarbeiter . . . . .                       | 39        |
| 6.3      | Lehrbeauftragte . . . . .                                     | 39        |
| 6.4      | Studentische Mitarbeiter . . . . .                            | 39        |
| 6.5      | Ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiter . . . . .             | 39        |
| <b>7</b> | <b>Lehrangebot</b>  | <b>41</b> |
| 7.1      | Vorlesungen, Seminare und Case-Studies . . . . .              | 41        |
| 7.1.1    | Sommersemester 2014 . . . . .                                 | 41        |
| 7.1.2    | Wintersemester 2013/14 . . . . .                              | 41        |
| 7.1.3    | Sommersemester 2013 . . . . .                                 | 43        |
| 7.1.4    | Wintersemester 2012/13 . . . . .                              | 43        |
| <b>8</b> | <b>Selbstverwaltung und Mitgliedschaften</b>                  | <b>45</b> |
| 8.1      | Selbstverwaltung . . . . .                                    | 45        |
| 8.2      | Mitgliedschaften . . . . .                                    | 45        |
| <b>9</b> | <b>Ausstattung</b>  | <b>47</b> |
| 9.1      | Hardware . . . . .  | 47        |
| 9.2      | Software . . . . .  | 47        |

# 1 Vorwort



Zu den angenehmen Momenten der Tätigkeit als Gutachter zählen diejenigen, in denen man etwas Positives über die eigene Arbeit liest. Dass in einem Forschungsbericht das *SPOTSSeven Lab* in einem Atemzug mit Forschungsinstituten der *Northwestern University*, der *Universität Bern*, der *Penn State University*, der *University of Maryland* oder mit dem *Institut Française de Méchanique Avance* (IFMA) und dem *French National Institute for Agricultural Research* (INRA) genannt wird, ist nur ein Beleg für die Reputation, die unsere Forschung im Bereich der Simulation und Optimierung genießt. Weitere Belege sind Einladungen zu Konferenzen und Workshops sowie die Teilnahme als Gutachter in Promotionsverfahren an Universitäten in Leiden, Amsterdam, Ljubljana oder der Warwick Business School. In diesem Zusammenhang sind die Einladungen als PPSN 2014 Program Chair (gemeinsam mit Jim Smith von der *University of the West of England* und Jürgen Branke von der *Warwick Business School*) und als Keynote Speaker für die *Brazilian Conference on Intelligent Systems* (BRACIS), der wichtigsten brasilianischen Konferenz im Bereich der Artificial Intelligence und Computational Intelligence zu nennen.

Neben der internationalen Sichtbarkeit ist auch die Sichtbarkeit vor Ort entscheidend. In diesem Zusammenhang sind gleich mehrere erfolgreiche Abschlussarbeiten zu nennen: *Margaritha Alejandra Rebolledo Coy* und *Quoc Cuong Pham* beendeten erfolgreich ihr Master- bzw. Bachelorstudium und wurden Mitglieder der SPOTSSeven Arbeitsgruppe. Prämiert wurde die Master-Arbeit von *Jörg Stork*, der gleich zwei Förderpreise erhielt. Den Förderpreis des Aggerverbands erhielt im Jahre 2013 *Martin Zaefferer* für seine Masterarbeit.

Zur Erfolgsstory einer Forschungsgruppe gehört auch, dass Mitarbeiter diese verlassen: So *Dr. Katya Vladislavleva*, die ihre eigene Firma *Evolved Analytics Europe* in Belgien aufbaut.

Zu den bereits etablierten Forschungsprojekten kamen letztes Jahr zwei weitere wichtige Projekte hinzu: In einem ZIM Projekt unterstützen wir die Entwicklung von Rauchgassensoren bei der *Enotec GmbH*. Gemeinsam mit Kollegen der FH Köln beschäftigen wir uns mit der Schadenvorhersage an Faserverbundstoff-Bauteilen im Forschungsprojekt ISAFAN.

Durch die zahlreichen Fotos, die in den letzten Monaten entstanden sind, hat dieser Jahresbericht teilweise den Charakter eines Fotoalbums. Dies ist durchaus beabsichtigt, da Forschung nicht nur auf Wissen beruht, sondern im Wesentlichen durch die Menschen, die dieses Wissen austauschen, vorangetrieben wird.

Thomas Rave - Beilstein



## 2 Das SPOTSeven Lab

Das *SPOTSeven Lab* ist Teil des an der Fachhochschule Köln angesiedelten Forschungsschwerpunktes *CIplus*. Zur Erläuterung der Beziehungen zwischen den einzelnen Einrichtungen werden diese im Folgenden kurz dargestellt.

### 2.1 Die Fachhochschule Köln

Die Fachhochschule Köln ist die größte Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Deutschland. Mehr als 22.600 Studierende werden von rund 420 Professorinnen und Professoren unterrichtet. Das Angebot der elf Fakultäten und des Institut für Technologie- und Ressourcenmanagement in den Tropen und Subtropen (ITT) umfasst mehr als 80 Studiengänge aus den Ingenieur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften und den Angewandten Naturwissenschaften. Die Fachhochschule Köln ist Vollmitglied in der Vereinigung Europäischer Universitäten (EUA), sie gehört dem Fachhochschulverband UAS 7 und der Innovationsallianz der nordrhein-westfälischen Hochschulen an. Die Hochschule ist zudem eine nach den europäischen Öko-Management-Richtlinien EMAS und ISO 14001 geprüfte umweltorientierte Einrichtung und als familiengerechte Hochschule zertifiziert. Die Forschungsaktivitäten an der Fachhochschule Köln tragen zur Weiterentwicklung von Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft bei. Zehn Cluster veranschaulichen die Bandbreite des Themenspektrums. Das SPOTSeven Lab ist im Cluster *Computational Services and Software Quality* im Forschungsschwerpunkt *Computational Intelligence plus* (CIplus) angesiedelt.

### 2.2 Der Forschungsschwerpunkt CIplus

Ziel des Forschungsschwerpunktes *Computational Intelligence plus* (CIplus) ist die Vernetzung und bessere Sichtbarkeit der Fachdisziplinen Optimierung, Simulation, Modellierung, Data Mining, Statistik und Mathematik unter besonderer Berücksichtigung naturanaloger Verfahren wie z.B. evolutionärer Algorithmen, siehe <http://www.ciplus-research.de>.

Nach positiver externer Evaluation befürwortete das Präsidium der FH Köln die Einrichtung des Forschungsschwerpunktes am 20.6.2012. Als Sprecher fungiert Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein.

### 2.3 Das SPOTSeven Lab

Diese international und interdisziplinär besetzte Arbeitsgruppe entwickelt state-of-the-art Methoden in der industriellen Simulation und Optimierung. Das aus mehr als zehn wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitern (darunter acht Doktoranden) bestehende Team zählt zu den weltweit führenden Forschungsgruppen im Bereich der Computational Intelligence. Mit Projektpartnern entwickelt SPOTSeven aktuelle Forschungsergebnisse direkt zur Entwicklung und Umsetzung innovativer Lösungen bis hin zur Marktreife.

Prof. Dr. Bartz-Beielstein hält regelmäßig Vorlesungen zum Thema Simulation und Optimierung, in denen aktuelle Forschungsergebnisse behandelt werden. Zudem werden Methoden zur



**Abbildung 2.1:** Prof. Bartz-Beielstein während des Besuchs einer nordamerikanischen Delegation (20 Gäste aus der nordamerikanischen Hochschullandschaft sowie politische Entscheidungsträger) im Rahmen der DAAD-Veranstaltung *Germany today*. Foto: Ivonne Klasen, FH Köln



**Abbildung 2.2:** Anne Hillenbach, STEPS-Koordinatorin, zu Besuch im SPOTSeven Doktorandenseminar. Seit 2013 besteht eine Kooperation zwischen STEPS und SPOTSeven.



statistische Versuchsplanung- und Optimierung von der Arbeitsgruppe SPOTSeven in mehreren Forschungsprojekten entwickelt.

Die Büroräume des SPOTSeven Labs sind auf dem Steinmüllergelände im sog. *Ziegelbau* (Steinmüllerallee 12) zu finden. Im Ziegelbau sind auch die *AIT Solutions GmbH* (Prof. F. Klasen) sowie die Arbeitsgruppen der Professoren Lake und Klocke untergebracht.



# 3 Arbeitsgebiete und Forschungsprojekte

## 3.1 Arbeitsgebiete

### 3.1.1 SPOTSSeven

*SPOTSSeven* stellt eine Methode zur Entwicklung wissenschaftlich fundierter Lösungen zur Prozessanalyse und Optimierung für den industriellen Einsatz dar. Unsere modernen Methoden zur Datenanalyse, Simulation und Optimierung ermöglichen nachhaltige Verbesserungen in der Produktentwicklung und Prozesssteuerung. Die Forschungsprojekte basieren in vielen Fällen auf einer jahrelangen erfolgreichen Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Diese Zusammenarbeit inspiriert unsere Forschung und motiviert unsere Studenten zu exzellenten Leistungen.

Mit dem SPOTSSeven Prozessmodell steht ein Standardverfahren zur Anwendungen in verschiedenen Industriezweigen und für unterschiedliche Prozesse zur Verfügung. Hierzu gehören unter anderem Projekte in den Bereichen

- Energie: Reduktion von Schadstoffemissionen in Kohlekraftwerken
- Wasser: Analyse und Prognose der Trinkwasserqualität
- Metallverarbeitung, insbesondere Stahl: Prozessüberwachung von Walzstraßen in der (Edel-) Stahlherstellung
- Kunststoff: Online-Prozessüberwachung und Steuerung von Spritzgussmaschinen in der Kunststoffindustrie

Der Einsatz von CI Methoden stellt ein wichtiges Element dieser Arbeit dar. Es kommen Evolutionary Algorithms, Genetic Programming, Evolutionary (Multiobjective) Optimisation Algorithms zum Einsatz. Zur Optimierung wird Sequential Parameter Optimisation (SPO) eingesetzt. Zur Simulation werden Regression, Response Surface Methods, Kriging, Agent-based Simulation Methoden eingesetzt. Grundlegend für alle Verfahren ist der Einsatz der experimentellen Versuchsplanung (Design of Experiments). Das SPOTSSeven Prozessmodell ermöglicht die systematische Optimierung komplexer Anwendungsprobleme. Es stellt eine Erweiterung der bekannten SixSigma Vorgehensweise dar. Der SPOTSSeven Prozess besteht aus klar definierten Schritten, die an die individuellen Bedürfnisse der Industriepartner angepasst werden. Bei den sieben Schritten handelt es sich im Einzelnen um:

1. Definition
2. Datenerfassung und Messen
3. Modellierung und Analyse
4. Optimierung
5. Integration und Installation
6. Kontrolle
7. Meta-Evaluation

Eine Darstellung des *SPOTSSeven* Prozessmodells ist in Bartz-Beielstein (2013b) zu finden.

### 3.1.2 Computational Intelligence

Computational Intelligence (CI) hat sich in den letzten Jahrzehnten als eine Fachdisziplin an den Schnittstellen zwischen angewandter Informatik, Mathematik und den Ingenieurwissenschaften



**Abbildung 3.1:** Prof. Bartz-Beielstein während des *Evolutionary Computation in Practice* (ECiP) Tracks. Diese Veranstaltung wird von Prof. Bartz-Beielstein organisiert. Zu den Vortragenden des ECiP Tracks in Vancouver zählten 2014 u.a. Prof. Dr. Thomas Bäck (Universität Leiden und Divis GmbH), Dr. S. Gustafson (GE Global Research), Prof. Dr. M. Affenzeller (HEAL) und Prof. Dr. E. Goodman (Red Cedar)

etabliert. Fuzzy-Logik, künstliche neuronale Netze, sowie evolutionäre Algorithmen gehören zu den wichtigsten Verfahren. Dabei werden häufig biologische Problemlösungsstrategien für mathematische oder ingenieurwissenschaftlich-technische Fragestellungen verwendet. Die biologischen Systeme selbst dienen dabei als Inspirationsquelle und werden nicht eins zu eins nachgebildet.

### Evolutionäre Algorithmen

*Evolutionäre Algorithmen* (EA) ist der Oberbegriff für eine Vielzahl populationsbasierter, stochastischer, direkter Suchverfahren, die Prinzipien der natürlichen Evolution nachbilden. Hierzu zählen Genetische Algorithmen, Evolutionsstrategien, Evolutionäres Programmieren und Genetisches Programmieren. Im Folgenden stellen wir exemplarisch dar, wie diese Algorithmen im *SPOTSSeven Lab* zum Einsatz kommen. Bartz-Beielstein u. a. (2014) geben eine umfassende Übersicht.

### Genetisches Programmieren

*Genetic Programming* (GP) ist eine Klasse von evolutionären Algorithmen für die automatische Erzeugung symbolischer Lösungen für abstrakt definierte Problemstellungen (Poli u. a., 2008; Banzhaf u. a., 1998). Symbolische Lösungen sind beispielsweise mathematische Modellformeln. Basierend auf einer abstrakten Problemdefinition (z.B. „finde eine möglichst exakte mathematische Modellformel für ein gegebenes physikalisches System“) erzeugt GP eine Population von zufälligen symbolischen Lösungen (z.B. Modellformeln) und verfeinert diese schrittweise in einem evolutionären Prozess durch Mutation, Rekombination und Selektion, bis eine zufriedenstellende Lösung gefunden ist.

Ein wichtiger Vorteil von GP ist, dass kein Vorwissen zur Struktur möglicher Lösungen benötigt



**Abbildung 3.2:** Das SPOTSeven Team ist auf den wichtigsten Konferenzen im Bereich Computational Intelligence aktiv. Hier ist Boris Naujoks gemeinsam mit Tea Husar zu sehen, die den Student Workshop während der Konferenz GECCO 2014 organisieren.

wird. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist die symbolische Lösungsrepräsentation, welche die Interpretation durch den Benutzer möglich macht. Beispielsweise werden GP-erzeugte Modellformeln für physikalische Prozesse in der gleichen Form dargestellt wie vom Menschen erstellte mathematische Modellformeln. Ein zusätzlicher Vorteil dieser symbolischen Darstellung ist, dass die gefundenen Lösungen sehr einfach in bestehenden industriellen Mess- und Steuerungssystem eingesetzt werden können. Im Gegensatz zu Verfahren wie *Neuronal Networks* (NN) oder *Support Vector Machines* (SVM) wird im Allgemeinen keine spezielle Softwareumgebung für die Ausführung von GP-erzeugten Modellen benötigt. Der bislang bedeutendste Nachteil von GP gegenüber anderen CI-Methoden war ein relativ hoher Rechenaufwand. GP ist jedoch sehr einfach parallelisierbar und kann daher sehr gut von der Verfügbarkeit günstiger Multi-Core-Workstations profitieren, wodurch das Verfahren inzwischen in sehr vielen Problemfeldern auch ohne den Einsatz von Hochleistungsrechnern anwendbar ist.

Poli u. a. (2008) präsentieren einen aktuellen Überblick und geben eine umfassende Darstellung der GP-Forschung. Aktuell werden weitere GP-Operatoren bzw. Variationen bestehender Operatoren entwickelt. Lineares GP, Graph-GP und GP zur mehrkriteriellen Optimierung finden zunehmend Anwendung. Zu den wichtigsten (und erfolgreichsten) Anwendungsgebieten für GP zählen Modellierung, symbolische Regression, Bild- und Signalverarbeitung, Finanzzeitreihenanalyse und ökonomische Modelle, industrielle Prozesssteuerung, Medizin, Biologie und Bioinformatik. Kordon (2006) gibt eine Übersicht über den Einsatz von GP in der *Dow Chemical Company*. Neuerdings wird die sog. *Multi-Objective Symbolic Regression* (MOSR oder auch Pareto-GP) erfolgreich als Modellierungstechnik angewendet. Basierend auf GP sollen dabei zwei widersprüchliche Zielsetzungen, einerseits Modellqualität (Prognosegüte) und andererseits Modellkomplexität, optimiert werden (Smits u. Vladislavleva, 2006). Pareto-GP kann zur automatischen Variablenauswahl, Berechnung sehr großer Datenmengen und Entwicklung zuverlässiger Modelle eingesetzt werden. Es werden Verfahren zur Vermeidung von Overfitting und zur Identifikation



**Abbildung 3.3:** Oliver Flasch und Martina Friese bereiten einen Vortrag für den CI-Workshop vor.

von Ausreißern entwickelt. Der Einsatz von Pareto-GP bettet sich sehr gut in die Vorgehensweise der experimentellen Versuchsplanung (*Design of Experiments, DoE*) ein. Prof. Dr. Bartz-Beielstein steht im intensiven Austausch mit Forschern der Universitäten Tilburg, Eindhoven und Antwerpen sowie mit der Arbeitsgruppe um Dr. Guido Smits (*Dow Benelux B.V.*), die diese Verfahren erfolgreich in der industriellen Praxis einsetzen.

Genetic Programming macht zur Zeit eine rasante Entwicklung durch. Einzelne Studien belegen die Überlegenheit von GP gegenüber klassischen Ansätzen. GP wird in Forschungseinrichtungen großer Konzerne (wir z.B. *Dow Benelux B.V.*) gleichberechtigt neben anderen Verfahren eingesetzt. Einen umfassenden Vergleich gängiger Methoden zur empirischen Modellierung (lineare Regression, rationale Intervallinterpolation, NN, SVM, Kriging, MLS, MARS und GP) gibt Vladislavleva (2008).

### 3.1.3 Data Mining

#### Datenerfassung und Systematisierung

Seit mehr als zehn Jahren bearbeitet Prof. Dr. Bartz-Beielstein Projekte aus der angewandten Forschung. So war er von 2000 bis 2006 im Sonderforschungsbereich „Design und Management komplexer technischer Prozesse und Systeme mit Methoden der Computational Intelligence“ (SFB 531) in einem Projekt zur Umsetzung der Grundlagenresultate in praxisorientierte Algorithmen und Werkzeuge tätig. Der SFB 531 stellte während seiner Förderung in den Jahren 1997-2008 eine fakultätsübergreifende Einrichtung der Technischen Universität Dortmund dar und wurde wesentlich von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell unterstützt. Prof. Dr. Bartz-Beielstein arbeitete im Projekt „Evolutionäre Algorithmen für den industriellen Einsatz“ (Projektleitung Prof. Dr. Günter Rudolph) an Fragestellungen u.a. aus den Bereichen Maschinenbau, Informatik, Bio- und Chemieingenieurwesen und Elektrotechnik. Die Datenvor-



**Abbildung 3.4:** Diskussion im SPOTSeven Doktorandenseminar

verarbeitung und Systematisierung vorhandener Ergebnisse spielte eine entscheidende Rolle in diesen Projekten. Seit Oktober 2006 hat Dr. Bartz-Beielstein eine Professur für Angewandte Mathematik an der FH Köln inne. Die Erfassung und Auswertung von Daten aus praktischen Anwendungen spielt auch in den aktuellen Forschungsprojekten eine wichtige Rolle. So fallen z.B. bei der Optimierung von Biogasanlagen und Kläranlagen oder beim Spritzgießen große Datenmengen an, die in unterschiedlichen Formaten vorliegen (Bartz-Beielstein u. a., 2010; Flasch u. a., 2010b,a; Koch u. a., 2010a,c,b; Bartz-Beielstein, 2010a; Ziegenhirt u. a., 2010; Flasch u. a., 2009; Konen u. a., 2009; Bartz-Beielstein u. Konen, 2008; Bartz-Beielstein u. a., 2008; Konen u. Bartz-Beielstein, 2008; Bartz-Beielstein u. a., 2007).

### 3.1.4 Statistische Versuchsplanung, Design of Experiments

Der Einsatz von Methoden der statistischen Versuchsplanung, engl. *design of experiments* (DOE), gehört zu den Standardtechniken im *SPOTSeven Lab*. Design of experiments wird einerseits zur Analyse von Algorithmen und Simulationsmodellen, andererseits zur Untersuchung von industriellen Prozessen eingesetzt. Eine umfassende Darstellung findet sich in Bartz-Beielstein (2006).

### 3.1.5 Modellierung und Simulation

#### Modellbildung

Basierend auf den Ergebnissen der statistischen Versuchsplanung kommen Verfahren zur Modellbildung zum Einsatz. Dazu gehören klassische statistische Verfahren wie Methoden der Regressionsanalyse bis hin zu modernen statistischen Verfahren wie stochastischen Prozessmodellen (Kriging). Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass Prof. Dr. Bartz-Beielstein mit



**Abbildung 3.5:** Das SPOTSeven Team arbeitet nicht nur an akademischen Fragestellungen, sondern stellt Lösungen für industrielle Anwendungen zur Verfügung. Martina Friese während der diesjährigen GECCO Industrial Challenge.

der *sequentiellen Parameter Optimierung* (SPO) ein Werkzeug entwickelt hat, das state-of-the-art Modellierungstechniken für die Prozessoptimierung zur Verfügung stellt. SPO wird von einer Vielzahl von Forschern in unterschiedlichen Projekten erfolgreich eingesetzt. Mehnen u. a. (2007) zeigen, wie Temperierbohrungen mittels SPO optimiert werden. So konnte die Kühlungsstrategie signifikant verbessert werden. Konen u. a. (2009) modellieren und optimieren die Vorhersage von Füllständen in Regenüberlaufbecken. Bartz-Beielstein (2010b) gibt eine Übersicht mit mehr als einhundert Literaturstellen.

### Simulation, CFD, Multi-Agentensysteme

Für Aufgaben aus dem Ingenieursbereich existiert ein großes Repertoire an Simulationsmethoden und Rechenverfahren für Strömungsprobleme. Aktuelle F&E-Aufgaben bestehen darin, die Erkenntnisse aus der Beschäftigung mit Partikel-Systemen, Schwärmen und Multi-Agentensystemen auf diese Fragestellungen anzuwenden und sie im Rahmen von Optimierungsalgorithmen zu integrieren. Auch in diesem Bereich ist das *SPOTSeven* Team in Forschung und Lehre aktiv.

### 3.1.6 Big Data

Im *SPOTSeven Lab* werden im Themenfeld *Big Data* unter anderem Verfahren zur Datenclustering und zur Prognose entwickelt.

*Clustering Algorithmen* werden zur Erkennung von Verbrauchsmustern weiterentwickelt. Bei Clustering Algorithmen ist zu beachten, dass klassische Varianten wie *Hierarchical Clustering* eine Komplexität (Laufzeit und Speicher) von  $O(n^2)$  oder schlechter aufweisen können. Algorithmen wie *k-means* versagen bei hochdimensionalen Daten. Für hochdimensionale Daten mit vielen Datensätzen sind Clustering Algorithmen geeignet, die zufällig Untermengen der Daten wählen, auf zusammenfassenden Statistiken der Daten operieren, Dichte von Punkten ausnutzen, den

Datenraum in ein Gitternetz unterteilen, Divide And Conquer verwenden oder inkrementell neue Datensätze einlesen. Ein Beispiel für solche Algorithmen (gitterbasiert und inkrementell) ist *Fractal Clustering*.

*Prognose- und Optimierungsalgorithmen* sind zum Einsatz auf sehr großen Datenmengen kaum erforscht. Klassische Algorithmen lassen sich nur sehr eingeschränkt einsetzen und werden daher anhand zweier Paradigmen modifiziert: Parallelisierung und Randomisierung. Wir betrachten als Anwendungsfälle dynamische Probleme, d.h., es gibt keinen Zeitpunkt, zu dem die Optimierung der Regelung als abgeschlossen betrachtet werden kann. Interessante neue Ansätze verwenden asynchrone stochastische Gradientenabstiegsverfahren oder verteilte, asynchrone L-BFGS Varianten. Evolutionäre Algorithmen, die eine parallele Optimierung inhärent ermöglichen, werden bisher kaum eingesetzt. Es sind zudem fast immer konfliktäre Ziele (z.B.: Komfort vs. Energieeffizienz) zu optimieren, was mehrkriterielle Algorithmen aus dem Bereich der Evolutionären Algorithmen leisten können. Hierfür gibt es noch keine speziell auf den Big Data Bereich zugeschnittenen Methoden dieser Art.

### 3.1.7 Schadenvorhersage

*Schadenvorhersage* (Damage Prognosis, DP) kann als generische Weiterentwicklung des *Structural Health Monitorings* (SHM) betrachtet werden, da die Vorhersage von Schäden einerseits die SHM Informationen benötigt, andererseits weiterführende Schlüsse zulässt. Die Schadenvorhersage geht dabei von den folgenden Annahmen aus: Es ist bekannt, was unter einem Schadensfall verstanden wird, der aktuelle Systemzustand kann bestimmt werden und es kann festgestellt werden, in welcher Weise der Schaden zunimmt.

Es kann hierbei auf die aus dem SHM bekannte Klassifikation zurückgegriffen werden. Ausgangspunkt ist dabei die Überlegung, dass es in der Realität kein perfektes Bauteil gibt. Jedes Bauteil weist einen initialen Defekt auf. Dieser Defekt kann sich zu einem Schaden weiterentwickeln, schließlich kann ein Schaden zu einem Ausfall führen (Worden u. a., 2007). Die Schadenvorhersage umfasst die folgenden Aufgaben:

- Bestimmung der Schadensursachen,
- Bestimmung der zukünftigen Belastungen,
- Erarbeitung von Verfahren zur Schadensdetektion,
- Auswahl der Prognosemodelle für die Schadenvorhersage und
- Bestimmung des Ziels der Vorhersage.

Es werden die folgenden drei System- bzw. Materialbeanspruchungen unterschieden: a) Kontinuierlich und geringfügig, b) vorhersagbar und diskret sowie c) nicht vorhersagbar und diskret.

Die unterschiedlichen Arten der Beanspruchung erfordern wiederum unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Datenerfassung. So ist für unvorhersehbare diskrete Ereignisse eine kontinuierliche Datenerfassung erforderlich. Im Gegensatz zu SHM ist die Schadenvorhersage eine sich erst noch entwickelnde Technologie. Erfolgreiche DP Anwendungen existieren momentan im Wesentlichen für Systeme mit beweglichen Teilen (Hubschrauber). Die meisten rein datengetriebenen Modelle eignen sich dabei nicht zur Extrapolation. Daher ist ein physikalisches Modell als Ergänzung sinnvoll. Das in Abbildung 3.6 dargestellte DP-Vorgehensmodell unterteilt sich daher in einen datengetriebenen und physikalischen Bereich.

Die vom *SPOTSSeven Lab* entwickelten Methoden zur Schadenvorhersage werden im Forschungsprojekt ISAFAN eingesetzt. Das Forschungsprojekt ISAFAN (Intelligente Schadenvorhersage

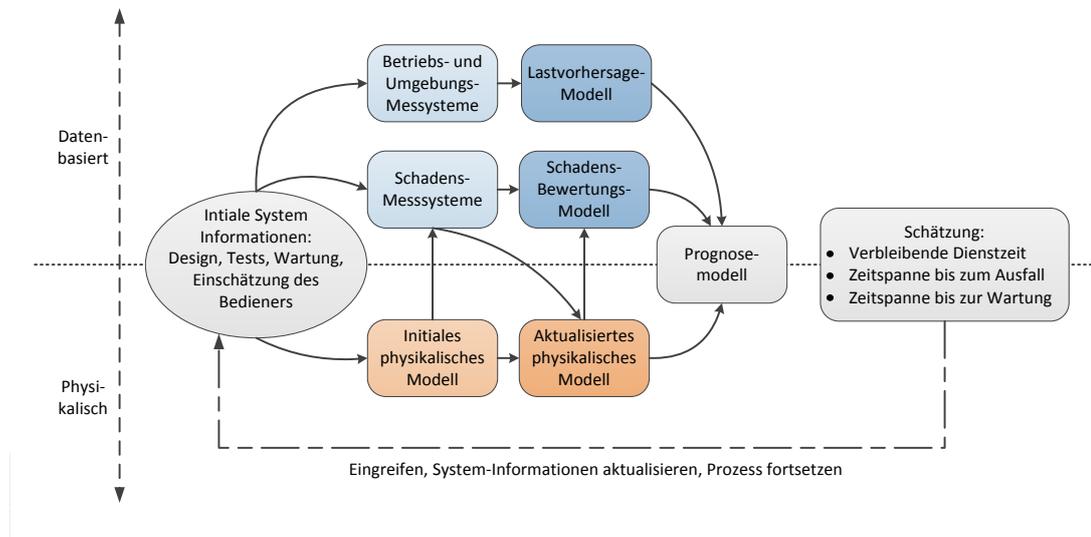


Abbildung 3.6: Vorgehensmodell zur Schadenvorhersage

an Faserverbundkunststoff-Bauteilen in industriellen Anwendungen) der Fachhochschule Köln arbeitet an der Optimierung von Faserverbundkunststoffen, etwa zum Bau von Windrädern und Flugzeugen oder in der Automobilindustrie. Ein interdisziplinäres Forscherteam aus vier Instituten der Hochschule entwickelt faserverstärkte Bauteile mit eingebauten Sensoren. Diese liefern permanent Informationen über den Zustand der Werkstücke. Zeitgleich werden in dem Projekt statistische Methoden erarbeitet, die Schadensentwicklungen oder das Versagen von Teilen vorhersagen. Wartungen oder der Austausch von Komponenten können so effizient geplant werden. ISAFAN wird durch das Landesprogramm FH Struktur mit 240.000 Euro gefördert und voraussichtlich bis Ende 2017 laufen.

### 3.1.8 Optimierung

#### Anlagenoptimierung

Prof. Dr. Bartz-Beielstein verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Bereich der Optimierung komplexer Systeme und Anlagen. Die Optimierung komplexer Anlagen war Gegenstand seiner Tätigkeit im bereits erwähnten Sonderforschungsbereich 531 an der *TU Dortmund* (Beielstein u. a., 2003c; Weinert u. a., 2004). In den Jahren 2001 bis 2006 entstanden in Zusammenarbeit mit Dr. Sandor Markon (Fujitec Ltd, Japan) eine Vielzahl Publikationen zum Thema Fahrstuhloptimierung (Markon u. a., 2001; Beielstein u. Markon, 2002; Beielstein u. a., 2003b,a; Bartz-Beielstein u. a., 2003; Bartz-Beielstein u. Markon, 2004; Bartz-Beielstein u. a., 2005b). Ergebnisse dieser Arbeiten sind in dem Buch „Modern Supervisory and Optimal Control with Applications in the Control of Passenger Traffic Systems in Buildings“ (Markon u. a., 2006) zusammengefasst.

Die von Prof. Dr. Bartz-Beielstein entwickelte Toolbox SPO beinhaltet Funktionen, die eine hierarchische Parameteroptimierung ermöglichen. So kommen während der Optimierung verschiedene Modelle zum Einsatz, die geeignete Lösungskandidaten auf der Modellebene (siehe Abbildung 3.8) vorhersagen. Diese Modelle können statisch festgelegt oder während der Optimierung dynamisch



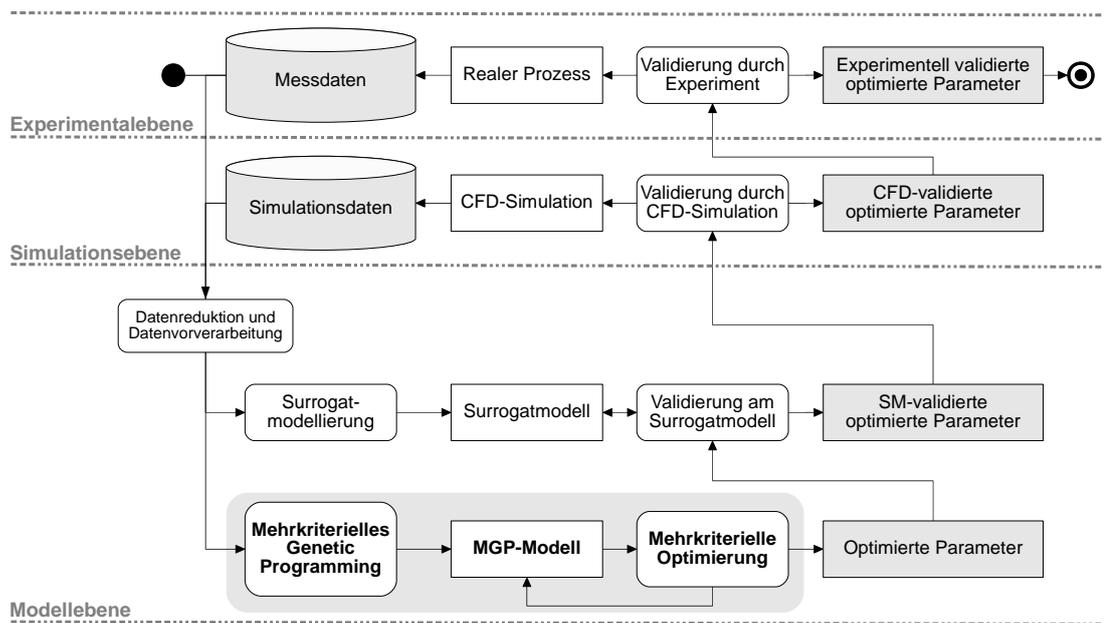
**Abbildung 3.7:** Martin Zaeferrer stellt seine Ergebnisse im SPOTSeven Doktorandenseminar zur Diskussion

wechseln (Bartz-Beielstein, 2010c).

Als Leiter des Forschungsprojekts FIWA führte Prof. Dr. Bartz-Beielstein Optimierungen von Biogasanlagen und Kläranlagen durch (Ziegenhirt u. a., 2010; Flasch u. a., 2010a; Koch u. a., 2010b,c; Konen u. a., 2009; Bartz-Beielstein u. Konen, 2008; Bartz-Beielstein u. a., 2007; Konen u. a., 2007).

### Mehrkriterielle Optimierung

Die mehrkriterielle Optimierung wurde zuerst im Bereich des *operations research* für diskrete Optimierungsaufgaben eingesetzt. Einen guten Überblick über die dort verwendeten Verfahren des *multi-criteria decision making* geben Miettinen (1999) und Ehrgott (2005). Seit Mitte/Ende der 1990er Jahre sind auch erste Ansätze mit Hilfe von evolutionären Algorithmen zur mehrkriteriellen Optimierung bekannt. Hier bieten von Deb (2001) und Coello Coello u. a. (2007) einen guten Überblick. Das bekannteste Verfahren zur evolutionären mehrkriteriellen Optimierung ist noch immer der *non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGAI)* von Deb u. a. (2002), auch wenn das sekundäre Selektionskriterium basierend auf der *crowding-distance* mittlerweile überholt ist. Seit Mitte der 2000er Jahre werden hier zunehmend Indikator-basierte Verfahren eingesetzt, beispielsweise der Hypervolumen-Indikator (vgl. den SMS-EMOA (Beume u. a., 2007)). Grundsätzlich ist aber auch ein Trend von der singulären Betrachtung des Selektionsoperators zu eher ganzheitlich angelegten Ansätzen, die auch die Variationsoperatoren berücksichtigen, zu beobachten. Der zunehmenden Anzahl von Parametern wird dann mit Hilfe von SPO begegnet (Wessing u. a., 2010).



**Abbildung 3.8:** Überblick über die verschiedenen Hierarchieebenen bei der Modellierung, Simulation und Optimierung: Auf der Experimentalebene werden die realen Experimente durchgeführt, die Daten gesammelt und darauf aufbauenden Modellierungen zur Verfügung gestellt. In der Simulationsebene werden CFD Modelle verwendet, um im Rahmen des Projektes generierte Parametrierungen für den realen Prozess einer letzten, endgültigen Validierung zu unterziehen. In der Modellebene findet sowohl die Modellbildung und Optimierung mit Hilfe mehrkriterieller Verfahren und des mehrkriteriellen GP (MGP) statt, als auch eine erste Validierung mit Hilfe von Surrogatmodellen, die ebenfalls auf Basis der Messdaten generiert werden.

## 3.2 Aktuelle Projekte

### 3.2.1 MCIOP – Mehrkriterielle CI-basierte Optimierungsverfahren für den industriellen Einsatz

**Laufzeit** 1.8.2011 - 30.6.2015

**Fördervolumen** 285.674,40 €

**Förderlinie** „Ingenieurnachwuchs an Fachhochschulen (IngenieurNachwuchs)“ 2011 im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen“

**Projektpartner** Steinmüller Engineering GmbH, TU Dortmund, Evolved Analytics LLC, Universität van Tilburg, Universität Leiden, Universität Gent, Arbeitgeberverband Oberberg e.V.

**Projektleitung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter** Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Oliver Flasch

**Kurzbeschreibung** Ziel des Projektes MCIOP ist die Verringerung von Schadstoffemissionen in Kohlekraftwerken. Der wissenschaftliche Fokus liegt auf der Entwicklung von Methoden, die in der Lage sind, interpretierbare Modelle für die Schadstoffemissionen automatisch zu generieren. Hierzu werden mehrkriterielle Optimierungsverfahren entwickelt und eingesetzt.



**Abbildung 3.9:** Seit mehr als zehn Jahren bestehen enge Kontakte nach Japan. Austausch mit Dr. Katagiri.



**Abbildung 3.10:** Begrüßung der Teilnehmer des SPOTSeven CFD-Workshops durch den Dekan der Fakultät 10, Prof. Dr. Averkamp. Der Workshop, an dem Vertreter aus der Industrie und von anderen Hochschulen teilnahmen, fand im Oktober 2013 statt. Weitere Informationen sind unter <http://www.spotseven.de/cfd-workshop-am-campus-gummersbach-der-fh-koeln> zu finden.



**Abbildung 3.11:** Beate Breiderhoff erläutert das Simulationsmodell eines Staubabscheiders während der CI-Workshops 2013.

Zur Zeit- und Kostenreduktion wird die Optimierung durch Surrogat-Modelle erfolgen, die abgestuft mit aufwändigeren Simulationen zum Einsatz kommen („optimization via simulation“). Bei der Anlagenplanung und während des Betriebs können durch eine mehrkriterielle Optimierung unterschiedliche Zielgrößen, wie z.B. Kraftwerkseffizienz und Schadstoffmenge, gleichzeitig berücksichtigt werden.

### 3.2.2 CIMO – Computational-Intelligence-basierte Mehrzieloptimierungsverfahren

**Laufzeit** 1.11.2011 - 31.10.2014

**Fördervolumen** 281.453,70 €

**Förderlinie** „Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt)“ 2011 im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen“

**Projektpartner** Steinmüller Engineering GmbH, TU Dortmund, Universiteit Leiden, Universiteit van Tilburg, Evolved Analytics LLC, Universiteit Gent, Arbeitgeberverband Oberberg e.V.

**Projektleitung, Wissenschaftliche Mitarbeiter** Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Martin Zaef-ferer, Margarita Rebolledo

**Kurzbeschreibung** Ziel des Projektes CIMO ist die Entwicklung von Optimierungsverfahren zur Analyse und Prognose von Daten zur „Reduktion von Schadstoffemissionen in Kohlekraftwerken“ mittels Verfahren der Computational Intelligence (CI). Methoden aus der



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences  
Campus Gummersbach





**Abbildung 3.12:** Studentinnen und Studenten des Studiengangs *Automation & IT* bei einer Projektarbeit

Informatik, insbesondere aus dem Bereich des Algorithm Engineering spielen hierbei eine zentrale Rolle. Die Entwicklung entsprechender Algorithmen (Optimierungsverfahren) und Visualisierungstechniken stehen im Mittelpunkt dieses Projektes. Der Schwerpunkt liegt dabei auf “Genetic Programming”, einem Verfahren, mit dem mathematische Modelle für Schadstoffemissionen automatisch anhand von Messdaten erzeugt werden können. Da mehrere Zielgrößen berücksichtigt werden, kommen Verfahren der mehrkriteriellen Parameteroptimierung zum Einsatz. Außerdem müssen Verfahren zur Restriktionsbehandlung entwickelt werden, da viele Nebenbedingungen auftreten.

### 3.2.3 Entwicklung von stabilen und querempfindlichkeitsfreien COe-sensitiven Materialien für Rauchgassensoren

**Förderkennzeichen** KF3145101WM3

**Laufzeit** 1.7.2013 - 30.06.2015

**Fördervolumen** 173.402,00 €

**Förderlinie** „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“- Kooperationen, Projektform: Kooperationsprojekt (KF)

**Projektpartner** ENOTEC GmbH



**Abbildung 3.13:** Ein regelmäßiger Austausch mit Industriepartnern ist ein wichtiges Element für die erfolgreiche Projektdurchführung. Auf dem Foto sind Vertreter der Steinmüller Engineering GmbH zu sehen.

**Projektleitung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter** Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Jörg Stork

**Kurzbeschreibung** Entwicklung von modernen Modellierungstechniken, mehrkriterieller Optimierung und dem flexiblen mehrschrittigen Prozessmodell.

### 3.2.4 ISAFAN: Intelligente Schadenvorhersage an Faserverbundstoff-Bauteilen in industriellen Anwendungen

**Förderkennzeichen** KF3145101WM3

**Laufzeit** 1.1.2014 - 31.12.2017

**Fördervolumen** 238.890,00 € (Förderung durch das MIWF)

**Förderlinie** FH STRUKTUR 2014. Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen

**Projektpartner** Prof. T. Bartz-Beielstein, Prof. J. Blaurock, Prof. S. Lake, Prof. M. Bongards, Prof. F. Herrmann.

**Projektleitung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter** Prof. Dr. Jochen Blaurock, Martin Zaefferer

**Kurzbeschreibung** Gegenstand des geplanten Forschungsschwerpunktes ist die Untersuchung neuer Methoden zur Online-Überwachung von Faserverbundkunststoffbauteilen. Das innovative Forschungsgebiet liegt hierbei nicht ausschließlich in der Messung von Strukturveränderungen, sondern insbesondere in der Entwicklung statistischer Methoden zur Schadenvorhersage. Industrielle Anwendungen ergeben sich im Bereich der Windkraft, der Automobilindustrie und im Flugzeugbau.

### 3.2.5 PER-OPTI – Optimierung der Prozessführung basierend auf der automatischen Performancebewertung in modernen Walzwerken

**Förderkennzeichen** Anschubfinanzierung FH Köln



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences  
Campus Gummersbach





**Abbildung 3.14:** Vorstellung der SPOTSeven Case Studies für Studenten des Studiengangs *Automation & IT*.

**Laufzeit** 1.5.2012 - 30.4.2015

**Fördervolumen** 90.000 €

**Förderlinie** FH Köln: Interne Forschungsförderung: Antrag auf Anschubfinanzierung

**Projektpartner** Prof. T. Bartz-Beielstein, Prof. Dr.-Ing. Robert Haber, Prof. Dr.-Ing. Mohieddine Jelali, Prof. Dr.-Ing. Hasan Smajic

**Projektleitung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter** Prof. Dr.-Ing. Mohieddine Jelali, Christian Jung

**Kurzbeschreibung** Das vorliegende Verbundforschungsprojekt dient als Startpunkt zur Bildung eines neuen Forschungsschwerpunktes „Ressourcen- und Energieeffizienz“ an der FH Köln, zur Intensivierung der Drittmittelinwerbung sowie zur Verbesserung der interdisziplinären und fakultätsübergreifenden Zusammenarbeit und Forschung auf den Gebieten der Regelungs- und Automatisierungstechnik. Gegenstand der Forschung und Anwendung stellen komplexe Anlagen und Prozessketten dar, wie sie in der Prozessindustrie, insbesondere der metallverarbeitenden Industrie, vorkommen. Dort besteht viel Potential zur Energie- und Ressourceneffizienz bzw. zur Verringerung von Umwelt-/Klimabelastung. Einen effektiven Beitrag dazu können neue, effiziente Automatisierungssysteme leisten, die im Rahmen des Forschungsschwerpunktes gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Hochschule entwickelt werden.



**Abbildung 3.15:** Ideale Verknüpfung von Forschung und Lehre. Jörg Stork berichtet über die Kooperation mit der Enotech GmbH im Rahmen einer Vorlesung.

### 3.3 Abgeschlossene Projekte

#### 3.3.1 FIWA – Methoden der Computational Intelligence für Vorhersagemodelle in der Finanz- und Wasserwirtschaft

**Förderkennzeichen** 17N2309

**Laufzeit** 1.6.2009 - 31.11.2012

**Fördervolumen** 258.424,00 €

**Förderlinie** „Ingenieurnachwuchs an Fachhochschulen (IngenieurNachwuchs)“ 2011 im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen“

**Projektpartner** Dortmund Intelligence Project (DIP) GmbH, TU Dortmund, Quaesta Capital GmbH, Technische Werke Emmerich GmbH

**Projektleitung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter** Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Oliver Flasch

**Kurzbeschreibung** Ziel des beantragten Projekts war die Entwicklung modularer Systeme zur Analyse und Prognose von Daten aus der Finanz- und Wasserwirtschaft mittels Verfahren der Computational Intelligence (CI). Schwerpunktmäßig wurde dabei Genetic Programming (GP) eingesetzt.



Fachhochschule Köln  
Cologne University of Applied Sciences  
Campus Gummersbach





**Abbildung 3.16:** Martin Zaefferer präsentiert Forschungsergebnisse vor Industrievertretern während des SPOTSeven CFD-Workshops.

### 3.4 Industriepartner

Mit den folgenden Unternehmen wurden Forschungsprojekte, Case-Studies oder Abschlussarbeiten durchgeführt.

- Steinmüller Engineering GmbH. Fabrikstraße 5. 51643 Gummersbach
- GreenPocket GmbH. Schanzenstraße 6-20. 51063 Köln
- Quaesta Capital GmbH. Oberlindau 63. 60323 Frankfurt
- DIP DORTMUND INTELLIGENCE PROJECT GmbH. Am Spörkel 62. 44227 Dortmund
- VOSS Automotive GmbH. Leiersmühle 2-6. 51688 Wipperfürth
- SMS SIEMAG AG. Wiesenstraße 30. 57271 Hilchenbach-Dahlbruch
- OPITZ CONSULTING GmbH. Kirchstraße 6. 51647 Gummersbach (Nochen)
- Endress+Hauser Conducta GmbH + Co. KG. Siemensstraße 2. 64823 Groß-Umstadt
- Bosch Thermotechnik GmbH. Werk Lollar. Justus-Kilian-Straße 1.35457 Lollar
- ENOTEC GmbH. Höher Birken 6. 51709 Marienheide
- Bertrandt Ingenieurbüro GmbH. Blohmstrasse 10. 21079 Hamburg
- Evolved Analytics, LLC. 3411 Valley Drive. Midland, MI 48640. USA

- JMP – Statistical Discovery from SAS. SAS Institute GmbH. Otto-Lilienthal-Straße 36. 71034 Böblingen
- Industrie- und Handelskammer zu Köln. Zweigstelle Oberberg. Postfach 100464, 51604 Gummersbach

# 4 Promotionen und Abschlussarbeiten

## 4.1 Doktoranden

**Dipl.-Inform. Oliver Flasch** Oliver Flasch ist Doktorand an der Fachhochschule Köln. Seine Promotion erfolgt in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dortmund. Seine Forschungen befassen sich mit skalierbaren Methoden zur automatischen Erzeugung mathematischer Modelle auf Basis von Messdaten („symbolische Regression durch Genetische Programmierung“). Er ist Projektleiter und Hauptentwickler von RGP, einem modernen Softwaresystem zur Genetischen Programmierung. Nach Studien der Biologie und Informatik an der TU Dortmund und der Ruhr-Universität Bochum entwickelte er innovative graphische Softwarewerkzeuge zur Datenstromverarbeitung für die DIP GmbH. Neben seiner Promotionsstelle an der FH Köln ist er Geschäftsführer des jungen Software-Startups sourcewerk UG.

**Dipl.-Inform. Martina Friese** Martina Friese promoviert in Kooperation mit der Universität Leiden. Ihre Forschungsschwerpunkte beinhalten Surrogatmodellierung und moderne Optimierungsverfahren wie beispielsweise Sequentielle Parameter Optimierung (SPO). Sie studierte Informatik an der TU Dortmund und arbeitete einige Jahre als Software Engineer bei der adesso AG. Seit 2010 ist sie Mitglied des SPOTSeven Teams.

**Dipl.-Inform. Andreas Fischbach** Andreas Fischbach arbeitete nach seinem Studium der Informatik an der TU Dortmund zunächst für einige Jahre als Software Engineer. Er besitzt Projekterfahrungen durch seine Tätigkeiten bei der adesso AG und bei Remondis Assets & Services GmbH & Co. KG. Seit April 2013 ist er Mitglied der Arbeitsgruppe SPOTSeven. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen Themen der Sequentiellen Parameter Optimierung sowie die statistische Versuchsplanung.

**Dipl.-Ing. Christian Jung** Christian Jung ist Doktorand an der Fachhochschule Köln. Zur Zeit führt er eine Dissertation in Kooperation mit der Technischen Universität Dortmund durch. Seine Forschungsinteressen beinhalten Prozessoptimierungen und Modellierungen von komplexen Problemen aktueller Industrieprozesse. Christian hat Elektrotechnik an der TU Darmstadt studiert und arbeitet derzeit bei der SMS Siemag AG. Er hat sich dem SPOTSeven Team 2011 angeschlossen.

**M.Sc. Dipl.-Inform. (FH) Beate Breiderhoff** Beate Breiderhoff hat langjährige Lehrerfahrung im Bereich Angewandte Mathematik und fundiertes Hintergrundwissen in höheren Programmiersprachen und Computeralgebra-Systemen. 2006 erhielt sie ihren Master-Abschluss an der FH Köln und promoviert derzeit in Kooperation mit der TU Dortmund. Ihre Forschungsinteressen beinhalten Optimierung und numerische Berechnungen. Frau Breiderhoffs Arbeit ist motiviert von der Zusammenarbeit zwischen Mathematikern, Informatikern und Ingenieuren. Sie gehört seit 2011 zum SPOTSeven Team und entwickelt zurzeit Optimierungsverfahren für Umwelttechnik und Energielieferanten.

**M. Eng. Martin Zaefferer** Martin Zaefferer ist seit 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter der FH Köln in der Arbeitsgruppe SPOTSeven. Nach seinem Diplom (FH Köln, Elektrotechnik)



**Abbildung 4.1:** Das SPOTSSeven Doktorandenseminar findet freitags statt. Durch die regelmäßigen Treffen ist ein kontinuierlicher Austausch über den Fortschritt der Promotionen gewährleistet.



**Abbildung 4.2:** Die Organisatorin der GECCO Industrial Challenge, Martina Friese, kurz vor der Verleihung der Preise während des ACM SIGEVO Meetings in Vancouver, Canada. Im Hintergrund sind weitere Mitglieder des SPOTSSeven Teams zu sehen. V.l.n.r.: Martina Friese, Martin Zaefferer, Jörg Stork





**Abbildung 4.3:** Christian Jung erläutert die Ergebnisse seiner Forschung im Rahmen des SPOTSSeven Doktorandenseminars

studierte er von 2010 bis 2012 im Masterprogramm *Automation & IT*. Im Rahmen seiner Forschungsarbeit promoviert er derzeit in Kooperation mit der TU Dortmund. Seine Forschungsinteressen beinhalten Computational Intelligence, Data Mining, Sequential Parameter Optimization sowie generell Optimierungsmethoden mit Anwendungen in der Industrie. Er ist ein erfahrener Programmierer mit besonderem Schwerpunkt in den Sprachen R und Matlab.

**M. Eng. Jörg Stork** Jörg Stork ist seit 2009 Teil des SPOTSSeven Teams und arbeitet momentan als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der FH Köln. Er hat seinen Bachelor im Bereich Elektrotechnik mit Fokus auf Automatisierung an der FH Köln gemacht und nachfolgend den internationalen Master-Studiengang Automation & IT besucht, den er 2013 abschloss. Momentan promoviert er in Kooperation mit der Freien Universität Amsterdam. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich der Genetischen Programmierung, Parameter Optimierung und modernen Methoden zur Zeitreihenanalyse und Klassifikation. Er ist ein erfahrener Programmierer mit starkem Hintergrund in C und R.

**M. Sc. Steffen Moritz** Steffen Moritz arbeitet als Doktorand bei der Bosch Thermotechnik GmbH, wobei die wissenschaftliche Betreuung seiner Dissertation durch das SPOTSSeven Team erfolgt. Seinen Master-Abschluss hat er 2013 an der Technischen Hochschule Mittelhessen in Giessen erlangt. Er hat bereits erfolgreich auf dem Gebiet der Datenanalyse und des Data-Minings gearbeitet. So hat er u.a. den zweiten Platz beim Data-Mining-Cup 2012 erzielt. Seit März 2013 arbeitet er im SPOTSSeven Team.



Abbildung 4.4: Austausch während des STEPS Wintersworkshops auf metabolon.

## 4.2 Gutachtertätigkeiten, Mitgliedschaften in Promotionskomitees

### 4.2.1 Aktuelle Promotionsvorhaben

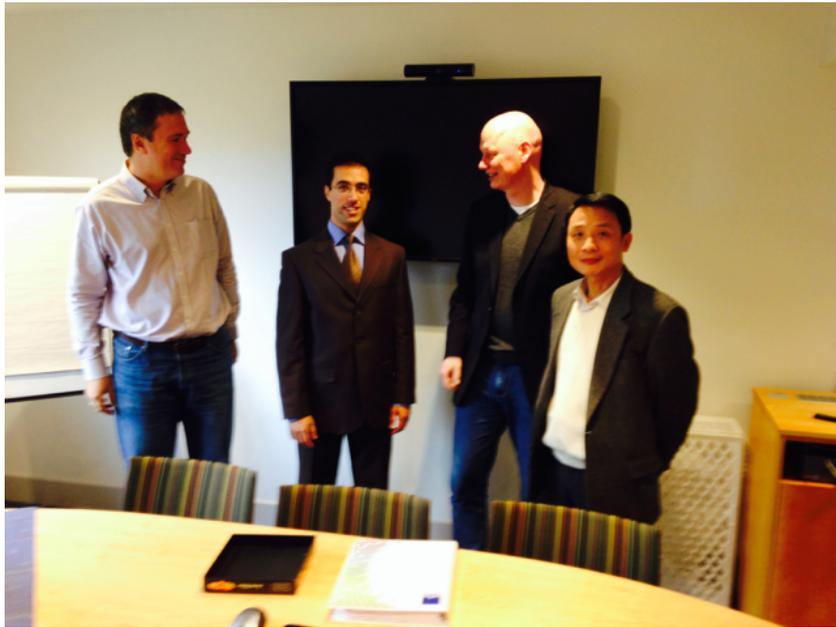
Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein ist Mitglied des „Ph.D. Theses Committees“ bei der folgenden Promotion.

- Jozef Stefan International Postgraduate School Ljubljana, Slovenia: Tea Tutar (2014). Visualizing Solution Sets in Multiobjective Optimization

### 4.2.2 Abgeschlossene Promotionsvorhaben

Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein war Mitglied der „Ph.D. Theses Committees“ bei den folgenden Promotionen.

1. Babes-Bolyai University: Ruxandra Stoean (2008). Evolutionary Computation. Application to Data Analysis and Machine Learning
2. Babes-Bolyai University: Catalin Stoean (2008). New Evolutionary Techniques in Multimodal Optimization
3. Vrije Universiteit Amsterdam: Volker Nannen (2009). Evolutionary Agent-Based Policy Analysis in Dynamic Environments
4. Universiteit Leiden: Ron Breukelaar (2010). Interaction and Evolutionary Algorithms
5. Vrije Universiteit Amsterdam: Selmar Smit (2012). Parameter Tuning and Scientific Testing in Evolutionary Algorithms



**Abbildung 4.5:** Prof. Bartz-Beielstein nach der Abnahme der Promotionsprüfung an der Warwick Business School. V.l.n.r.: Prof. V. Podinovski, J. Elomari (Doktorand), Prof. T. Bartz-Beielstein, und Prof. B. Chen.

6. Warwick Business School, University of Warwick: Jawal Elomari (2013). Efficient Learning Methods to Tune Algorithm Parameters

Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein war Mitglied des „Licentiate Thesis Committees“ bei der folgenden Promotion.

- Mid Sweden University: Felix Dobsław (2011). Automatic Instance-based Tailoring of Parameter Settings for Metaheuristics

## 4.3 Praxisprojekt- und Abschlussarbeiten

### 4.3.1 Arbeiten im Berichtszeitraum

1. *Visualisierung von Analyseergebnissen im Bereich Big Data*. Viktoria Schaale. Praxissemesterprojekt. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Steffen Erkel (Bosch TT). Juli 2014.
2. *Vergleich verschiedener Verfahren zur Optimierung der Produktionsreihenfolge unter technologischen Restriktionen am Beispiel einer Wärmebehandlungsanlage*. Fabian Witsch. Masterarbeit. 14.2.2014. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Mohieddine, Jelali Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
3. *Data Analysis and Forecasting Methods for Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems*. Jörg Stork: 13.9.13. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Monika Scherer (Bosch TT).



**Abbildung 4.6:** Bei Fortbildungsveranstaltungen werden auch Studentinnen und Studenten mit einbezogen. Hier ein Workshop, der von Dr. Volker Kraft (SAS) im November 2013 über die Statistiksoftware JMP durchgeführt wurde.



**Abbildung 4.7:** SPOTSeven Lab intensiviert die Zusammenarbeit mit Bosch Thermotechnik: Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein, J. Stork, Dr. B. Naujoks, V. Schaale, Dr. M. Arndt, S. Erkel, S. Moritz (v.l.n.r.)





**Abbildung 4.8:** Erfolgreicher Abschluss des Bachelor Studiums. Quoc Cuong Pham hat soeben seine Urkunde erhalten.

4. *Development of a Forecasting Model for Domestic Hot Water Systems*. Margarita Rebelledo: 4.10.2013. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Monika Scherer (Bosch TT).
5. *Datamining in networked HVAC (heating, ventilation and air condition) systems: Implementation of test systems for data logging, data transfer via internet and data storage. Application and development of new data analysis methods.* Narendhran Chinnappa Subramoniam (Master AIT): 27. Juni 2013. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Monika Scherer (Bosch TT).

#### 4.3.2 Weitere Arbeiten

1. *Event Detection Software for Water Quality Monitoring (CANARY)*. Martin Zaefferer. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Wolfgang Konen. Preisträger im FESTO-Förderpreis 2012 und Ferchau-Förderpreis 2012.
2. *Vergleich der Performanz von ein- und mehrkriteriellen Optimierungsverfahren für Symbolische Regression*. Tobias Brandt. 13.4.2012. Allgemeine Informatik. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Erich Ehses.
3. *Algorithmic Stock Trading as A Real World Test Problem for Time Series Prediction Methods*. Saad Al-baddai: Kolloquium 6.4.12, Studiengang Master AIT. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Hartmut Westenberger.
4. *Requiements and Potential Analysis of Data Mining Techniques for Managements of Universities*. Karema Al-subari: Kolloquium 6.4.12, Studiengang Master AIT. Betreuer: Prof. Dr. Hartmut Westenberger, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.

5. *Using C functions to accelerate high-level language GP systems—an experimental study.* Jörg Stork. Bachelor Elektrotechnik. 19.12.2012.
6. *Modulare Weiterentwicklung einer bestehenden Software-Verifizierungsapplikation für die automatische Überprüfung von CATIA V5 Lagengeometrien hinsichtlich des Automatic Fibre Placements.* Philip Haussmann. Abschlussarbeit. Industriepartner: Bertrandt Ingenieurbüro GmbH. Datum 14.6.2011
7. *Optimierung von Fertigungsprozessen beim Automatic Fibre Placement.* Praxissemesterprojekt. Philip Haussmann. Industriepartner: Bertrandt Ingenieurbüro GmbH
8. *Simulation und Optimierung von Biogasanlagen mit Methoden der Computational Intelligence.* Martin Zaefferer. Diplomarbeit. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Michael Bongards. 2010. Erzquell Förderpreis.
9. *DA Erstellung einer GUI für die Optimierungssoftware SPOT.* Tobias Zimmer. Diplomarbeit. Betreuer: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Wolfgang Konen. Preisträger im FESTO-Förderpreis 2009. 14.9.2009.
10. *Einsetzbarkeit maschineller Lernverfahren für Fraud Detection in der Telekommunikation.* Thomas Boddenberg. Betreuer: Prof. Dr. Hartmut Westenberger, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Dezember 2009
11. *GERT Netzwerke.* Nils Wiemann. Diplomarbeit TU Dortmund. Betreuer: Prof. Dr. Günter Rudolph, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. April 2008
12. *Rauschen und Master-Slave-Strategien im Gefangenendilemma.* Simon Steeg. Diplomarbeit TU Dortmund. Betreuer: Prof. Dr. Günter Rudolph, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Dezember 2006.

# 5 Konferenzen

## 5.1 Einladungen

1. Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS), *Keynote Speaker*: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Oktober 2014.

## 5.2 Organisation und Mitgliedschaft in Programkomitees

### 5.2.1 Chair

1. PPSN 2014, Ljubljana, Slowenien. *Program Chair*: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. September 2014
2. GECCO 2014, Vancouver, Kanada: *Evolutionary Computation in Practice Chair*: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Juli 2014
3. GECCO 2013, Amsterdam, Niederlande: *Evolutionary Computation in Practice Chair*: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Juli 2013

### 5.2.2 Organisation (Challenges, Tutorien, Workshops)

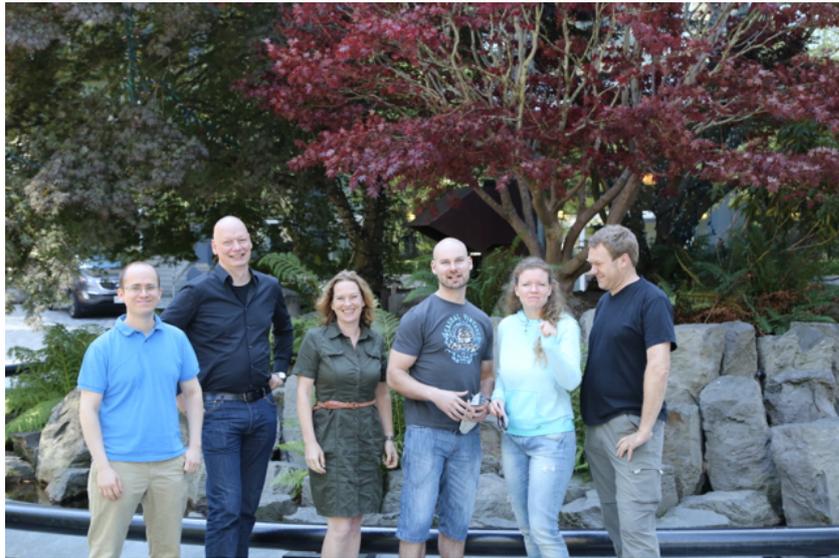
1. GECCO 2014, Vancouver, Kanada: *Industrial Challenge Organisation*: Martina Friese, Andreas Fischbach, Oliver Flasch, Olaf Mersmann, Thomas Bartz-Beielstein. Juli 2014
2. GECCO 2013, Amsterdam, Niederlande: *Industrial Challenge Organisation*: Martina Friese, Andreas Fischbach, Oliver Flasch, Olaf Mersmann, Thomas Bartz-Beielstein. Juli 2013

### 5.2.3 Mitgliedschaften in Programkomitees

1. GECCO 2014, Vancouver, Kanada: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks. Juli 2014
2. PPSN 2014, Ljubljana, Slowenien: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Martina Friese, Andreas Fischbach, Martin Zaeferrer, Jörg Stork, Olaf Mersmann. September 2014

## 5.3 Teilnahme

1. PPSN 2014, Ljubljana, Slowenien: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Martin Zaeferrer, Jörg Stork, Olaf Mersmann. September 2014.
2. GECCO 2014, Vancouver, Kanada: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Martina Friese, Martin Zaeferrer, Jörg Stork, Beate Breiderhoff. Juli 2014.



**Abbildung 5.1:** Das SPOTSeven Team während der GECCO 2014 in Vancouver. V.l.n.r.: Martin Zaefferer, Thomas Bartz-Beielstein, Beate Breiderhoff, Jörg Stork, Martina Friese, Boris Naujoks

3. Workshop Computational Intelligence 2013. Dortmund: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Christian Jung, Martin Zaefferer, Jörg Stork, Steffen Moritz, Beate Breiderhoff. Dezember 2013.
4. GECCO 2013, Amsterdam, Niederlande: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Martina Friese, Martin Zaefferer. Juli 2013.
5. EMO 2013, Sheffield, UK: Dr. Boris Naujoks, Martin Zaefferer. März 2013.



# 6 Personal

## 6.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein

## 6.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

1. Beate Breiderhoff
2. Andreas Fischbach
3. Oliver Flasch
4. Martina Frieze
5. Christian Jung
6. Olaf Mersmann
7. Steffen Moritz
8. Dr. Boris Naujoks
9. Quoc Cuong Pham
10. Margarita Alejandra Rebolledo Coy
11. Jörg Stork
12. Martin Zaefferer

## 6.3 Lehrbeauftragte

1. Peter Großmann
2. Jürgen Tennie
3. Svitlana Zakrevska

## 6.4 Studentische Mitarbeiter

1. Tina Böttger
2. Sumit Goyal
3. Stephanie Raupach
4. Stefanie Schmitz

## 6.5 Ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dr. Katya Vladislavleva (2011-2013). Zur Zeit: Evolved Analytics.



**Abbildung 6.1:** Erfolgreicher Abschluss des Master Studiums. Jörg Stork erhielt als Jahrgangsbester gleich zwei Förderpreise.



**Abbildung 6.2:** SPOTSeven Weihnachtsfeier 2013.

# 7 Lehrangebot

Durch die ausgezeichnete Zusammenarbeit aller Beteiligten kann die sehr große Zahl der Studienanfänger gut betreut werden. Hinzu kommt noch der Einsatz moderner Lehr- und Lernsysteme wie z.B. Maple T.A.

## 7.1 Vorlesungen, Seminare und Case-Studies

### 7.1.1 Sommersemester 2014

1. Vorlesung: Mathematik I für Ingenieure. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Übungen: Beate Breiderhoff, Andreas Fischbach, Martina Friese, Dr. Elmar Lau, Dr. Boris Naujoks, Quoc Cuong Pham, Martin Zaefferer.
2. Vorlesung: Advanced Process Control and Optimization. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Jürgen Böhm-Rietig.
3. Vorlesung: Data-driven Modeling and Optimization. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Wolfgang Konen.
4. Doktorandenseminar: SPOTSeven. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.

### 7.1.2 Wintersemester 2013/14

1. Vorlesung: Mathematik I für Ingenieure. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Übungen: Beate Breiderhoff, Andreas Fischbach, Martina Friese, Dr. Elmar Lau, Dr. Boris Naujoks, Quoc Cuong Pham, Martin Zaefferer.
2. Doktorandenseminar: SPOTSeven. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
3. WPF: Data Mining. Prof. Dr. Edda Leopold, Prof. Dr. Heide Faeskorn-Woyke, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
4. Case Study: Optimization of simulation models: Nozzle – Interface to SPOT. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Martin Zaefferer.
5. Case Study: Optimization of simulation models: Analytic Model of a Cyclones (Dust Absorbers). Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Beate Breiderhoff.
6. Case Study: Optimization of simulation models: CFD-Models for Cyclones (Dust Absorbers). Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Oliver Flasch.
7. Case Study: Evaluation of visualization techniques. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks.
8. Case Study: Analysis of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems in the context of Big Data. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Jörg Stork, Steffen Moritz.



**Abbildung 7.1:** Die Mathematik Vorlesungen haben bis zu 800 Teilnehmer. Durch die Unterstützung der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Lehrbeauftragten wird eine gute Betreuungssituation ermöglicht.



**Abbildung 7.2:** SPOTSeven Mitarbeiter sind auch in die Lehre eingebunden. Im Vordergrund ist Martin Zaefferer bei der Betreuung eines Abnahmetermins der Vorlesung Mathematik 1 zu sehen.





**Abbildung 7.3:** Die Lehre wird direkt verknüpft mit relevanten Aufgabenstellungen aus der Industrie. Besuch des Industriepartners *Bosch TT* mit Studentinnen und Studenten des internationalen Studiengangs *Automation & IT*

### 7.1.3 Sommersemester 2013

1. Vorlesung: Mathematik II für Ingenieure. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Übungen: Beate Breiderhoff, Andreas Fischbach, Martina Friese, Dr. Elmar Lau, Dr. Boris Naujoks, Martin Zaefferer.
2. Vorlesung: Advanced Process Control and Optimization. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Jürgen Böhm-Rietig.
3. Vorlesung: Data-driven Modeling and Optimization. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Prof. Dr. Wolfgang Konen.
4. Doktorandenseminar: SPOTSSeven. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
5. WPF: Data Mining. Prof. Dr. Edda Leopold, Prof. Dr. Heide Faeskorn-Woyke, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.

### 7.1.4 Wintersemester 2012/13

1. Vorlesung: Mathematik II für Ingenieure. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein. Übungen: Beate Breiderhoff, Andreas Fischbach, Martina Friese, Dr. Elmar Lau, Dr. Boris Naujoks, Martin Zaefferer.
2. Doktorandenseminar: SPOTSSeven. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
3. Case Study Modular Cyclone Building. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Oliver Flasch.



**Abbildung 7.4:** Prof. Bartz-Beielstein im Feedback-Gespräch mit Studentinnen und Studenten der Vorlesung Mathematik.

4. Case Study Time-series Prediction for Smart Metering. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Martina Friese, Andreas Fischbach.



# 8 Selbstverwaltung und Mitgliedschaften

## 8.1 Selbstverwaltung

1. Studiengangsbeauftragter Grundstudium Ingenieurwissenschaften. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
2. Mitglied der *Ständigen Kommission für Forschung und Wissenstransfer*. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
3. Beauftragter *Studienfonds Oberberg*. Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
4. Lenkungsausschuss „Dokumenten- und Publikationsservice für wissenschaftliche Publikationen der FH Köln“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
5. Leitung Forschungsstelle *Computational Intelligence, Optimization & Data Mining* (CIOP). Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
6. Sprecher Forschungsschwerpunkt *Computational Intelligence plus* (CIplus). Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein.
7. Forschungsinstitut STEPS (FH Köln): Koordination des Bereichs *Datenanalyse, Simulation und Optimierung*: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Martin Zaefferer

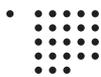
## 8.2 Mitgliedschaften

1. Association for Computing Machinery (ACM) in der Special Interest Group „Genetic and Evolutionary Computation“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein



Abbildung 8.1: Auswahlkommission des Studienfonds Oberberg.

2. Fachausschuss Computational Intelligence der VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Boris Naujoks, Martin Zaefferer, Martina Friese
3. „Advisory Board of the *Handbook of Natural Computing*“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
4. Forschungsschwerpunkt „Computational Services in Automation“ der FH Köln: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
5. „EU/ME working group on Metaheuristics“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
6. „International Society on Multiple Criteria Decision Making“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein
7. „IEEE Emergent Technologies Task Force on Collaborative Learning and Optimization“: Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein



# 9 Ausstattung

## 9.1 Hardware

Dem *SPOTSeven Lab* steht ein 64-bit Linux-basierter *Beowulf* cluster für *high performance computing* (HPC) und *high throughput computing* (HTC) mit 48 Intel Xeon CPUs und 36 GiB RAM zur Verfügung. Hinzu kommen noch mehrere Workstations, u.a. zur CFD Modellierung.

## 9.2 Software

Eine Vielzahl von Softwareprodukten, angefangen bei Office-Paketen bishin zu spezieller Simulations- und Optimierungssoftware (SAS, JMP, Maple, matlab, Mathematica oder ANSYS Fluent) stehen für Lehr- und Forschungszwecke zur Verfügung. Das statistische Softwarepaket *sequential parameter optimization toolbox* (SPOT) wird seit 2004 von Prof. Dr. T. Bartz-Beielstein entwickelt und ist in einer Matlab sowie einer R Version als Open-Source Toolbox verfügbar (Bartz-Beielstein u. a., 2005a).



Abbildung 9.1: Jahrestreffen des Studienfonds Oberberg.



Abbildung 9.2: Besprechung eines Praxisprojekts. V.l.n.r.: Martin Zaefferer, Olaf Mersmann, Prof. Dr. Thomas Bartz-Beielstein, Dr. Christian Preussner (Bosch TT)

## Eigene Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

- [Bartz-Beielstein u. a. 2014] BARTZ-BEIELSTEIN, T. ; BRANKE, J. ; MEHNEN, J. ; MERSMANN, O.: Evolutionary Algorithms. In: *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery* 4 (2014), S. 178–195
- [Bartz-Beielstein 2013a] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Mixed Models in SPOT / Cologne University of Applied Sciences. 2013. – Cologne Open Science
- [Bartz-Beielstein 2013b] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: SpotSeven Broschüre / FH Köln (Cologne University of Applied Sciences). 2013. – Forschungsbericht
- [Bartz-Beielstein u. Flasch 2013] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; FLASCH, Oliver: FIWA - Methoden der Computational Intelligence für Vorhersagemodelle in der Finanz-und Wasserwirtschaft (Schlussbericht) / Bibliothek der Fachhochschule Köln Bibliothek. Version: 2013. <http://opus.bsz-bw.de/fhk/volltexte/2013/46>. Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, 2013. – Forschungsbericht
- [Bartz-Beielstein u. a. 2013a] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; JUNG, Christian ; ZAEFFERER, Martin: Uncertainty Management Using Sequential Parameter Optimization. In: MELONI, Carlo (Hrsg.) ; DELLINO, Gabriella (Hrsg.): *Uncertainty Management in Simulation-Optimization of Complex Systems: Algorithms and Applications*. Springer, 2013 (under review) (Springer Series on Operations Research/Computer Science Interfaces)
- [Bartz-Beielstein u. a. 2013b] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; ZAEFFERER, Martin ; NAUJOKS, Boris: How to create meaningful and generalizable results. In: *Proceeding of the fifteenth annual conference companion on Genetic and evolutionary computation conference companion*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (GECCO '13 Companion). – ISBN 978–1–4503–1964–5, 979–1004
- [Breiderhoff u. a. 2013a] BREIDERHOFF, Beate ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; NAUJOKS, Boris ; ZAEFFERER, Martin ; FISCHBACH, Andreas ; FLASCH, Oliver ; FRIESE, Martina ; MERSMANN, Olaf ; STORK, Jörg: Simulation and Optimization of Cyclone Dust Separators / Bibliothek der Fachhochschule Köln Bibliothek. Version: 2013. <http://opus.bsz-bw.de/fhk/volltexte/2013/47>. Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, 2013. – Forschungsbericht
- [Breiderhoff u. a. 2013b] BREIDERHOFF, Beate ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; NAUJOKS, Boris ; ZAEFFERER, Martin ; FISCHBACH, Andreas ; FLASCH, Oliver ; FRIESE, Martina ; MERSMANN, Olaf ; STORK, Jörg: Simulation and Optimization of Cyclone Dust Separators. In: HOFFMANN, Frank (Hrsg.) ; HÜLLERMEIER, Eyke (Hrsg.) ; Institut für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (Veranst.): *Proceedings 23. Workshop Computational Intelligence* Institut für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik am Karlsruher Institut für Technologie, KIT Scientific Publishing, 2013 (in print)
- [Flasch u. a. 2013] FLASCH, Oliver ; FRIESE, Martina ; VLADISLAVLEVA, Katya ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; MERSMANN, Olaf ; NAUJOKS, Boris ; STORK, Jörg ; ZAEFFERER, Martin:

- Comparing Ensemble-Based Forecasting Methods for Smart-Metering Data. Version: 2013. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37192-9\\_18](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37192-9_18). In: ESPARCIA-ALCÁZAR, AnnaI. (Hrsg.): *Applications of Evolutionary Computation* Bd. 7835. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – DOI 10.1007/978-3-642-37192-9\_18. – ISBN 978-3-642-37191-2, 172-181
- [Frieese u. a. 2013] FRIESE, Martina ; STORK, Jörg ; GUERRA, Ricardo R. ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; THAKER, Soham ; FLASCH, Oliver ; ZAEFFERER, Martin: UniFIeD Univariate Frequency-based Imputation for Time Series Data / Bibliothek der Fachhochschule Köln Bibliothek. Version: 2013. <http://opus.bsz-bw.de/fhk/volltexte/2013/49>. Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, 2013. – Forschungsbericht. – ISBN 2194-2870
- [Judt u. a. 2013] JUDT, L. ; MERSMANN, O. ; NAUJOKS, B.: Do Hypervolume Regressions hinder EMOA Performance? Surprise and Relief. In: *Evolutionary Multi-Criterion Optimization 7th International Conference, EMO*, Springer, 2013 (Lecture Notes in Computer Science 7811), S. 96-110
- [Zaefferer u. a. 2013a] ZAEFFERER, M. ; BARTZ-BEIELSTEIN, T. ; NAUJOKS, B. ; WAGNER, T. ; EMMERICH, M.: A Case Study on Multi-Criteria Optimization of an Event Detection Software under Limited Budgets. In: PURSHOUSE, R. C. (Hrsg.) u. a.: *Evolutionary Multi-Criterion Optimization 7th International Conference, EMO*. Heidelberg : Springer, 2013 (Lecture Notes in Computer Science 7811), S. 756-770
- [Zaefferer u. a. 2014a] ZAEFFERER, Martin ; BREIDERHOFF, Beate ; NAUJOKS, Boris ; FRIESE, Martina ; STORK, Jörg ; FISCHBACH, Andreas ; FLASCH, Oliver ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Tuning Multi-Objective Optimization Algorithms for Cyclone Dust Separators. In: *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'14), Proceedings*, 2014, S. 1223-1230
- [Zaefferer u. a. 2013b] ZAEFFERER, Martin ; NAUJOKS, Boris ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: A Gentle Introduction to Multi-Criteria Optimization with SPOT / Cologne University of Applied Sciences. 2013 (1/2013). – Cologne Open Science, Schriftenreihe CI-plus
- [Zaefferer u. a. 2014b] ZAEFFERER, Martin ; STORK, Jörg ; FRIESE, Martina ; FISCHBACH, Andreas ; NAUJOKS, Boris ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Efficient Global Optimization for Combinatorial Problems (in print). In: ARNOLD, Dirk V. (Hrsg.): *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'14), Proceedings*, ACM, 2014, S. 871-878



# Literatur

- [Banzhaf u. a. 1998] BANZHAF, Wolfgang ; FRANCONI, Frank D. ; KELLER, Robert E. ; NORDIN, Peter: *Genetic programming: an introduction: on the automatic evolution of computer programs and its applications*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1998. – ISBN 1-55860-510-X
- [Bartz-Beielstein 2010a] BARTZ-BEIELSTEIN, T: Optimierung von Prozessvariablen beim Spritzgießen / Cologne University of Applied Sciences. 2010. – Forschungsbericht
- [Bartz-Beielstein 2006] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: *Experimental Research in Evolutionary Computation—The New Experimentalism*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2006 (Natural Computing Series)
- [Bartz-Beielstein 2010b] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Sequential Parameter Optimization—An Annotated Bibliography / Research Center CIOP (Computational Intelligence, Optimization and Data Mining). Cologne University of Applied Science, Faculty of Computer Science and Engineering Science, April 2010 (04/10). – CIOP Technical Report. – ISSN 2191-365X
- [Bartz-Beielstein 2010c] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: SPOT: An R Package For Automatic and Interactive Tuning of Optimization Algorithms by Sequential Parameter Optimization / Research Center CIOP (Computational Intelligence, Optimization and Data Mining). Version: June 2010. <http://arxiv.org/abs/1006.4645>. Cologne University of Applied Science, Faculty of Computer Science and Engineering Science, June 2010 (05/10). – CIOP Technical Report. – ISSN 2191-365X. – Comments: Related software can be downloaded from <http://cran.r-project.org/web/packages/SPOT/index.html>
- [Bartz-Beielstein u. a. 2007] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; BONGARDS, Michael ; CLAES, Christoph ; KONEN, Wolfgang ; WESTENBERGER, Hartmut: Datenanalyse und Prozessoptimierung für Kanalnetze und Kläranlagen mit CI-Methoden. In: MIKUT, R. (Hrsg.) ; REISCHL, M. (Hrsg.): *Proc. 17th Workshop Computational Intelligence*, Universitätsverlag, Karlsruhe, 2007, S. 132–138
- [Bartz-Beielstein u. Konen 2008] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; KONEN, Wolfgang: Datenanalyse und Prozessoptimierung am Beispiel Kläranlagen / Cologne University of Applied Sciences. 2008. – Forschungsbericht
- [Bartz-Beielstein u. a. 2005a] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; LASARCZYK, Christian ; PREUSS, Mike: Sequential Parameter Optimization. In: MCKAY, B. (Hrsg.) u. a.: *Proceedings 2005 Congress on Evolutionary Computation (CEC'05), Edinburgh, Scotland* Bd. 1. Piscataway NJ : IEEE Press, 2005, S. 773–780
- [Bartz-Beielstein u. Markon 2004] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; MARKON, Sandor: Tuning Search Algorithms for Real-World Applications: A Regression Tree Based Approach. In: GREENWOOD, G. W. (Hrsg.): *Proceedings 2004 Congress on Evolutionary Computation (CEC'04), Portland OR* Bd. 1. Piscataway NJ : IEEE, 2004, S. 1111–1118

- [Bartz-Beielstein u. a. 2003] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; MARKON, Sandor ; PREUSS, Mike: Algorithm Based Validation of a Simplified Elevator Group Controller Model. In: IBARAKI, T. (Hrsg.): *Proceedings 5th Metaheuristics International Conference (MIC'03)*. Kyoto, Japan, 2003, S. 06/1–06/13 (CD-ROM)
- [Bartz-Beielstein u. a. 2005b] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; PREUSS, Mike ; MARKON, Sandor: Validation and optimization of an elevator simulation model with modern search heuristics. Version: 2005. [http://dx.doi.org/10.1007/0-387-25383-1\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/0-387-25383-1_5). In: IBARAKI, T. (Hrsg.) ; NONOBE, K. (Hrsg.) ; YAGIURA, M. (Hrsg.): *Metaheuristics: Progress as Real Problem Solvers*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2005 (Operations Research/Computer Science Interfaces). – DOI 10.1007/0-387-25383-1\_5, S. 109–128
- [Bartz-Beielstein u. a. 2010] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; PREUSS, Mike ; SCHWEFEL, Hans-Paul: Model Optimization with Evolutionary Algorithms. In: LUCAS, K. (Hrsg.) ; ROOSEN, P. (Hrsg.): *Emergence, Analysis, and Evolution of Structures—Concepts and Strategies Across Disciplines*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2010, S. 47–62
- [Bartz-Beielstein u. a. 2008] BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; ZIMMER, Tobias ; KONEN, Wolfgang: Parameterselektion für komplexe Modellierungsaufgaben der Wasserwirtschaft – Moderne CI-Verfahren zur Zeitreihenanalyse. In: MIKUT, R. (Hrsg.) ; REISCHL, M. (Hrsg.): *Proc. 18th Workshop Computational Intelligence*, Universitätsverlag, Karlsruhe, 2008, S. 136–150
- [Beielstein u. a. 2003a] BEIELSTEIN, Thomas ; EWALD, Claus-Peter ; MARKON, Sandor: Optimal Elevator Group Control by Evolution Strategies. In: CANTÚ-PAZ, E. (Hrsg.) u. a.: *Proceedings Genetic and Evolutionary Computation Conf. (GECCO 2003), Chicago IL, Part II* Bd. 2724. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2003 (Lecture Notes in Computer Science), 1963–1974
- [Beielstein u. Markon 2002] BEIELSTEIN, Thomas ; MARKON, Sandor: Threshold Selection, Hypothesis Tests, and DOE Methods. In: FOGEL, D. B. (Hrsg.) u. a.: *Proceedings 2002 Congress on Evolutionary Computation (CEC'02) Within Third IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI'02), Honolulu HI*. Piscataway NJ : IEEE, 2002, S. 777–782
- [Beielstein u. a. 2003b] BEIELSTEIN, Thomas ; MARKON, Sandor ; PREUSS, Mike: A Parallel Approach to Elevator Optimization Based on Soft Computing. In: IBARAKI, T. (Hrsg.): *Proceedings 5th Metaheuristics International Conference (MIC'03)*. Kyoto, Japan, 2003, S. 07/1–07/11 (CD-ROM)
- [Beielstein u. a. 2003c] BEIELSTEIN, Thomas ; MEHNEN, Jörn ; SCHÖNEMANN, Lutz ; SCHWEFEL, Hans-Paul ; SURMANN, Tobias ; WEINERT, Klaus ; WIESMANN, Dirk: Design of evolutionary algorithms and applications in surface reconstruction. Version: 2003. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05609-7\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05609-7_6). In: SCHWEFEL, H.-P. (Hrsg.) ; WEGENER, I. (Hrsg.) ; WEINERT, K. (Hrsg.): *Advances in Computational Intelligence—Theory and Practice*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2003. – DOI 10.1007/978-3-662-05609-7\_6, S. 145–193
- [Beume u. a. 2007] BEUME, N. ; NAUJOKS, B. ; EMMERICH, M.: SMS-EMOA: Multiobjective selection based on dominated hypervolume. In: *European Journal of Operational Research* 181 (2007), Nr. 3, S. 1653–1669
- [Coello Coello u. a. 2007] COELLO COELLO, C. A. ; VAN VELDHIJZEN, D. A. ; LAMONT, G. B.: *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. 2nd. Springer, New York, 2007
- [Deb 2001] DEB, K.: *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. 1. New York NY : Wiley, 2001 (Wiley-Interscience Series in Systems and Optimization)



- [Deb u. a. 2002] DEB, K. ; PRATAP, A. ; AGARWAL, S. ; MEYARIVAN, T.: A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. In: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 6 (2002), Nr. 2, S. 182–197
- [Ehrgott 2005] EHRGOTT, M.: *Multicriteria Optimization*. Springer, Berlin, 2005
- [Flasch u. a. 2010a] FLASCH, O. ; BARTZ-BEIELSTEIN, Th. ; DAVTYAN, A. ; KOCH, P. ; KONEN, W. ; OYETOYAN, T.D. ; TAMUTAN, M.: Comparing SPO-tuned GP and NARX prediction models for stormwater tank fill level prediction. In: FOGEL, Gary et a. (Hrsg.): *Proc. IEEE Congress Evolutionary Computation (CEC)*, 2010, S. 1579–1586
- [Flasch u. a. 2010b] FLASCH, Oliver ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; DAVTYAN, Artur ; KOCH, Patrick ; KONEN, Wolfgang ; OYETOYAN, Tosin D. ; TAMUTAN, Michael: Comparing CI Methods for Prediction Models in Environmental Engineering. In: FOGEL, G et a. (Hrsg.): *Proc. 2010 Congress on Evolutionary Computation ({CEC}'10) within {IEEE} World Congress on Computational Intelligence ({WCCI}'10), Barcelona, Spain*. Piscataway NJ : IEEE Press, 2010
- [Flasch u. a. 2009] FLASCH, Oliver ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; KOCH, Patrick ; KONEN, Wolfgang: Genetic Programming Applied to Predictive Control in Environmental Engineering. In: HOFFMANN, Frank (Hrsg.) ; HÜLLERMEIER, Eyke (Hrsg.): *Proceedings 19. Workshop Computational Intelligence*. Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2009, S. 101–113
- [Koch u. a. 2010a] KOCH, P. ; KONEN, W. ; HEIN, K.: Gesture Recognition on Few Training Data using Slow Feature Analysis and Parametric Bootstrap. In: *2010 International Joint Conference on Neural Networks*, 2010
- [Koch u. a. 2010b] KOCH, Patrick ; KONEN, Wolfgang ; FLASCH, Oliver ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Optimization of Support Vector Regression Models for Stormwater Prediction. In: HOFFMANN, F. (Hrsg.) ; HÜLLERMEIER, E. (Hrsg.): *Proceedings 20. Workshop Computational Intelligence*, Universitätsverlag Karlsruhe, 2010, S. 146–160
- [Koch u. a. 2010c] KOCH, Patrick ; KONEN, Wolfgang ; FLASCH, Oliver ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Optimizing Support Vector Machines for Stormwater Prediction. In: BARTZ-BEIELSTEIN, T. (Hrsg.) ; CHIARANDINI, M. (Hrsg.) ; PAQUETE, L. (Hrsg.) ; PREUSS, M. (Hrsg.): *Proceedings of Workshop on Experimental Methods for the Assessment of Computational Systems joint to PPSN2010*. TU Dortmund, 2010 ( TR10-2-007), 47–59
- [Konen u. Bartz-Beielstein 2008] KONEN, W. ; BARTZ-BEIELSTEIN, T.: Internationaler DATA-MINING-CUP (DMC) mit studentischer Beteiligung des Campus Gummersbach / FH Köln. 2008. – Forschungsbericht
- [Konen u. a. 2007] KONEN, W. ; BARTZ-BEIELSTEIN, T. ; WESTENBERGER, H.: Computational Intelligence und Data Mining – Datenanalyse und Prozessoptimierung am Beispiel Kläranlagen / FH Köln. 2007. – Forschungsbericht
- [Konen u. a. 2009] KONEN, W. ; ZIMMER, T. ; BARTZ-BEIELSTEIN, T.: Optimized Modelling of Fill Levels in Stormwater Tanks Using CI-based Parameter Selection Schemes (in german). In: *at-Automatisierungstechnik* 57 (2009), Nr. 3, S. 155–166. <http://dx.doi.org/10.1524/auto.2009.0756>. – DOI 10.1524/auto.2009.0756
- [Kordon 2006] KORDON, Arthur: Evolutionary computation at Dow Chemical. In: *SIGEVOlution* 1 (2006), Nr. 3, S. 4–9. <http://dx.doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/1181964.1181965>. – DOI <http://doi.acm.org/10.1145/1181964.1181965>

- [Markon u. a. 2001] MARKON, Sandor ; ARNOLD, Dirk V. ; BÄCK, Thomas ; BEIELSTEIN, Thomas ; BEYER, Hans-Georg: Thresholding—A selection operator for noisy ES. In: KIM, J.-H. (Hrsg.) ; ZHANG, B.-T. (Hrsg.) ; FOGEL, G. (Hrsg.) ; KUSCU, I. (Hrsg.): *Proceedings 2001 Congress on Evolutionary Computation (CEC'01), Seoul*. Piscataway NJ : IEEE, 2001, S. 465–472
- [Markon u. a. 2006] MARKON, Sandor (Hrsg.) ; KITA, Hajime (Hrsg.) ; KISE, Hiroshi (Hrsg.) ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas (Hrsg.): *Modern Supervisory and Optimal Control with Applications in the Control of Passenger Traffic Systems in Buildings*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2006
- [Mehnen u. a. 2007] MEHNEN, Jörn ; MICHELITSCH, Thomas ; LASARCZYK, Christian ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: Multi-objective evolutionary design of mold temperature control using DACE for parameter optimization. In: *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics* 25 (2007), Nr. 1–4, 661–667. <http://iospress.metapress.com/content/751K5GG10P79Q501>
- [Miettinen 1999] MIETTINEN, K.: *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999
- [Poli u. a. 2008] POLI, Riccardo ; LANGDON, William B. ; MCPHEE, Nicholas F.: *A field guide to genetic programming*. Published via <http://lulu.com> and freely available at <http://www.gp-field-guide.org.uk>, 2008. – (With contributions by J. R. Koza)
- [Smits u. Vladislavleva 2006] SMITS, G. ; VLADISLAVLEVA, E.: Ordinal Pareto Genetic Programming. In: YEN, Gary G. (Hrsg.) u. a.: *Proceedings of the 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Vancouver, BC, Canada : IEEE Press, 16-21 Juli 2006, 3114–3120
- [Vladislavleva 2008] VLADISLAVLEVA, Ekaterina: *Model-based Problem Solving through Symbolic Regression via Pareto Genetic Programming*, Tilburg University, Diss., 2008
- [Weinert u. a. 2004] WEINERT, Klaus ; MEHNEN, Jörn ; MICHELITSCH, Thomas ; SCHMITT, Karlheinz ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas: A Multiobjective Approach to Optimize Temperature Control Systems of Molding Tools. In: *Production Engineering Research and Development, Annals of the German Academic Society for Production Engineering XI* (2004), Nr. 1, S. 77–80
- [Wessing u. a. 2010] WESSING, S. ; BEUME, N. ; RUDOLPH, G. ; NAUJOKS, B.: Parameter Tuning Boosts Performance of Variation Operators in Multiobjective Optimization. In: SCHAEFER, R. (Hrsg.) u. a.: *Parallel Problem Solving from Nature (PPSN XI)*, Springer, Heidelberg, 2010, S. 728–737
- [Worden u. a. 2007] WORDEN, Keith ; FARRAR, Charles R. ; MANSON, Graeme ; PARK, Gyuhae: The fundamental axioms of structural health monitoring. In: *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science* 463 (2007), Nr. 2082, 1639–1664. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2007.1834>. – DOI 10.1098/rspa.2007.1834
- [Ziegenhirt u. a. 2010] ZIEGENHIRT, Jörg ; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas ; FLASCH, Oliver ; KONEN, Wolfgang ; ZAEFFERER, Martin: Optimization of Biogas Production with Computational Intelligence—A Comparative Study. In: FOGEL, Gary et a. (Hrsg.): *Proc. 2010 Congress on Evolutionary Computation (CEC'10) within IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI'10), Barcelona, Spain*. Piscataway NJ : IEEE Press, 2010, S. 3606–3613