

## Jahresbericht 2019 der Gruppe „Betriebssysteme und Middleware“

<https://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de/Jahresbericht.2019.pdf>

### 1. Personelle Zusammensetzung

#### Leiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Polze  
Tel.: (0331) 5509 231  
E-mail: [andreas.polze@hpi.uni-potsdam.de](mailto:andreas.polze@hpi.uni-potsdam.de)

#### Sekretariat

Sabine Wagner  
Tel: (0331) 5509 220  
Fax: (0331) 5509 229  
E-mail: [sabine.wagner@hpi.uni-potsdam.de](mailto:sabine.wagner@hpi.uni-potsdam.de)

#### Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Inf. Bernhard Rabe  
Tel.: (0331) 5509 236  
E-Mail: [bernhard.rabe@hpi.uni-potsdam.de](mailto:bernhard.rabe@hpi.uni-potsdam.de)

Daniel Richter, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 215  
E-Mail: [daniel.richter@hpi.uni-potsdam.de](mailto:daniel.richter@hpi.uni-potsdam.de)

Felix Eberhardt, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 109  
E-Mail: [felix.eberhardt@hpi.uni-potsdam.de](mailto:felix.eberhardt@hpi.uni-potsdam.de)

Max Plauth, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 233  
E-Mail: [max.plauth@hpi.uni-potsdam.de](mailto:max.plauth@hpi.uni-potsdam.de)

Andreas Grapentin, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 238  
E-Mail: [andreas.grapentin@hpi.uni-potsdam.de](mailto:andreas.grapentin@hpi.uni-potsdam.de)

Jossekin Beilharz, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 241  
E-Mail: [jossekin.beilharz@hpi.uni-potsdam.de](mailto:jossekin.beilharz@hpi.uni-potsdam.de)

Lukas Pirl, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 234  
E-Mail: [lukas.pirl@hpi.uni-potsdam.de](mailto:lukas.pirl@hpi.uni-potsdam.de)

Sven Köhler, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 235  
E-Mail: [sven.koehler@hpi.uni-potsdam.de](mailto:sven.koehler@hpi.uni-potsdam.de)

Robert Schmid, M.Sc.  
Tel.: (0331) 5509 3997  
E-Mail: [robert.schmid@hpi.uni-potsdam.de](mailto:robert.schmid@hpi.uni-potsdam.de)

Lukas Wenzel, M.Sc.  
Tel.: n/a  
E-Mail: [lukas.wenzel@hpi.uni-potsdam.de](mailto:lukas.wenzel@hpi.uni-potsdam.de)

Kain Kordian Gontarska, M.Sc.  
Tel.: n/a  
E-Mail: [kordian.gontarska@hpi.uni-potsdam.de](mailto:kordian.gontarska@hpi.uni-potsdam.de)

Dirk Friedenberger (Extern)  
Tel.: n/a  
E-Mail: [dirk.friedenberger@deutschebahn.de](mailto:dirk.friedenberger@deutschebahn.de)

## 18 Jahre Betriebssysteme und Middleware am HPI

Das Fachgebiet Middleware und Betriebssysteme ist eines der ältesten Fachgebiete am Hasso-Plattner-Institut der Digital Engineering Fakultät der Universität Potsdam. Es besteht seit Oktober 2001.

In diesen Jahren haben wir vielfältige Kooperationsprojekte mit Industriepartnern wie Microsoft (Curriculum Resource Kit, Windows Research Kernel), Hewlett-Packard (Server Computing Summit 2008, FutureSOC Lab), Beckhoff Automation GmbH (Hannover Messe 2008), IBM (Weimarer Kreis, Mainframe Computing Blockveranstaltung 2012), SAP (Projekt NINA, Numa4Hana#1, #2), mit der Deutschen Post IT-Solutions (Promotionsstipendium), mit der Getemed AG (Projekt Fontane, Projekt Telemed5000), mit der IBM Deutschland Research & Development (Mainframe Summit 2012, Power Blockkurs 2016, Projekt HybridDB, Promotionsstipendium) sowie der Deutschen Bahn (DB System, Projekt Rail2X, Projekt RailChain) durchgeführt. Wir waren und sind an den europäischen Forschungsprojekten „Adaptive Services Grid“ (ASG, 2004-2008), Leonardo Vet-Trend (2006-2009) und „Secure and Scalable Infrastructures for Cloud Operations“ (SSICLOPS, 2015-2018) beteiligt.

Dr. Peter Tröger, Dr. Andreas Rasche, Dr. Wolfgang Schult, Dr. Michael Schöbel, Dr. Alexander Schmidt, Dr. Uwe Hentschel, Dr. Alexander Schacht, Dr. Theodor Heinze, Dr. Christian Neuhaus, Dr. Frank Feinbube und Dr. Lena Feinbube haben in den vergangenen Jahren bei Prof. Polze promoviert. Robert Wierschke, Dr. Alexander Schacht und Jan-Arne Sobania verstärken seit 2013 das Team unseres Industriepartners GETEMED Medizin- und Informationstechnik AG. Unser langjähriger Lecturer, Prof. Dr. Martin von Löwis, erhielt zum 01.10.2012 einen Ruf auf eine Professur an der Beuth-Hochschule in Berlin. Ebenfalls dort aktiv ist Prof. Dr. Peter Tröger.

In den letzten 18 Jahren haben Mitglieder der Gruppe „Betriebssysteme und Middleware“ die Abschlussarbeiten von mehr als 100 Masterstudenten des Hasso-Plattner-Instituts betreut.

### Unsere Mission

Moderne Betriebssysteme für Desktop und Server entwickeln sich in mehrere Richtungen. Einfache Benutzbarkeit, graphische Oberflächen, dynamische Erkennung von Geräten sowie die Unterstützung für paralleles und verteiltes Rechnen sind Charakteristika moderner Desktop-Betriebssysteme wie Windows 10 oder macOS. Im Server-Bereich finden Virtualisierung, die Nutzung von Cloud-Ressourcen, die Berücksichtigung von moderner NUMA-Hardware mit vielen Kernen, die effiziente Einbindung von Beschleunigerhardware wie Grafikkarten oder FPGAs sowie der Betrieb mit Hinblick auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit immer weitere Verbreitung.

Noch rasanter entwickelt sich Middleware – eine Softwareschicht oberhalb der Betriebssystemebene. Häufig finden sich dort Dienste und Funktionen, die applikationsübergreifend benötigt werden und (noch) nicht Eingang in die Betriebssysteme gefunden haben. Im Laufe der Zeit werden Middleware-Dienste dann zu Bestandteilen der Betriebssysteme.

Handelsübliche Computer-Systeme (COTS - Commercial off-the-shelf) sind für hohe Leistung im lokalen Betrieb optimiert. Dies führt häufig zu unbefriedigendem Verhalten beim Einsatz in weit verteilten Infrastrukturen, bei kritischen Anforderungen an das Zeitverhalten oder im Fall von Hardware- und Software-Fehlern. Vorhersagbares und verlässliches Ende-zu-Ende Verhalten ist daher eine zentrale Forschungsaufgabe in vielen Themenbereichen.

Im Zeitalter von Industrie 4.0 spielt das Thema Nachvollziehbarkeit im Internet-der-Dinge (IoT) eine zentrale Rolle. Wir beschäftigen uns daher mit Einsatzmöglichkeiten von Blockchain-Technologie um Interaktionen zwischen Sensoren, Aktuatoren, Edge-Geräten, dem Backend und

der Cloud nachvollziehbar und beweisbar abzusichern. Die Arbeitsgruppe betreibt dazu das IoT-Lab des Hasso-Plattner-Instituts.

Unsere Forschungsaktivitäten im Bereich „Mobilität der Zukunft“ mit der Deutschen Bahn und Partnern wie Siemens und DLR finden nicht nur im IoT-Lab des Hasso-Plattner-Instituts sondern auch am „Smart Rail Connectivity Campus“ der TU Chemnitz und gemeinsam mit 150 Partnern im „Digitalen Testfeld“ der Deutschen Bahn im Erzgebirge statt.

Die Forschungsaktivitäten der Gruppe „Betriebssysteme und Middleware“ konzentrieren sich auf Paradigmen, Entwurfsmuster und Implementierungsansätze für vorhersagbares Rechnen in Middleware-Umgebungen. Von zentralem Interesse ist dabei die Fragestellung, wie weit in der Domäne der eingebetteten und der verteilten Systeme die Vorhersagbarkeit verbessert werden kann.

## 2. Lehrveranstaltungen

### 2.1. Vorlesungen

- Betriebssysteme I (WiSe 18/19, WiSe 19/20)
- Betriebssysteme II (SoSe 19, SoSe 18)
- Eingebettete Betriebssysteme (WiSe 18/19)
- Methods of Cloud Computing (WiSe 18/19, WiSe 19/20)
- Parallel Programming and Heterogeneous Computing (SoSe 19)

### 2.2. Übungen

- Betriebssysteme I (WiSe 18/19, WiSe 19/20)
- Betriebssysteme II (SoSe 19, SoSe 18)
- Eingebettete Betriebssysteme (WiSe 18/19)
- Energy-Aware Computing in Heterogeneous Data Centers (WiSe 19/20)

### 2.3. Seminare/Praktika

- IBM Power Systems Block Course (WiSe 2018/19)
- Trends in Betriebssystemen - Forschungsseminar der Fachgruppe „Betriebssysteme und Middleware“ (WiSe 18/19, SoSe 19, WiSe 19/20)
- Energy-Aware Computing in Heterogeneous Data Centers (WiSe 19/20)
- Verantwortung der Informatik (SoSe 2019)

### 2.4. Teleteaching

- Tele-Task: Aufzeichnung der Veranstaltungen „Betriebssysteme I“, „Betriebssysteme II“, „Eingebettete Betriebssysteme“
- Open-HPI: „Mainframe Architecture“ Prof. Andreas Polze, Wolfram Greis, Prof. Bruno Brune (dt./engl., je 3000 Teilnehmer)
- Open-HPI: „Future in Computing – IBM Power and beyond“ Prof. Andreas Polze, Hildegard Gerhardy, Dr. Wolfgang Maier (2000 Teilnehmer)

### 2.5. Unterricht

- Daniel Richter, Sven Köhler: Programmieren 101. Kurs der Schülerkolleg des Hasso-Plattner-Instituts (2018/19, 2019/20)

### 3. Betreuung von Studierenden und Dissertationen

#### 3.1. Betreuung von Bachelorprojekten

- „OpenRSU, V2X-Messaging, SUMO: Rail2X“ bei der Deutschen Bahn AG, DB Systel GmbH (WiSe 18/19 bis SoSe19); Lars Bollmeier, Fabien Charlé, Simon Dietz, Florian Marx, Tobias Markus
- “IoT, Sensorik, Nachvollziehbarkeit – die Software-Blackbox“ bei der Deutschen Bahn AG, DB Systel GmbH (WiSe 19/10 bis SoSe20); Malte Andersch, Felix Gohla, Martin Michaelis, Benedikt Schenkel

#### 3.2. Betreuung von Masterarbeiten

- Robert Schmid, “Using FPGA Performance Counters for Profiling Heterogeneous Applications”
- Jonas Chromik, “Artificial Neural Networks for QRS Detection in Noise-Contaminated Single-Channel Electrocardiograms”
- Sebastian Kliem, “Simulation and Measurement of IoT Wireless Technology in a Hybrid Testbed Exemplified by LoRaWAN Technology”
- Arne Boockmeyer, “Hybrid Application Testbed for Fault Injection”
- Lukas Wenzel, “Operating System Facilities for FPGA Accelerator Design”
- Christian Werling, “Security Analysis of the AMD Secure Processor”
- Yannick Bäumer, “Hardware Accelerated Lossless Compression using High-Level Synthesis”

#### 3.3. Betreuung von Masterprojekten

- „Real-time Power Monitoring for Heterogeneous Data Centers“, Erfassung und Analyse des Stromverbrauchs einzelner Maschinen im Future SOC Lab, Lawrence Benson, Fabian Paul, Christian Werling, Fabian Windheuser, WiSe 2018/19
- „Telemed5000 – Entscheidungsunterstützungssysteme für die Telemedizin“ mit der Charité Berlin; Raoul Baron, Felix Grzelka, Tim Friedrich, WiSe 2019/20

#### 3.4. Betreuung von Dissertationen (intern, extern)

- Lena Feinbube – „Fault-Injection-Driven Development“ (verteidigt 30.09.2019)
- Daniel Richter – „Hochverfügbare Anwendungen auf nicht hochverfügbarer Infrastruktur“
- Max Plauth – „Integration of Accelerators in Virtualized Computing Environments“
- Felix Eberhardt – „Monitoring & Control: Resource Management from Core2Cloud“
- Andreas Grapentin – „Programming Models for the Shared Something Architectures“ im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Jossekin Beilharz – „Trustworthy Middleware for the Internet-of-Things“
- Lukas Pirl – „Dependability Assessments of Distributed Systems through Software Fault Injection“ im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“

- Sven Köhler – „Operating Systems for Accelerators“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Robert Schmid – „Operating System Support for Near-Data Computing“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Lukas Wenzel – “Runtime Environments for FPGA Accelerators in Heterogeneous Systems”, im Forschungskolleg “Service-Oriented Systems Engineering”
- Dirk Friedenberger – “Nicht-funktionale Eigenschaften für Microservice-Architekturen”, (Extern, Deutsche Bahn – DB System)

## 4. Bearbeitete Forschungsthemen

### 4.1. HPI Future SOC Lab

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Bernhard Rabe, Tobias Pape**

Prof. Dr. Andreas Polze verantwortet das Future SOC Lab am HPI und steht dem Steering Committee mit Partnern aus der Industrie vor. Dipl.-Inf. Bernhard Rabe ist der technische Leiter des Future SOC Labs. Tobias Pape ist als DevOp tätig.

In Kooperation mit Partnern aus der Industrie etabliert das Hasso-Plattner-Institut (HPI) das „HPI Future SOC Lab“, das eine komplette Infrastruktur von hochkomplexen on-demand Systemen auf neuester, am Markt noch nicht verfügbarer, massiv paralleler (multi-/many-core) Hardware mit enormen Hauptspeicherkapazitäten und dafür konzipierte Software bereitstellt.

Das HPI Future SOC Lab stellt somit eine sonst im Hochschulbereich kaum finanzierbare experimentelle Basis zur Verfügung, um Forschungsaktivitäten rund um innovative Konzepte für zukünftige IT-Systeme auch außerhalb geschlossener Industrielabs zu ermöglichen. Dabei orientiert sich das Future SOC Lab an aktuellen wissenschaftlichen Fragestellungen und stellt Forschern diese als Plattform bereit (z.B. GPU Computing, Container...). Interessierte Wissenschaftler aus universitären und außeruniversitären Forschungsinstitutionen können im HPI Future SOC Lab zukünftige hoch-komplexe IT-Systeme untersuchen, neue Ideen / Datenstrukturen / Algorithmen entwickeln und bis hin zur praktischen Erprobung verfolgen. Sie sind eingeladen (Call for Projects), sich um die Nutzung des Labs und seiner Hochleistungsrechner für ihre eigene Forschung zu bewerben. Die ausgewählten Forscher können die Ihnen zugewiesenen Lab-Ressourcen für eine bestimmte Zeit kostenlos nutzen.

### 4.2. Projekt “Hybrid DB”

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Felix Eberhardt, Max Plauth, Sven Köhler, Lukas Wenzel**

Nach dem Projekt NINA – der prototypischen Portierung von SAP HANA auf die IBM Power-Architektur – beschäftigen wir uns im Nachfolgeprojekt „Hybrid DB“ mit Fragen der Ressourcen-Verwaltung und der Integration von Beschleunigern (GPU, FPGA) in zukünftige In-Memory-Datenbanksysteme.

Zukünftige Server-Systeme werden aus heterogenen Verarbeitungseinheiten und Speichern bestehen. Speicher-Hierarchien werden weitere Schichten aufweisen: Neben flüchtigen DRAM wird es nichtflüchtigen Speicher (Non Volatile Memory) geben. Zusätzlich zu den klassischen Prozessoren verfügen solche Systeme ebenfalls über spezialisierte Verarbeitungseinheiten wie Kompressions-Einheiten, Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) sowie General Purpose Graphical Processing Units (GPGPUs). Um die vorhandenen Ressourcen effizient zu nutzen werden Systeme virtualisiert betrieben. In dem Projekt sollen unter anderem In-Memory-Datenbanksysteme als Arbeitslast untersucht werden, sie stellen wegen ihrem hohen Ressourcen Verbrauch besondere Herausforderungen an Server-Systeme.

IBM Server-Systeme verfügen über Schnittstellen wie das Coherent Accelerator Processor Interface (CAPI), das eine enge Kopplung von Beschleunigern (FPGAs) mit dem Gesamt-System ermöglicht. Um solche eng integrierten Beschleuniger einfach in bereits bestehende Applikationen integrieren zu können, hat IBM das Storage, Network and Analytics Programming Framework (SNAP) entwickelt. Mit dieser Technologie möchten wir untersuchen, wie In-Memory-Datenbanksysteme anhand von Szenarien wie Data Tiering oder Operator Offloading, Beschleuniger effizient nutzen können.

Die Topologie von diesen Server-Systemen wird immer komplexer werden. Schon heute hängt die Zugriffs-Latenz und Bandbreite von dem Speicherort der Daten ab. Lokale Speicherzugriffe sind um ein Vielfaches schneller als entfernte. Diese Art der Speicheranbindung ist notwendig, um die Skalierbarkeit in Systemen mit einer steigenden Anzahl an Prozessoren sicherzustellen und wird „non-uniform memory access“ (NUMA) genannt. Die Platzierung von Threads und Daten ist eine der wichtigsten Geschwindigkeits-Faktoren, um Anwendungen auf NUMA-System effizient zu betreiben. Dies wird umso schwieriger je mehr heterogene Verarbeitungseinheiten verwaltet werden müssen. Aktuelle Werkzeuge zur Ressourcen-Identifikation und Analyse-Werkzeuge sollen untersucht erweitert oder neu entwickelt werden, die helfen sollen die Ressourcen-Verwaltung für Anwendungen zu vereinfachen.

### 4.3. Rail2X – Smart Service

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl**

„Rail2X - Smart Services“ ist ein Projekt im Rahmen des mFund-Modernitätsfonds des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, in dem die Nutzung von Car2X-Technologie im Umfeld der Eisenbahn untersucht wird. Kooperationspartner sind die Deutsche Bahn (DB Systel, DB Erzgebirgsbahn, DB Systemtechnik), DLR, Siemens und Dralle (KMU, Marktführer).

Die Verfügbarkeit von Daten ist von zentraler Bedeutung für eine sichere, effiziente und bedarfsgerechte Mobilität. In der Automobiltechnik werden daher derzeit Standards für die Car2Car- sowie Car2X-Kommunikation definiert. Car2X ermöglicht eine verbesserte Kommunikation der Fahrzeuge untereinander oder zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Durch den Einsatz im Automobilbereich ist zu erwarten, dass standardisierte Kommunikationskomponenten in Kürze in großer Stückzahl zu niedrigen Kosten produziert werden. Auf dieser Basis werden im Projekt Rail2X Anwendungen im Bereich des öffentlichen Verkehrs beispielhaft für drei Use Cases realisiert und demonstriert. Im Use Case 1 „Service und Diagnose“ wird gezeigt, wie die Instandhaltung mittels aktueller Daten verbessert werden kann. Die Steigerung von Verkehrssicherheit und -effizienz steht im Use Case 2 „Anrufschränke“ im Fokus. Die Steigerung der Attraktivität des Bahnfahrens wird im Use Case 3 „Bedarfshalt“ adressiert.

Im Rahmen des Rail2X Projektes werden Betrachtungen zur Nachvollziehbarkeit der Kommunikation im Internet der Dinge angestellt. Diese gehen in die Architektur einer nachvollziehbaren Middleware zum Datenaustausch ein. Weiterhin wurde ein IoT-Lab auf Basis von HP Edgeline Geräten aufgebaut, in welchem Sicherheits- und Fehlertoleranzeigenschaften experimentell evaluiert werden können.

### 4.4. RailChain – Digitalisierung und Dezentralisierung

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl, Robert Schmid**

„RailChain“ ist ein Projekt im Rahmen des mFund-Modernitätsfonds des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, in dem die Nutzung von Blockchain-Technologie im Umfeld der Eisenbahn untersucht wird. Kooperationspartner sind die Deutsche Bahn (DB Systel, DB Erzgebirgsbahn, DB Systemtechnik), Siemens, TU Braunschweig, Spherity sowie der TÜV Rheinland. Die wissenschaftliche Projektleitung liegt beim HPI (Prof. Polze).

Das Gesamtziel des Vorhabens ist es, durch die Nutzbarmachung der Daten (z. B. für Vorhaben im Umfeld Predictive Maintenance) eine vorausschauende Instandhaltung zu ermöglichen, die die Verfügbarkeit des rollenden Gutes (Züge der DB und weiterer Eisenbahnverkehrsunternehmen) erhöht und somit dazu beiträgt, die Pünktlichkeit im Eisenbahnverkehr nachhaltig zu erhöhen. Es werden auch erhebliche Kosteneinsparung bei



rechtlich relevanten Aufzeichnungsverfahren (Juridical Recording) und eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit durch zukünftige Standardisierung der betroffenen Komponenten erwartet. Dies unterstützt die DB AG nachhaltig bei der Realisierung wichtiger, strategischer Konzernziele.

Ein weiteres Gesamtziel des Vorhabens ist es zu zeigen, dass mit transparenten und fälschungssicheren Daten (wie sie mithilfe der Blockchain- bzw. Distributed Ledger-Technologie bereitgestellt werden) verbesserte Dienstleistungen und Services angeboten werden können.

#### 4.5. Windows Research Kernel / Curriculum Resource Kit InstantLab – Betriebssystemexperimente in der Cloud

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Andreas Grapentin**

Unter dem Namen „Windows Operating System Internals Curriculum Resource Kit“ (CRK) entstand seit 2005 ebenfalls eine Lehrmaterialsammlung zum Thema Betriebssystemarchitektur, welche auch Details aus dem WRK berücksichtigt. Das CRK ist eng mit konkreten Forschungsfragen wie z.B. neuen Scheduling-Algorithmen oder Verfahren zur Bandbreiten-Reservierung verknüpft.

Experimente sind ein wesentlicher Bestandteil der Lehre um Prinzipien besser zu verstehen und zu analysieren. Gerade im Kontext der Betriebssystemlehre ist der Versuchsaufbau für ein Experiment mitunter sehr zeitintensiv: Soll ein bestimmtes Phänomen aus dem Betriebssystemkern näher untersucht werden, muss u.U. eine spezielle Betriebssystemversion zusammen mit Lastgeneratoren und Messwerkzeugen installiert und entsprechend konfiguriert werden. Dieser Zusatzaufwand überlagert dann nicht selten den Fokus auf das eigentliche Problem, das untersucht werden soll. Zudem stellt ein Betriebssystemexperiment stark einschränkende Anforderungen an die Ausführungsumgebung.

Im Rahmen des InstantLab-Projektes wird untersucht, inwieweit sich Cloud-Computing-Umgebungen, z.Bsp. Windows Azure oder Amazon EC2, für die Ausführung solcher Experimente eignen. Dabei werden vorkonfigurierte Labore, d.h. virtuelle Maschinen, die einen kompletten Versuchsaufbau enthalten, mit Hilfe der Cloud-Infrastruktur zur Ausführung gebracht, die sich dann vom Nutzer grafisch fernsteuern lassen. Dazu wird eine prototypische Implementierung entwickelt, mit deren Hilfe sich weitere Fragestellungen, z.B. Performanzeigenschaften unterschiedlicher Cloud-Anbieter, effektive Kostenverwaltung und -überwachung für die Ausführung eines Labors, etc. untersuchen lassen.

#### 4.6. Telemed5000 – Fontane II

**Ansprechpartner: Andreas Polze, Jossekin Beilharz, Robert Schmid, Kordian Gontarska**

Das Fontane-Projekt konzentrierte sich auf die Fernüberwachung und die Nachsorge für Schlaganfall-Patienten und Patienten mit Herzkrankheiten im ländlichen Raum von Nordbrandenburg. Nach einer technischen Vorbereitungsphase lief bis Mai 2018 die Studie mit mehr als 1500 Studienteilnehmern. Die Infrastrukturarbeiten der Projektpartner GETEMED, Telekom und HPI beweisen sich im täglichen Einsatz.

Im BMWi-geförderten Nachfolgeprojekt „Telemed5000“ soll die Skalierung des telemedizinischen Ansatzes zur Betreuung von bis zu 5000 Patienten per Fernüberwachung untersucht werden. Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz sollen hier für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems (EUSS) verwandt werden. Am HPI werden durch das BMWi drei Doktorandenstellen (EUR 900.000) gefördert.

Das Projekt wird von einem Konsortium von 8 Partnern durchgeführt, darunter die Charité, die größte Universitätsklinik in Deutschland, Hersteller von medizinischen Geräten, Ärzte und Herz-Spezialisten. Für Fontane hat die Fachgruppe „Betriebssysteme und Middleware“ des HPI eine selbstadaptive, priorisierende Middleware (SaPiMa) implementiert, die auf zuvor entwickelten Konzepten von objektbasierten Echtzeit-Systemen aufbaut.

Zur Evaluierung der entwickelten Konzepte wurde eine Testumgebung für das „Fontane-System“ eingerichtet. Das Testbed umfasst ein prototypisches Telemedizinzentrum, PhysioGate-Ersatz und PhysioGate-Light sowie verschiedene medizinische Messgeräte (Elektrokardiogramm, Blutdruckmessgerät, Waage). Das Testbed ermöglicht die vollständige Simulation der Fontane-Szenarien: Übermittlung der Vitalparameter von den Messgeräten, Verwaltung der patientenseitigen Kommunikation über das PhysioGate, Analyse und Verwaltung der Patienten- sowie Messdaten in einer elektronischen Patientenakte.

Methoden der Patientendatenanalyse wurden in Kooperation mit dem Städtischen Klinikum Brandenburg erarbeitet und publiziert. Mit dem Kooperationspartner Getemed AG werden regelmäßig Bachelor-Projekte durchgeführt.

#### 4.7. Verlässlichkeitsuntersuchungen mit Fehlerinjektion

**Ansprechpartner: Lena Feinbube, Lukas Pirl**

Heutige Software-Systeme zeichnen sich durch eine wachsende Vielschichtigkeit und Komplexität aus, was herkömmliche statische Methoden zur Verlässlichkeitsanalyse erschwert. Deshalb sind Ansätze zur experimentellen Verlässlichkeitsuntersuchung mit Fehlerinjektionswerkzeugen vonnöten.

In Zusammenarbeit mit Industriepartnern, u.a. der IBM und der DB Systel, untersuchen wir neuartige Ansätze zur Fehlerinjektion auf der Basis von Verlässlichkeits- und Fehlerursachenmodellen. Da Fehlertoleranz eine systemische Eigenschaft ist, die auf allen Abstraktionsschichten des Softwarestapels eine Rolle spielt, haben wir verschiedene Werkzeuge entwickelt.

Die integrierte, voll automatisierbare Fehlerinjektionsumgebung „Faultmill“ dient zur Ausführung maximaler Fehlerinjektionskampagnen in verteilten Systemen. Sie wurde verwendet, um das Ausfallverhalten einer OpenStack-Installation zu analysieren und soll in Zukunft auch für andere verteilte Systeme zum Einsatz kommen. Der Fehlerinjektor „Hovac“ wurde entwickelt, um die Robustheit von Anwendungen innerhalb eines Knotens gegenüber Ausfällen externer Bibliotheken zu überprüfen. Hovac ist für diverse, in unserer Forschung ermittelte Software-Ausfallursachenmodelle konfigurierbar und wird auch auf IBM-Power-Systemen zur Verlässlichkeitsanalyse verwendet.

Es gibt hier Schnittstellen zu den Forschungsthemen „IoT“ und „Rail2X“, wo die Verlässlichkeit ebenfalls eine essentielle nichtfunktionale Systemeigenschaft darstellt. Unsere Forschung beschäftigt sich auch damit, Verlässlichkeitsmodelle herzuleiten, um diese Systemeigenschaft praktisch mit experimentellen Ansätzen zu überprüfen und inkrementell zu verbessern. Das Werkzeug „FuzzEd“ von Dr. Peter Tröger, das am Fachgebiet entstanden ist, wird dabei verwendet, um aus konfigurierbaren Fehlerbaum-Modellen automatisch ausführbare Fehlerinjektionskampagnen herzuleiten.

## 4.8. Hybrid Computing

**Ansprechpartner: Max Plauth, Felix Eberhardt, Sven Köhler, Lukas Wenzel**

Um die vielen rechenintensiven Probleme zu lösen, mit denen wir heutzutage konfrontiert sind, wird enorme Rechenleistung benötigt. Prozessoren werden jedoch nicht mehr – wie bisher – von allein schneller, sondern bekommen stattdessen immer mehr Kerne. Darüber hinaus hat sich der Ansatz etablierte, gewöhnlichen Allzweck-CPU's, ausgefeilte Spezialprozessoren wie GPUs, FPGAs oder anwendungsspezifische Einheiten zur Seite zu stellen. Diese sogenannten Beschleuniger (Accelerators) sind einfacher herzustellen und liefern eine hohe Performanz für spezifische Anwendungszwecke. Sie sind die Grundlage für den neuen Trend der Hybrid-Computersysteme.

Programmiermodelle und -Werkzeuge für den Bereich der Hybrid-Systeme haben nicht nur die Probleme der Entwicklung für parallele Systeme zu bewältigen, sondern auch die der unterschiedlichen Ausführungsmerkmale von Prozessoren und Beschleunigern in einer gegebenen Systemkonfiguration.

Unsere Forschung untersucht, wie Anwender und Entwickler von diesen neuartigen Systemen profitieren können. Neben der Integration von Beschleunigern ins Betriebssystem (z.B. im Zuge unseres Hybrid-Parallel-Library-Projekts) untersuchen wir die Einbindung von Beschleunigern im Kontext von Cloud-Computing und virtualisierten Umgebungen. Im Zuge dieser Arbeiten ist zuletzt die CloudCL Bibliothek entstanden, welche es Entwicklern ermöglicht, entfernte Beschleuniger bei Bedarf einzubinden. Die Programmierung erfolgt dabei in der Hochsprache Java, und die meisten Aspekte der verteilten Programmierung werden dem Softwareentwickler abgenommen. CloudCL ermöglicht Domänenexperten, auf vereinfachte Weise Anwendungen zu erstellen, welche das große Leistungspotential moderner Beschleunigertechnologien sowie die dynamische Infrastruktur der Cloud ausschöpfen.

## 4.9. Eingebettete Systeme im IoT-Lab am HPI

**Ansprechpartner: Bernhard Rabe, Daniel Richter, Jossekin Beilharz**

Das im Jahr 2002 gestartete Projekt „Distributed Control Lab“ hat sich über die Zeit immer an den aktuellen wissenschaftlichen Fragestellungen orientiert. Der aktuelle Fokus liegt bei eingebetteten Systemen auf dem Internet der Dinge (IoT). Im IoT-Lab wird die Verbindung von Middleware-basierten Komponenten und eingebetteten Systemen untersucht. Ziel ist es vorhersagbares Systemverhalten in instabilen Umgebungen zu erreichen. Zur Untersuchung von verschiedenen Ansätzen werden Fallstudien in Form von Experimenten mit Prototypen, Modellen und – wo möglich – den tatsächlichen Systemen umgesetzt. Im Vordergrund stehen dabei die nichtfunktionalen Eigenschaften, wie z.B.: Echtzeitverhalten, Fehlertoleranz und Sicherheit.

Als wichtiger Pfeiler für praktische Erfahrungen floss die verteilte Laborinfrastruktur in die Lehrveranstaltung „Betriebssysteme für Embedded Computing“ sowie „Eingebettete Betriebssysteme“ ein. Dabei wurden in verschiedenen Praktikumsveranstaltungen die Steuerung von Echtzeitsystemen (Märklin Digitalbahn, Lego EV3, Carrera Autorennbahn, Beckhoff Industrieautomatisierung, Arduinos ESP32, ODROID, Parallella, Raspberry Pi, etc.) evaluiert.

## 4.10. Smart Energy: Energiegewahres Rechnen

**Ansprechpartner: Max Plauth, Sven Köhler, Lukas Wenzel**

Die zunehmende Bedeutung von erneuerbaren Energien führt zu regelmäßigen Schwankungen im Stromnetz und stellt damit eine Reihe neuartiger Herausforderungen an die Betreiber energiebedürftiger Rechenzentren. Um einen zuverlässigen und effizienten Betrieb von Rechnerinfrastruktur zu gewährleisten, müssen nicht nur technische Parameter wie Kühlung und Abwärme berücksichtigt werden. Auch die Schwankungen operativer Parameter des Stromnetzes wie Produktion und Nachfrage sowie der resultierende Strompreis müssen einkalkuliert werden. Bei Überproduktion etwa belohnen Stromnetzbetreiber Abnehmer, die zur Netzstabilisierung durch Mehrabnahme beitragen, durch niedrigere bis hin zu negativen Strompreisen. Zudem ist es erstrebenswert, die Energieeffizienz der Rechentechnik nicht nur aus ökonomischen, sondern auch ökologischen Gründen zu verbessern.

Moderne Rechenzentren verwenden zunehmend heterogene Komponenten wie zum Beispiel verschiedenen Prozessorarchitekturen, Grafikkarten, FPGAs sowie potentiell weitere Beschleunigertechnologien. Jede dieser Technologien bietet verschiedene Performance- und Energieeigenschaften sowie verschiedene, oft inkompatible, Programmiermodelle.

Ziel unserer Forschung ist es, uns diese heterogenen Eigenschaften zunutze zu machen, um gezielt den Stromverbrauch an aktuelle Anforderungen des Strommarktes und die Auslastung der Rechen-Ressourcen anzupassen, während weiterhin Kriterien wie Durchsatz, Ausführungszeit und Dienstgüte in einem definierten Bereich gewährleistet werden sollen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird zunächst ein heterogenes Rechenlabor (IoT-Lab) am Fachgebiet aufgebaut, in dem wir Energiecharakteristika typischer Arbeitslasten auf verschiedenen Rechenkomponenten experimentell vergleichen können. Eine elementare Herausforderung dabei ist die Entwicklung einheitlicher und reproduzierbarer Messverfahren, um den Stromverbrauch der jeweiligen Komponenten zu bestimmen. Zudem gilt es, Ausführungsumgebungen und Programmiermodelle ausreichend zu abstrahieren, um deren Inkompatibilitäten in einem heterogenen Rechenzentrum überbrücken zu können.

## 5. Drittmittelprojekte

### 5.1. Zuwendungen durch Fördergeber

- Förderung für das Projekt HybridDB durch IBM Deutschland, Fördersumme 100.000 EUR jährlich (1 Doktorandenstelle)
- Förderung für das Projekt Rail2X durch das BMVI, Fördersumme 2.925.000 EUR (HPI: 300.000 EUR) für den Zeitraum 2017-2020
- Förderung für das Projekt RailChain durch das BMVI, Fördersumme 2.925.000 EUR (HPI: 580.000 EUR) für den Zeitraum 2019-2023
- Förderung für das Projekt Telemed5000 durch das BMWi, Fördersumme 2.925.000 EUR (HPI: 900.000 EUR) für den Zeitraum 2019-2023

### 5.2. Auszeichnungen, Preise

- Best Paper Award, HICSS 2019: Software Technology Track, Daniel Richter, Lukas Pirl, Jossekin Beilharz, Christian Werling, Andreas Polze

## 6. Forschungsk Kooperation (außerhalb des HPI)

- IBM Deutschland GmbH, R&D Labs, Böblingen
- Deutschen Bahn AG, DB System GmbH, Berlin
- GETEMED Medizintechnik AG, Teltow
- Blekinge Techniska Högskolan (BTH), Karlskrona
- SAP Innovation Center Potsdam
- Charité – Universitätsmedizin Berlin
- FSD: Fachgebiet Fluidsystemdynamik, Technische Universität Berlin
- Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

## 7. Publikationen

### 7.1. Begutachtete Konferenzartikel

- Max Plauth and Andreas Polze, “GPU-based Decompression for the 842 Algorithm”, Seventh International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), Nagasaki, Japan, 2019
- Robert Schmid, Max Plauth, Lukas Wenzel, Felix Eberhardt and Andreas Polze, “Orchestrating Near-Data FPGA Accelerators using Unix Pipes” Seventh International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), Nagasaki, Japan, 2019
- Benedict Herzog, Max Plauth, Timo Hönig, Sven Köhler, Wolfgang Schröder-Preikschat and Andreas Polze, “Bridging the Gap: Energy-efficient Execution of Software

Workloads on Heterogeneous Hardware Components” Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems (e-Energy '19), June 25-28, 2019, Phoenix, AZ, USA

- Max Plauth and Andreas Polze, “Towards Improving Data Transfer Efficiency for Accelerators using Hardware Compression”, Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR), Takayama, Japan, 2018
- Daniel Richter, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl, Christian Werling, and Andreas Polze, ”Performance of Real-Time Wireless Communication for Railway Environments with IEEE 802.11p”, Proceedings of the 52th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Jan. 2019. isbn: 978-0-9981331-2-6. (Best paper)

## 7.2. Journal-Beiträge

- Max Plauth, Florian Rösler and Andreas Polze, “CloudCL: Single-Paradigm Distributed Heterogeneous Computing for Cloud Infrastructures,” International Journal of Networking and Computing, Vol 8, No 2 (2018), ISSN 2185-2847

## 7.3. Technische Berichte / Standardisierungsdokumente

- Andreas Polze and Max Plauth (Eds), Technischer Bericht Nr. 122: Proceedings of the Fifth HPI Cloud Symposium “Operating the Cloud“ 2017, ISBN 978-3-86956-432-6
- Lena Feinbube, Daniel Richter, Sebastian Gerstenberg, Patrick Siegler, Angelo Haller, and Andreas Polze. „Software-Fehlerinjektion“, Universitätsverlag Potsdam, 2017. ISBN 978-3-86956-386-2
- „HPI Future SOC Lab – Proceedings 2017“, Universitätsverlag Potsdam, 2020, ISBN

## 7.4. Vorträge auf Tagungen

- Max Plauth, “Bridging the Gap: Towards Energy-efficient Execution of Workloads on Heterogeneous Hardware,” Keynote at the 4th International Workshop on GPU Computing and AI (GCA) held in conjunction with the 7th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR), Nagasaki, Japan, 2019.
- Andreas Polze, “Digital Rail Summer School 2019“, 16.-20.09.2019, Jöhstadt, Erzgebirge

## 7.5. Vortragseinladungen außerhalb des HPI

- Robert Schmid und Lukas Wenzel, 2nd Winterschool on Operating Systems, Betriebssysteme der Gesellschaft für Informatik, Schloss Dagstuhl, 28.02.2019
- Andreas Grapentin, Fachgruppe Betriebssysteme der Gesellschaft für Informatik, Erlangen, 14.03.2019
- Sven Köhler, Sino-German Workshop on Mass-Data Analytics and Knowledge Discovery, Nanjing University, China, 03.09.2019
- Felix Eberhardt, IBM Systems Technical University, Prague, Oct. 2019
- Andreas Polze, Workshop des Forschungskollegs “Service-Oriented Systems Engineering”, SAP NextGen, Hudson Yards, NYC, Dec. 9-11, 2019

## 8. Herausgeberschaft

### 8.1. Websites

- Operating Systems and Middleware Homepage ([www.dcl.hpi.uni-potsdam.de](http://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de))
- Instantlab(<http://www.instantlab.org>)  
Andreas Grapentin
- Future SOC Lab  
(<https://hpi.de/forschung/future-soc-lab.html>)  
Bernhard Rabe
- OGF DRMAA Arbeitsgruppe  
([www.drmaa.org](http://www.drmaa.org))

## 9. Mitgliedschaften, Programmkomitees, Gutachtertätigkeiten

### 9.1. Mitgliedschaften / Gremienarbeit

- Prof. Dr. Andreas Polze
  - Pro-Dekan der Digital Engineering Fakultät der Universität Potsdam
  - Sprecher des HPI-Forschungskollegs “Service-Oriented Systems Engineering”
  - Vorsitzender des Steering Committees des HPI FutureSOC Lab
  - Vorsitzender des Promotionsausschusses der Digital Engineering Fakultät der Universität Potsdam
  - Promotionsbeauftragter des Hasso-Plattner-Instituts
  - Mitglied der Entwicklungs- und Planungskommission der Universität Potsdam
  - Mitglied des Vorstands "Weimarer Kreis“ IBM Deutschland.
  - Mitglied der Fachgruppenleitung „Betriebssysteme“ der Gesellschaft für Informatik
  - Mitglied IEEE, GI, HP User Society
- Sven Köhler
  - Stellvertretender Vorsitz im Allgemeinen Wahlausschuss der Universität Potsdam
  - Stellvertretender Vorsitz im Studentischen Wahlausschuss der Universität Potsdam
  - ACM Student Member
  - Vorstand Chaostreff Potsdam e.V.
  - Organisator des CoderDojo Potsdam
- Andreas Grapentin
  - Mitglied der Austin POSIX group
  - Kernel-Maintainer Parabola-Distribution

- Mitglied GI, Fachgruppe Betriebssysteme
- Max Plauth
  - Mitglied GI, Fachgruppe Betriebssysteme
  - IEEE Student Member
  - OpenStack DACH e.V.

## 9.2. Mitarbeit in Programmkomitees

- Prof. Dr. Andreas Polze
  - ISORC 2017/18/19 – Intl. Symposium on Object-Oriented Realtime Systems
  - SAKS – Selbstorganisierende, Adaptive, Kontextsensitive verteilte Systeme
  - ICSOFT – Intl. Conference on Software and Data Technologies
  - ITSIM – International Symposium on Information Technology
- Max Plauth
  - CANDAR – International Symposium on Computing and Networking
  - APDCM – Workshop on Advances in Parallel and Distributed Computational Models, held in conjunction with IPDPS

## 9.3. Gutachtertätigkeiten

- Prof. Dr. Andreas Polze:
  - The Computer Journal, Oxford University Press
  - Journal on Systems and Software, Elsevier
  - Journal on Systems Architecture, Elsevier
  - Real-Time Systems Journal, Springer
  - South African Computer Journal (SACJ)
  - Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE)
  - Gutachter Microsoft Research Ph.D. programme
  - Sprecher HPI Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Max Plauth
  - International Journal of Networking and Computing (IJNC)
  - Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE)
  - IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems



## **10. Workshops / Veranstaltungen am HPI**

### **Digital Rail Summer School (DRSS 2019)**

In Ergänzung zu den Projekten Rail2X und RailChain sowie in Zusammenarbeit mit dem digitalen Testfeld der Deutschen Bahn im Erzgebirge haben wir vom 16.-20.09.2019 die Digital Rail Summer School 2019 in Jöhstadt/Erzgebirge geplant, organisiert und durchgeführt.

Die Anwendung von Simulationsumgebungen bei der Entwicklung von Softwaresystemen für den Eisenbahnbetrieb stand im Fokus der Veranstaltung. Dazu wurden während der Digital Rail Summer School verschiedene Fachvorträge, Programmierübungen, Exkursionen und ein Besuch der parallel stattfindenden Digital Rail Conference mit Demonstration von Innovationen im Praxiseinsatz durchgeführt.

Die 25 Teilnehmenden (HPI, TU Chemnitz, DB, SBB, Trafikverket, Siemens) konnten unter Betreuung ihr erlangtes Wissen in die Praxis umzusetzen und ihre Arbeit in den Praktika selbstständig vertiefen. Das Ziel der Digital Rail Summer School 2019 war es, eine Einführung in IT-Systeme des Systems Bahn zu geben und dabei zu zeigen, dass auch im System Bahn spannende Projekte in den Bereichen Digitalisierung und Automatisierung interessante Karrieremöglichkeiten bieten.

### **HPI Future SOC Lab-Day**

#### **11. April, 12. November 2019**

In Kooperation mit Partnern aus der Industrie hat das Hasso-Plattner-Institut (HPI) das "HPI Future SOC Lab" etabliert, das eine komplette Infrastruktur von hochkomplexen on-demand Systemen auf neuester, am Markt noch nicht verfügbarer, massiv paralleler (multi-/many-core) Hardware mit enormen Hauptspeicherkapazitäten und dafür konzipierte Software bereitstellt.

Zu jedem Zeitpunkt sind etwa 30 Projekte (extern und HPI-intern) im „Future SOC Lab“ aktiv. Als Berichtsworkshop und zur Diskussion neuer Projektvorschläge organisiert unsere Gruppe zweimal im Jahr den „HPI Future SOC Lab-Day“. Die Veranstaltung findet halbjährlich statt und gibt Projekten die Möglichkeit ihre im Future SOC Lab erzielten Ergebnisse zu präsentieren.

### **14<sup>th</sup> Symposium on Future Trends in Service-Oriented Computing**

#### **10.-12. April 2019**

Zum vierzehnten Mal fand das Symposium on "Future Trends in Service-Oriented Computing" (FutureSOC) am Hasso-Plattner-Institut statt. Das Symposium stellte Arbeiten des HPI-Forschungskollegs vor und diskutierte Trends im Bereich der dienstbasierenden Systeme.

Das HPI-Forschungskolleg ist eine interdisziplinäre Graduiertenschule die von den HPI-Fachgebieten getragen wird. Prof. Andreas Polze agiert als Sprecher des Forschungskollegs und ist in dieser Rolle auch für die Organisation des FutureSOC-Symposiums verantwortlich. Das FutureSOC-Symposium deckt einen weiten Bereich von Themen ab, darunter Fragen der Dienstbeschreibung, des Auffindens und der Komposition von Dienstan, der Plattform-Konfiguration und der Kapazitätsplanung und des Monitoring. Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit Dienst-Middleware, dienstbasierenden Architekturen sowie Fragen der Verwaltung von Diensten. Darauf aufbauend werden Geschäftsmodelle für SOA und deren ökonomische Implikationen studiert.

Das FutureSOC-Symposium wurde unter Beteiligung exzellenter Sprecher aus Industrie und Forschung von unserer Arbeitsgruppe organisiert.

## HPI Cloud Symposium “Operating the Cloud”

### 13. November 2019

Unter dem Titel „Operating the Cloud“ führte das Hasso-Plattner-Institut im November 2019 die fünfte Auflage des jährlichen wissenschaftlichen Symposiums zum Thema „Cloud Computing“ durch. Die Veranstaltung diente dem Erfahrungsaustausch zwischen Industrie und Forschung und wurde durch das HPI FutureSOC-Lab und die BITKOM unterstützt. Die Organisation des Symposiums lag wieder maßgeblich in den Händen unserer Arbeitsgruppe. Ein besonderes Glanzlicht war die hands-on-Session, in der es um die Programmierung von NVRAM-Systemen ging und in der wir am HPI absolutes Neuland beschritten haben.

Das Future SOC Lab, eine Kooperation des HPI mit den Industriepartnern Dell EMC, Fujitsu, Hewlett Packard Enterprise und dem SAP Innovation Center Network, bietet Forschern kostenlosen Zugang zu einer kompletten Infrastruktur aus leistungsfähiger Hard- und Software. Da Cloud Computing eines der Hauptforschungsgebiete des HPI Future SOC Lab ist, veranstaltet das Labor einen wissenschaftlichen Workshop, der sich mit Forschungsarbeiten und Praxisberichte aus den Bereichen Betrieb, Administration und Nutzung von Cloud-Systemen beschäftigt.