

Jahresbericht 2021

Fachgebiet

„Betriebssysteme und Middleware“

Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Polze

Jahresbericht 2021 der Gruppe „Betriebssysteme und Middleware“¹

1. Personelle Zusammensetzung

Leiter

Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Polze
Tel.: (0331) 5509 231
E-Mail: 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

Wissenschaftliche Mitarbeiter

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

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

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

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

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

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

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

Felix Grzelka, M.Sc.
Tel.: (0331) 5509 3434
E-Mail: felix.grzelka@hpi.uni-potsdam.de

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

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

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

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

Dirk Friedenberger (Extern)
Tel.: 0151/14460406
E-Mail: dirk.friedenberger@deutschebahn.com

Weronika Wrażeń, M.Sc.
Tel.: n/a
E-Mail: weronika.wrazen@hpi.uni-potsdam.de

Arne Boockmeyer, M.Sc.
Tel.: (0331) 5509 4995
E-Mail: arne.boockmeyer@hpi.uni-potsdam.de

¹ <https://osm.hpi.de/research/Jahresbericht2021.pdf>

20 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, Future SOC Lab), Beckhoff Automation GmbH (Hannover Messe 2008), SAP (Projekt NINA, Numa4Hana#1, #2) durchgeführt. Kooperationsprojekte wurden auch mit der Deutschen Post IT-Solutions (Promotions-stipendium), 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 Systel, Projekt Rail2X, Projekt RailChain, Projekt DiAK, Projekt FlexiDug) 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.

Prof. 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 20 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 Mac OS X. 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.

Mit wachsendem gesellschaftlichem Fokus auf Energieverbrauch und -effizienz, rückt auch der Strombedarf von Rechnersystemen, vom eingebetteten Computer bis zum Rechenzentrum, ins Zentrum der Ressourcenverwaltung von Betriebssystemen. Die Modellierung der Energiecharakteristiken verschiedener Arbeitslasten und die damit verbundene Messinstrumentierung, Analyse und Vorhersage sind Vorbedingungen eines energiebewussten Betriebssystems.

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. Da hier zunehmend maschinelles Lernen Anwendung findet, werden die Auswirkungen und Potentiale solcher Ansätze für die Verlässlichkeit der Systeme untersucht.

Wesentliche Highlights des Jahres 2021 waren die Beschaffung, der Aufbau und die Inbetriebnahme der Blöcke 1 bis 4 des neuen Rechenzentrums am Hasso-Plattner-Institut (SCORE-Lab) sowie Durchführung der Digital Rail Summer School 2021 im Digitalen Testfeld der Deutschen Bahn. Beide Aktivitäten fanden in enger Zusammenarbeit und mit maßgeblicher Unterstützung durch die Industrie (HPE, Fujitsu, IBM, DB Netze, DB System, DB E&C) statt.

2. Lehrveranstaltungen

2.1. Vorlesungen

- Betriebssysteme I (WiSe 20/21, WiSe 21/22)
- Betriebssysteme II (SoSe 20, SoSe 21)
- Eingebettete Betriebssysteme (WiSe 20/21)
- Parallel Programming and Heterogeneous Computing (SoSe 20)
- Future of Computing – on the Road to Quantum (WiSe 20/21) (Open HPI)
- Digital Rail Summer School 2021 (SoSe 21) (Integrierte Lehrveranstaltung)

2.2. Übungen

- Betriebssysteme I (WiSe 20/21, WiSe 21/22)
- Betriebssysteme II (SoSe 20, SoSe 21)
- Eingebettete Betriebssysteme (WiSe 20/21)
- Digital Rail Summer School 2021 (SoSe 21) (Integrierte Lehrveranstaltung)
- Parallel Programming and Heterogeneous Computing (SoSe 21)

2.3. Seminare/Praktika

- Trends in Betriebssystemen - Forschungsseminar der Fachgruppe „Betriebssysteme und Middleware“ (WiSe 20/21, SoSe 21, WiSe 21/22)
- Verantwortung der Informatik – Accountability in AI (WiSe 2021)

2.4. Teleteaching

- Tele-Task: Aufzeichnung der Veranstaltungen „Betriebssysteme I“, „Betriebssysteme II“, „Eingebettete Betriebssysteme“, Curriculum „Digital Rail Summer School“
- Open HPI: „Future in Computing – On the Road to Quantum“, Prof. Andreas Polze, Hildegard Gerhardy, Dr. Wolfgang Maier (3000 Teilnehmer)
- Open HPI: „clean-IT: Towards Sustainable Digital Technologies“, Sven Köhler, Max Plauth, Lukas Wenzel

2.5. Unterricht

3. Betreuung von Studierenden und Dissertationen

3.1. Betreuung von Bachelorprojekten

- „Die IoT-Middleware im Zug: Vernetzte Sensorik für zustandsorientierte Instandhaltung“ bei der Deutschen Bahn AG, DB Systel GmbH (WiSe 20/21 bis SoSe21); Marcel Garus, Heinrich Matrisch, Lenoard Seibold, Clemens Tiedt, Jonas Wanke

- „WiseMat“ bei der GETEMED AG (WiSe 21/22 bis SoSe22); Tamino Bauknecht, Fabian Mahling, Benedikt Weber, Johanna Dahlkemper, Magnus Menger, Nils König, Jannis Berndt, Jasper Sauer

3.2. Betreuung von Masterarbeiten

- Felix Grzelka, „On the Energy Consumption of Deep Learning Workloads“
- Paul Geppert, „Bridging the ITS-G5 and C-V2X Gap: Development and Simulation of a V2X converter“
- Ramin Gharib, „An Adaptive Workload Partitioner for Scalable Document Stream Processing“
- Julia Scharsich, „Hybrid Testbeds for Educational Purposes – Design of a Computer Science Lab for Master Students“
- Tobias Zagorni, „Improving VM Migrations using Disaggregated Memory“
- Till Lehmann, „Efficient FPGA-Implementations of DNA Alignment Algorithms“
- Hendrik Tjabben, „A Distributed Architecture for a Safety-critical ETCS-OBUS“

3.3. Betreuung von Masterprojekten

- „Energy-Aware Computing in Heterogeneous Datacenters“ mit Pawel Böning, Leonard Geier, Philipp Gampe, WiSe 20/21
- „Energy Impact of the Linux Frequency Governors Depending on Workload Memory Characteristics“ mit Erik Griese, Leon Matthes, Maximilian Stiede, WiSe 21/22

3.4. Betreuung von Dissertationen (intern, extern)

- 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“
- Sven Köhler – „Energy-Aware Workload Analysis and Scheduling“
- Robert Schmid – „Operating System Support for Near-Data Computing“
- Lukas Wenzel – „Runtime Environments for FPGA Accelerators in Heterogeneous Systems“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Arne Boockmeyer – „Automatisierte Konformitätstests von IT-Systemen in Co-Simulierten Umgebungen“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Dirk Friedenberger – „Nicht-funktionale Eigenschaften für Microservice-Architekturen“ (Extern, Deutsche Bahn – DB System)

- Kordian Gontarska – „Maschinelles Lernen im Kontext der Telemedizin“
- Weronika Wrazen – „Modellbildung und Data Engineering für die Medizin“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“
- Felix Grzelka – „MLOPs for Approvable Clinical Decision Support Systems“, im Forschungskolleg „Service-Oriented Systems Engineering“

4. Bearbeitete Forschungsthemen

4.1. HPI Future SOC Lab

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Bernhard Rabe, Dr. Tobias Pape

Prof. Dr. Andreas Polze verantwortet das Future SOC Lab am HPI und steht dem *Steering Committee* mit Partnern aus der Industrie (Hewlett-Packard Enterprise, Fujitsu, Dell EMC, SAP, SUSE) 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 mit dem „HPI Future SOC Lab“ eine komplette Infrastruktur von hochkomplexen *on-demand*-Systemen auf massiv paralleler (multi-/many-core) Hardware mit enormen Hauptspeicherkapazitäten und stellt dafür konzipierte Software bereit.

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. SCORE / Data Engineering Lab

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Prof. Tillmann Rabl, Dr. Tobias Pape, Bernhard Rabe

Die Gründung der Digital Engineering Fakultät im Jahre 2017 markiert den Beginn einer Phase erheblichen Wachstums des Hasso-Plattner-Instituts. Damit einher ging die Einrichtung von mehr als 10 neuen Fachgebieten. Dadurch neu entstandene Anforderungen an die Computing-Infrastruktur des Instituts werden im neuen SCORE / Data Engineering Lab gebündelt.

Das seit 2020 im Aufbau befindliche SCORE / Data Engineering Lab stellt HPI-weit verfügbaren Rechenressourcen zur Verfügung und nimmt dabei die Struktur und die Betriebserfahrungen des Future SOC Lab auf. Der Aufbau und Betrieb des Blocks 1 konnte Anfang 2020 abgeschlossen werden. Das Labor hat den Namen „*Data Engineering Lab*“ (DELab) und firmiert mit dem Future SOC Lab unter dem Namen „*Scientific Computing Operations and Research Environment*“ (SCORE). Im Jahr 2020 wurden die Blöcke 2 und 3 beauftragt und teilweise auch in Betrieb genommen. Der Block 3 konnte Mitte 2021 vollständig in Betrieb genommen werden. Weiterhin wurde Block 4 beauftragt und die Lieferung für Anfang 2022 mit Inbetriebnahme des neuen Rechenzentrums in Haus L geplant.

4.3. Projekt “Hybrid DB”

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Felix Eberhardt, Max Plauth, Sven Köhler, Lukas Wenzel, Andreas Grapentin

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. Speicherhierarchien 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 und alternativen Speichertechnologien (via OMI-Protokoll in CAPI 3.1) mit dem Gesamt-System ermöglicht. Um solche eng integrierten Beschleuniger einfach in bereits bestehende Applikationen integrieren zu können, bietet IBM eine Reihe von Open-Source-Frameworks wie das „Storage, Network and Analytics Programming Framework“ (SNAP) oder OC-Accel an. Mit diesen Technologien möchten wir untersuchen, wie In-Memory-Datenbanksysteme anhand von Szenarien wie Data Tiering oder Operator Offloading, Beschleuniger effizient nutzen können.

Die Topologie dieser Server-Systeme wird immer komplexer. Schon heute hängt die Zugriffslatenz 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.

4.4. DiAK – Digitales Andreaskreuz

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl

Das Projekt „Digitales Andreaskreuz“ (DiAK) ist ein Teilprojekt im Rahmen des Reallabor Digitale Mobilität in Hamburg (ReallabHH), welches aus der Nationalen Plattform der Mobilität (NPM) hervorgegangen ist. Im Projekt DiAK werden Anwendungen der *Vehicle2X*-Technologie (V2X) auf Basis des Standards IEEE 802.11p (V2X) und LTE (C-V2X) spezifiziert und demonstriert – und zwar insbesondere auf dem ITS-Weltkongress im RealLabHH im Oktober 2021.

Bei DiAK wird das Andreaskreuz (BÜSA – Bahnübergangs-Sichungsanlage) mit V2X- und C-V2X-Technologie ausgestattet, um den Zustand des Bahnübergangs (BÜ) an die Verkehrsteilnehmer zu kommunizieren. Das Andreaskreuz wird hierfür mit sogenannten “Road-Side Units” (RSU) ausgestattet, die mit auf den Fahrzeugen installierten “On-Board Units” (OBU) kommunizieren. Für verschieden ausgeprägte BÜs (nicht technisch gesichert, Lichtzeichen,

Blinklichter, Lichtzeichen mit Halbschranken, Blinklichter mit Halbschranken, Lichtzeichen mit Schranken und ohne Schranken) werden zunächst Anforderungen spezifiziert. Anhand dessen soll die Eignung der BÜs bezüglich einer Ausstattung mit (C-)V2X-Technologie überprüft werden. Das Teilvorhaben schafft die Basis dafür, dass (C-)V2X-Technologie in das Andreaskreuz integriert werden kann. Durch die Verwendung von in großen Stückzahlen hergestellten Komponenten, die ebenfalls in der Automobilindustrie zum Einsatz kommen, werden kostengünstige Lösungen gefördert. Dies ermöglicht es, in Zukunft jedes elektronische Eisenbahnsystem mit (C-)V2X auszustatten. (C-)V2X wird damit zu einem wichtigen Bestandteil eines zukünftigen Railway Internet-of-Things.

Im Rahmen des Projektes DiAK werden Betrachtungen zur Nachvollziehbarkeit der Kommunikation im Internet der Dinge angestellt. Diese gehen in die Architektur einer nachvollziehbaren Middleware zum Datenaustausch ein. Weiterhin werden im – durch die Gruppe „Betriebssysteme und Middleware“ betriebenen – IoT-Lab des HPIs Sicherheits- und Fehlertoleranzeigenschaften der im Projekt DiAK eingesetzten Software experimentell evaluiert. Ferner werden die von der Professur öffentlich bereitgestellten Software-Komponenten für V2X-Kompatibilität auf Linux gewartet und diesbezügliche Anfragen betreut.

4.5. RailChain – Digitalisierung und Dezentralisierung

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, 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 System, 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 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 mit Hilfe der *Blockchain-* bzw. *Distributed-Ledger-*Technologie bereitgestellt werden) verbesserte Dienstleistungen angeboten werden können.

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

Ansprechpartner: Prof. 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. Die auf der Webseite der Professur bereitgestellten Informationen zum WRK wurden 2021 im Zuge ihrer öffentlich zugänglichen Archivierung optisch und technisch überholt.

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. B. 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.

4.7. Telemed5000 – Fontane II

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Kordian Gontarska, Felix Grzelka, Weronika Wrazen, Jossekin Beilharz, Robert Schmid

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

Im BMWK-geförderten (ehemals BMWi) Nachfolgeprojekt „Telemed5000“ wird die Skalierung des telemedizinischen Ansatzes zur Betreuung von bis zu 5000 Patient:innen per Fernüberwachung untersucht. Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz werden hier für den Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems (EUS) verwandt. Am HPI werden durch das BMWK drei Doktorand:innenstellen (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-Spezialist:innen.

Zur Evaluierung der entwickelten Konzepte wurde am HPI eine Testumgebung eingerichtet. Das Testbed ermöglicht die vollständige Simulation der Projektszenarien: Übermittlung der Vitalparameter von den Messgeräten, Verwaltung der patientenseitigen Kommunikation über Geräte im Patientenhaushalt, Analyse und Verwaltung der Patienten- sowie Messdaten in einer elektronischen Patientenakte.

Methoden der automatisierten Patientendatenanalyse werden am HPI entwickelt, um so eine bessere Versorgung der höchstpriorären Patienten zu ermöglichen.

4.8. Verlässlichkeitsuntersuchungen mit Fehlerinjektion

Ansprechpartner: Lukas Pirl, Arne Boockmeyer, Jossekin Beilharz

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 System, untersuchen wir neuartige Ansätze zur Fehlerinjektion auf der Basis von Verlässlichkeits- und

Fehlerursachenmodellen. Da Fehlertoleranz eine systemische Eigenschaft ist, die auf allen Abstraktionsschichten des Softwarestacks eine Rolle spielt, haben wir verschiedene Werkzeuge entwickelt.

Es gibt hier Schnittstellen zu den Forschungsthemen „IoT“, „DiAK“ und „RailChain“; bei denen 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“ (jetzt „Open Reliability Editor“) von Dr. Peter Tröger, das am Fachgebiet entstanden ist, wird dabei verwendet, um aus konfigurierbaren Fehlerbaum-Modellen automatisch ausführbare Fehlerinjektionskampagnen herzuleiten.

4.9. Marvis: Integrationstests von IT-Systemen in einem co-simulierten hybriden Testbed

Ansprechpartner: Andreas Polze, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl, Robert Schmid, Dirk Friedenberger, Arne Boockmeyer

Die Integration neuer Hard- und Software-Systeme in bereits bestehende Infrastrukturen ist eine große Herausforderung für den Hersteller des Systems und für den Betreiber der Infrastruktur. Insbesondere in kritischen Infrastrukturen, wie dem Bahnwesen, besteht kein Raum für Fehler, die erst bei oder nach der Integration der neuen Komponenten entstehen, da in diesem Fall der Bahnbetrieb erheblich gestört werden würde oder es im schlimmsten Fall sogar zu Unfällen kommt.

Die Integration neuer Systeme in diesen Bereichen muss also intensiv getestet werden. Durch die ständige Digitalisierung und die damit verbundenen neuen Herausforderungen der Vernetzung ist dies ein immer komplizierterer Prozess. Auch verschärfen Komponenten, die auf kabellose Verbindungen basieren, diese Komplexität noch stärker, da insbesondere bei diesen Komponenten ein Test in der Zielumgebung wichtig ist, denn diese hat häufig Auswirkungen auf die Verbindungsqualität.

Mit dem Testbed Marvis haben wir am Fachgebiet in Zusammenarbeit mit der technischen Universität Berlin ein Werkzeug entwickelt, welches solche Ausführungsumgebungen simulieren kann und so das realistische Testen einer Integration eines IT-Systems ermöglicht. In Marvis wird die Ausführungsumgebung durch die Co-Simulation aus Netzwerksimulation (ns-3) und Verkehrssimulation (SUMO) erzeugt. Das IT-System wird dabei hybrid mit anderen Teilkomponenten entweder als virtualisiertes System oder unter dem Stichwort Hardware-in-the-Loop als Hardwaresystem eingebunden. Zusätzlich gibt es Möglichkeiten zur Fehlerinjektion, um die Verlässlichkeit zu testen. Um die Testergebnisse zu verifizieren und somit die Realitätsnähe der Simulationen nachzuweisen, wurden im Rahmen verschiedener Arbeiten die Modelle mit der echten Welt verglichen.

Um die Probleme bei der Integration von neuen Komponenten in bestehende Infrastrukturen zu beheben, schlagen wir einen dreistufigen Prozess vor: Im ersten Schritt wird das neue IT-System in einem Testbed wie Marvis mit anderen Simulationen zusammen getestet. Anschließend testet man Teilaspekte in einem realen Testbed, wie dem Erprobungsbahnhof Scheibenberg und verifiziert damit die Simulation. Im letzten Schritt skaliert man die Testszenarien in der Simulation und probiert viele andere Szenarien aus.

4.10. Heterogenes Rechnen

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

Um die vielen rechenintensiven Probleme zu lösen, mit denen wir heutzutage konfrontiert sind, wird enorme Rechenleistung benötigt. Prozessoren werden jedoch seit beinahe zwei Jahrzehnten nicht mehr auf Grund steigender Taktfrequenzen leistungsfähiger, sondern erzielen steigende Rechenleistung vorrangig durch die Verwendung mehrerer Prozessorkerne. Darüber hinaus hat sich der Ansatz etablierte, gewöhnlichen Allzweck-CPU's, Spezialprozessoren wie GPU's, FPGA's oder anwendungsspezifische Recheneinheiten 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 Heterogenen Rechensysteme. Auch das Speichersubsystem in seiner Verantwortung die benötigten Daten anzuliefern steht vor Herausforderungen. Es zeigt sich immer mehr, dass sowohl die Anbindung an die steigende Anzahl an Prozessor-Kernen entsprechend größer dimensioniert werden muss, als auch die immer häufiger verwendeten Beschleuniger Karten angebunden werden müssen. Letztere sind in den bisherigen Architekturen-Ansätzen darauf angewiesen, dass Eingabe- und Ausgabedaten in bzw. aus ihrem lokalen Speicher kopiert werden müssen. Das kostet zum einen Latenz und zum anderen Bandbreite. Neue Ansätze wie eine kohärente Anbindung an die Hauptspeicherhierarchie werden vermehrt von der Industrie vorangetrieben. Damit rücken die Beschleuniger näher an das Host-System und können nun eigenständig auf benötigte Daten – ohne kopieren – zugreifen. Das ermöglicht neue Anwendungsfälle, die bisher durch die losere Kopplung nicht sinnvoll waren.

Programmiermodelle und -werkzeuge für den Bereich der Heterogenen Rechensysteme 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.

4.11. Datenflussorientierte FPGA-Beschleuniger

Ansprechpartner: Lukas Wenzel, Robert Schmid, Max Plauth, Sven Köhler

„*Field Programmable Gate Arrays*“ (FPGA) stellen eine einzigartige Komponente unter der Vielfalt verschiedener Rechenplattformen in einem heterogenen System dar. Anstelle einer programmierbaren aber in sich statischen Rechnerarchitektur, wie sie in CPU's oder GPU's zu finden ist, erlaubt ein FPGA-Beschleuniger die Konfiguration einer anwendungsspezifisch zugeschnittenen Architektur. Diese Charakteristik ermöglicht in einigen Anwendungsfällen deutliche Durchsatz- und Effizienzsteigerungen und macht FPGA's auch in Rechenzentren interessant.

Bislang ist der Einsatz von FPGAs in diesem Umfeld durch einige Faktoren behindert: Zum einen ist die Entwicklung von FPGA-Anwendungslogik aufwändig und erfordert Entwickler mit Erfahrungen im Hardwaredesign. Darüber hinaus ist das Verhalten des Beschleunigers vom Anwendungsdesign abhängig, sodass keine generellen Garantien über die Isolation nebenläufiger Aktivitäten gegeben werden können und FPGAs folglich in der Regel exklusiv betrieben werden. Mit dem Ziel einer praktikablen Skalierung auf Rechenzentrums-Dimensionen müssen diese Probleme überwunden werden.

Mit dem MetalFS-Framework arbeiten wir an einer datenflussorientierten Lösung, die Entwicklern durch ein konfigurierbares Overlay einen großen Teil der nicht problemspezifischen Designarbeit abnimmt, und im gleichen Zug die Realisierung von Isolationsgarantien von der anwendungsspezifischen auf die Framework-Ebene umlagert. Im Zentrum des MetalFS-Konzeptes steht eine zur Designzeit konfigurierbare von Datenstrom-Operatoren, die zur Laufzeit in beliebiger Reihenfolge zu einer Pipeline gereiht werden können. Die bisherige Arbeit entstand im OpenCAPI-Ökosystem, ist aber auch auf andere Systemumgebungen anwendbar.

Aktuell steht die Erweiterung des MetalFS-Overlays für einen Betrieb mit mehreren isolierten Anwendungskontexten (Multi-Tenancy) im Fokus unserer Forschungsarbeit. Die dabei entstehenden Herausforderungen liegen insbesondere im Zwiespalt zwischen dem Durchsatzgewinn durch aufwändige dynamische Scheduling-Mechanismen und deren resultierendem Verbrauch von limitierten FPGA-Ressourcen. Die Arbeit umfasst aber auch die akkurate Modellierung und Simulation einer realen Systemumgebung zur schnellen Evaluation architektonischer Alternativen unter stabilen Bedingungen.

4.12. Eingebettete Systeme im IoT-Lab am HPI

Ansprechpartner: Bernhard Rabe, Daniel Richter, Jossekin Beilharz, Lukas Pirl

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. Im Kontext der Forschung und Lehre wird das IoT-Lab intensiv von wissenschaftlichen Mitarbeitern, Studierenden und Partnern genutzt, wodurch das IoT-Lab einem stetigen Prozess von Verbesserung, Veränderung, Erneuerung und Erweiterung ausgesetzt ist.

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, ODRROID, Parallella, Raspberry Pi, etc.) evaluiert.

4.13. 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.

4.14. Composability Lab

Ansprechpartner: Prof. Andreas Polze, Felix Eberhardt, Andreas Grapentin, Max Plauth

Die vertikale Skalierung von Arbeitslasten wird durch die Kapazität eines Server Systems begrenzt. Zwar ist es möglich durch Nutzung von Nachrichten-basierten Programmiermodellen über die Systemgrenzen hinweg horizontal zu skalieren, dies bringt jedoch allerhand Aufwände mit sich. Kohärente Verbindungsnetzwerke wie OpenCAPI oder CXL ermöglichen es die Lade- und Schreiboperationen des Speichersubsystems über Systemgrenzen hinweg zu leiten. Die damit verbundene neuartige Systemarchitektur bezeichnen wir als *loosely-coupled shared memory*, einem Mix aus geteiltem Speicher und Nachrichten-basierter Systemarchitektur.

Ein Prototyp eines solchen Systementwurfs betreiben wir in unserem *Composability Lab*. Mit Modifikationen auf verschiedenen Softwareschichten und mit Hilfe von kohärent angebunden FPGAs, die untereinander mit Netzkabeln verbunden sind, wird die *loosely-coupled shared memory* Architektur umgesetzt. Als Teil des Data-Labs ist es möglich den Prototypen mit anderen Wissenschaftlern gemeinsam für Experimente zu nutzen.

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 BMWK (ehemals BMWi), Fördersumme 2.925.000 EUR (HPI: 900.000 EUR) für den Zeitraum 2019-2022
- Förderung für das Projekt DiAK (Digitales Andreaskreuz) in der Nationalen Plattform der Mobilität durch das BMVI, Fördersumme 25.000.000 EUR (HPI: 211.651,46 EUR) für den Zeitraum 2020-2021
- Förderung für das Projekt FlexiDug (Flexible, digitale Systeme für den schienengebundenen Verkehr in Wachstumsregionen) durch das BMVI, Fördersumme 3.194.120 EUR (HPI: 555.000 EUR) für den Zeitraum 2021-2024

5.2. Auszeichnungen, Preise

6. Forschungsk Kooperation (außerhalb des HPI)

- IBM Deutschland GmbH, R&D Labs, Böblingen
- IBM Research Europe, Ireland Lab, Dublin
- IBM Research Austin, Texas
- Deutsche Bahn AG, DB Systel GmbH, Berlin
- Deutsche Bahn AG, DB Netz GmbH, Frankfurt am Main
- GETEMED Medizintechnik AG, Teltow
- Blekinge Techniska Högskolan (BTH), Karlskrona
- SAP Innovation Center Potsdam
- Charité – Universitätsmedizin Berlin
- Thales Deutschland GmbH, Thales Austria
- Frauscher Sensortechnik GmbH
- Siemens Mobility GmbH
- Gemeinsame Arbeitsgruppe Distributed Systems Engineering Lab (diselab) mit dem Fachgebiet Distributed and Operating Systems, Technische Universität Berlin
- FSD: Fachgebiet Fluidsystemdynamik, Technische Universität Berlin
- Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

- Fachgebiet Verteilte Systeme/Betriebssysteme, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Professur für Betriebssysteme und Systemsoftware, Ruhr-Universität Bochum

7. Publikationen

7.1. Begutachtete Konferenzartikel

- Sven Köhler, Lukas Wenzel, Max Plauth, Pawel Böning, Philipp Gampe, Leonard Geier, and Andreas Polze; *Recognizing HPC Workloads Based on Power Draw Signatures*; Ninth International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW), 2021 [Best-Paper-Award]
- Jossekin Beilharz, Philipp Wiesner, Arne Boockmeyer, Lukas Pirl, Dirk Friedenberger, Florian Brokhausen, Ilja Behnke, Andreas Polze, and Lauritz Thamsen; *Continuously Testing Distributed IoT Systems: an Overview of the State of the Art*; Post-Proceedings of the 18th International Conference on Service-Oriented Computing (ICSOC'21), 2021.
- Jossekin Beilharz, Bjarne Pfitzner, Robert Schmid, Paul Geppert, Bert Arnrich, and Andreas Polze; *Implicit Model Specialization through Dag-based Decentralized Federated Learning*; In *Middleware'21: 22nd International Middleware Conference*, ACM, 2021.
- Arne Boockmeyer, Dirk Friedenberger, Lukas Pirl, Robert Schmid, Andreas Polze, Heiko Herholz, Gisela Freiin von Arnim, Pedro Lehmann Ibáñez, Torsten Friedrich, Christoph Klaus, and Christian Wilhelmi; *From CCS-Planning to Testautomation: The Digital Testfield of Deutsche Bahn in Scheibenberg – A Case Study*. In 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 258–263. IEEE, 2021. [doi:10.1109/IC2E52221.2021.00043](https://doi.org/10.1109/IC2E52221.2021.00043).
- Valentin Schröter, Arne Boockmeyer, and Lukas Pirl; *NetSD: Remote Access to Integrated SD Cards of Embedded Devices*; In 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 238–243. IEEE, 2021. [doi:10.1109/IC2E52221.2021.00040](https://doi.org/10.1109/IC2E52221.2021.00040).
- Björn Daase, Leon Matthes, Lukas Pirl, and Lukas Wenzel; *Observing a Moving Target – Reliable Transmission of Debug Logs from Embedded Mobile Devices*; In 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 224–230. IEEE, 2021. [doi:10.1109/IC2E52221.2021.00038](https://doi.org/10.1109/IC2E52221.2021.00038).
- Jonas Chromik, Lukas Pirl, Jossekin Beilharz, Bert Arnrich, and Andreas Polze; *Certainty in QRS Detection With Artificial Neural Networks*; In *Biomedical Signal Processing and Control*, 68:102628, 2021. [doi:10.1016/j.bspc.2021.102628](https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102628).

- Jossekin Beilharz, Philipp Wiesner, Arne Boockmeyer, Florian Brokhausen, Ilja Behnke, Robert Schmid, Lukas Pirl, and Lauritz Thamsen;
Towards a Staging Environment for the Internet of Things;
In 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 312–315. IEEE, 2021. [Best-Paper-Award]
- Kordian Gontarska, Morgan Geldenhuys, Dominik Scheinert, Philipp Wiesner, Andreas Polze, and Lauritz Thamsen;
Evaluation of Load Prediction Techniques for Distributed Stream Processing;
In 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 91-98. IEEE, 2021.
- Philipp Wiesner, Ilja Behnke, Dominik Scheinert, Kordian Gontarska, and Lauritz Thamsen; *Let's Wait Awhile: How Temporal Workload Shifting Can Reduce Carbon Emissions in the Cloud.*
In *Middleware '21*, 260-272, ACM, 2021.
- Benjamin J. J. Pfister, Wolf S. Lickefett, Jan Nitschke, Sumit Paul, Morgan K. Geldenhuys, Dominik Scheinert, Kordian Gontarska, and Lauritz Thamsen;
Rafiki: Task-level Capacity Planning in Distributed Stream Processing Systems;
Proceedings of the Euro-Par 2021 Workshops (Euro-Par). Springer, 2021.
- Kordian Gontarska, Weronika Wrazen, Jossekin Beilharz, Robert Schmid, Lauritz Thamsen, and Andreas Polze;
Predicting Medical Interventions from Vital Parameters: Towards a Decision Support System for Remote Patient Monitoring;
In *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Presented at the 19th Conference on Artificial Intelligence in Medicine (AIME). Springer. 2021
- Signe Rüsçh, Kai Bleeke, Ines Messadi, Stefan Schmidt, Andreas Krampf, Katharina Olze, Susanne Stahnke, Robert Schmid, Lukas Pirl, Roland Kittel, Andreas Polze, Marquart Franz, Matthias Müller, Leander Jehl, Rüdiger Kapitza;
ZugChain: Blockchain-Based Juridical Data Recording in Railway Systems.
To appear in the Proceedings of the 52nd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'22)

7.2. Journal-Beiträge

- Max Plauth, Felix Eberhardt, Andreas Grapentin, and Andreas Polze,
Improving the Accessibility of NUMA-Aware C++ Application Development Based on the PGASUS Framework
Concurrency and Computation: Practice and Experience. 2022; e6887-
<https://doi.org/10.1002/cpe.6887>
- Robert Schmid, Arne Boockmeyer, Lukas Pirl, Randolph Berglehner, Ibtihel Cherif, Andreas Korff, Bernd Elsweiler, and Andreas Polze.
EULYNX-Live: Eine Methodik zum Validieren von Systemspezifikationen in hybriden Feldtests.
In *Signal + Draht*, 113:24–31, July 2021.

7.3. Technische Berichte / Standardisierungsdokumente

7.4. Vorträge auf Tagungen

- Arne Boockmeyer, Jossekin Beilharz, Philipp Wiesner, Dirk Friedenberger, Lukas Pril, Lauritz Thamsen, ICSOC'21: Marvis Tutorial
- Jossekin Beilharz, ITS World Congress: “Live Demonstration of the Digital St. Andrew’s Cross”

7.5. Vortragseinladungen außerhalb des HPI

- Felix Eberhardt, Andreas Grapentin, OpenPower Summit 2021, https://youtu.be/VPRZqUW_8II
- Arne Boockmeyer, ide3a-Lecture: IoT-Applications in the Railway Domain – Research Projects of the Operating Systems and Middleware-Group

8. Herausgeberschaft

8.1. Websites

- Operating Systems and Middleware Homepage (<https://osm.hpi.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)
- RailChain (<https://railchain.berlin>)
- Distributed Systems Engineering Lab (<https://diselab.berlin>)

9. Mitgliedschaften, Programmkomitees, Gutachtertätigkeiten

9.1. Mitgliedschaften / Gremienarbeit

- Prof. Dr. Andreas Polze
 - 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
 - ACM Student Member
 - Vorstand Chaostreff Potsdam e.V.
 - Organisator des CoderDojo Potsdam
- Andreas Grapentin
 - Mitglied der Austin POSIX group
 - Core-Maintainer Parabola GNU/Linux-libreDistribution
 - Mitglied GI, Fachgruppe Betriebssysteme
- Max Plauth
 - Mitglied GI, Fachgruppe Betriebssysteme
- Jossekin Beilharz
 - Mitglied ACM, GI (Fachgruppen Betriebssysteme, Kommunikation und Verteilte Systeme)

9.2. Mitarbeit in Programmkomitees

- Prof. Dr. Andreas Polze
 - ISORC 2017/18/19/20/21 – Intl. Symposium on Object-Oriented Realtime Systems
 - ICSOFT – Intl. Conference on Software and Data Technologies
 - ITSIM – International Symposium on Information Technology
 - TDIS at IC2E – International Workshop on Testing Distributed Internet of Things Systems
- Max Plauth
 - CANDAR – International Symposium on Computing and Networking
 - APDCM – Workshop on Advances in Parallel and Distributed Computational Models, held in conjunction with IPDPS
 - COMPSYS – Workshop on Composable Systems, held in conjunction with IPDPS
- Felix Eberhardt
 - COMPSYS – Workshop on Composable Systems, held in conjunction with IPDPS
- Andreas Grapentin
 - COMPSYS – Workshop on Composable Systems, held in conjunction with IPDPS
- Jossekin Beilharz
 - TDIS at IC2E – International Workshop on Testing Distributed Internet of Things Systems

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
- Daniel Richter
 - Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences

10. Workshops / Veranstaltungen am HPI

Digital Rail Summer School (DRSS 2021)

Mai bis September 2021

In Zusammenarbeit mit Prof. Birgit Milius (TU Berlin, Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur), Ingo Schwarzer (DB Systel, DB Institute of Technology) und Hendrik Ammoser (Institut für Bahntechnik), Prof. Matthias Werner (TU Chemnitz, Professur Betriebssysteme), Dr. Ulrich Maschek (TU Dresden, Institut für Verkehrssicherungstechnik), Dr. Max Schubert (INCYDE GmbH), Prof. Stefan Katzenbeisser (Uni Passau, Lehrstuhl für Technische Informatik), Prof. Armin Zimmermann (TU Ilmenau, Fachgebiet System- und Software-Engineering), sowie in Zusammenarbeit mit dem digitalen Testfeld der Deutschen Bahn (DB Netze) im Erzgebirge haben wir vom 6.-10.09.2021 die Digital Rail Summer School 2021 in Jöhstadt/Erzgebirge geplant, organisiert und durchgeführt.

Die Anwendung von Simulationsumgebungen bei der Entwicklung von Softwaresystemen für den Eisenbahnbetrieb und die Integration von *Hardware-in-the-loop* stand im Fokus der Vorkurse und der Projektphase im Frühsommer. Dazu wurden während der Laborphase im September verschiedene Fachvorträge, Exkursionen und ein Besuch des parallel stattfindenden Digital Rail Demo Days mit Demonstration von Innovationen im Praxiseinsatz durchgeführt.

Die rund 150 Teilnehmenden (HPI, TU Berlin, TU Chemnitz, TU Dresden, DB, TÜV Nord, Thales, Frauscher u. v. m.) konnten sich während der Labor- und Demophase austauschen und die Ergebnisse der Projekte präsentieren. Das Ziel der Digital Rail Summer School 2021 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.

International Workshop on Testing Distributed Internet of Things Systems (TDIS '21)

4. Oktober 2021 -- <https://osm.hpi.de/posts/2021-03-19-tdis-ic2e>

Auf der “9th IEEE International Conference on Cloud Engineering” (IC2E '21) haben wir gemeinsam mit dem Fachgebiet für Distributed and Operating Systems an der TU Berlin den International Workshop on Testing Distributed Internet of Things Systems (TDIS '21) durchgeführt.

Der Workshop hat Beiträge aus Industrie und Forschung zum Thema der Zuverlässigkeit, der Test-Frameworks und -Systeme, der Fehlerinjektion und der Monitoring Werkzeuge im Bereich der IoT-Systeme eingeladen. Durch ein internationales Program Committee (siehe <https://tdis21.diselab.berlin>) konnte ein interessantes Programm mit sechs peer-reviewed Papern und zwei eingeladenen Vorträgen zusammengestellt werden. Eine Fortführung ist im Jahr 2022 geplant.

First Joint Workshop on Memory Disaggregation

23.09.2021

Mit der Fertigstellung des *Composability Labs* organisierte die OSM-Gruppe einen Workshop zum Thema Speicherdisaggregation mit dem Industriepartner IBM und weiteren Forschungsgruppen von der TU Delft (Big Data Acceleration Group) und Erasmus Medical Center Rotterdam, Neuroscience Department. Es wurden viele Herausforderungen und wissenschaftliche Fragestellungen zu dem Thema identifiziert und besprochen. Als besonders interessante Anwendungsfälle haben sich Hauptspeicherdatenbanken, Agenten-basierte Simulationssysteme und analytische BigData Arbeitslasten, sowie biologische Simulationen des Gehirns herausgestellt.

HPI Future SOC Lab-Day

20. April, 23. November 2021

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.

16th Symposium der HPI-Forschungskollegs

21.-23. April 2021

In diesem Jahr fand das Symposium der HPI-Forschungskollegs am Hasso-Plattner-Institut zum 16. Mal – Corona-bedingt leider nur als virtuelles Event – statt. Das Symposium stellte Arbeiten der HPI-Forschungskollegs vor und diskutierte Trends im Bereich der dienstbasierenden Systeme.

Die HPI-Forschungskollegs bilden eine interdisziplinäre Graduiertenschule, die von den HPI-Fachgebieten getragen wird. Prof. Andreas Polze agiert als Sprecher des Forschungskollegs „On Service-oriented Systems Engineering“ und ist in dieser Rolle – gemeinsam mit Prof. Felix Nauman – für die Organisation des Symposiums verantwortlich. Das Forschungskollegs-Symposium deckt einen weiten Bereich von Themen ab, darunter Fragen der Dienstbeschreibung, des Auffindens und der Komposition von Diensten, der Plattform-Konfiguration und der Kapazitätsplanung und des Monitorings. 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.

Neu hinzugekommen sind Themen der Data Science und des Data Engineering, die in dem von Prof. Naumann geleitetem, neuen Forschungskolleg „Data Science und Engineering“ im Mittelpunkt stehen.w

Hasso-Platter-Institut für Digital Engineering GmbH FG
„Betriebssysteme und Middleware“
Campus Griebnitzsee
14482 Potsdam

www.hpi.de/polze