

KIT SCIENTIFIC REPORTS 7714

Jahresbericht 2015

Institut für Angewandte Informatik

Rainer Weidemann (Hrsg.)

Rainer Weidemann (Hrsg.)

Jahresbericht 2015

Institut für Angewandte Informatik

Karlsruhe Institute of Technology
KIT SCIENTIFIC REPORTS 7714

Jahresbericht 2015

Institut für Angewandte Informatik

von
Rainer Weidemann (Hrsg.)

Report-Nr. KIT-SR 7714

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed
under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2016

ISSN 1869-9669

DOI: 10.5445/KSP/1000054065

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
Kurzfassung	3
Programm SCI	3
Programm EMR	3
Programm EE	4
Programm TIG.....	4
Programm BIFTM.....	5
Programm STN.....	5
Programm SBD.....	7
Programm SCI: Storage and Cross-linked Infrastructures	9
Networks and Storage Integration	9
Programm EMR: Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen	17
Vergasung.....	17
Mineralische Konstruktionsmaterialien	19
Programm EE: Erneuerbare Energien	25
Effiziente Nutzung geothermischer Energie.....	25
Konversion.....	29
Programm TIG-E: Technologie, Innovation und Gesellschaft / Energie	37
Energy – Resources, Technologies, Systems	37
Programm TIG-ST: Technologie, Innovation und Gesellschaft / Schlüsseltechnologien	41
Innovation Processes and Impacts of Technology	41
Programm BIFTM: BioInterfaces in Technology and Medicine	47
Biologische Netzwerke und Synthetische Regulatoren.....	47
Programm STN: Science and Technology of Nanosystems	51
Systemintegration	51
Programm SBD: Supercomputing & Big Data	65
Data Life Cycle Labs	65
Literaturverzeichnis	67
Publikationen, die in Web of Science oder Scopus verzeichnet sind	67
Sonstige Publikationen, die in schriftlicher Form vorliegen	71
Vorträge, die nicht in schriftlicher Form vorliegen	77
Poster und sonstige Publikationen.....	81

Einführung

Das Institut für Angewandte Informatik (IAI) ist ein Forschungsinstitut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF). Es betreibt Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet innovativer, anwendungsorientierter Informations-, Automatisierungs- und Systemtechnik für zukunftsfähige Energiesysteme sowie komplexe Industrie- und Laborprozesse.

Im Institut werden im Rahmen der programmorientierten Förderung (POF) Systemlösungen für Aufgabenstellungen aus den HGF-Programmen Storage and Cross-linked Infrastructures (SCI), Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen (EMR), Erneuerbare Energien (EE), Technologie, Innovation und Gesellschaft (TIG), BioInterfaces in Technology and Medicine (BIFTM), Science and Technology of Nanosystems (STN) und Supercomputing & Big Data (SBD) erarbeitet. Die FuE-Vorhaben umfassen alle Entwicklungsphasen vom Konzeptentwurf bis zur Prototypenherstellung und praktischen Erprobung und beinhalten neben der Systemrealisierung auch die Entwicklung neuartiger Informatik- und Automatisierungsmethoden und -werkzeuge, die im Rahmen der Systemherstellung eingesetzt und weiterentwickelt werden. In den FuE-Vorhaben finden aktuelle Konzepte und Techniken aus den Gebieten Wissensverarbeitung (wie z.B. Fuzzy-Konzepte, Künstliche Neuronale Netze, Maschinelles Lernen, Mustererkennung), Kommunikation, Hypermedia, Telepräsenz, Robotik, Bussysteme sowie Mess- und Automatisierungstechnik Anwendung.

Die Vorhaben werden in interdisziplinärer Kooperation mit Partnern aus Industrie, Verwaltung und anderen Forschungseinrichtungen im In- und Ausland bearbeitet. Das Institut ist an Projekten der EU, des BMBF, des Landes, der DFG, der AiF und der Industrie beteiligt. Die Mitarbeiter des Instituts sind vielseitig in Normungsgremien, Fach- und Gutachtergremien sowie Programmkomitees aktiv.

Mitglieder der kollegialen Institutsleitung waren im Jahr 2015 die Herren Prof. Dr. Veit Hagenmeyer und bis zu seinem Ausscheiden in den Ruhestand am 31.03.2015 Prof. Dr.-Ing. habil. Georg Bretthauer. Herr Prof. Bretthauer leitete in Personalunion auch das Schwesterinstitut für Angewandte Informatik / Automatisierungstechnik (AIA) im Campus Süd des KIT. Das AIA wurde zum Jahresbeginn 2016 in das IAI integriert. Herr Prof. Hagenmeyer ist auf einen Lehrstuhl für Energieinformatik am Institut für Telematik (TM) des Campus Süd berufen.

Am 31.12.2015 waren am Institut für Angewandte Informatik 73 wissenschaftliche Mitarbeiter, 4 sonstige Mitarbeiter, 4 Doktoranden, 14 DHBW-Studenten und 10 Auszubildende beschäftigt.

Nach einem kurzen Überblick über die Arbeiten des Instituts wird über die Ergebnisse im Jahre 2015 berichtet, die Einordnung erfolgt entsprechend der Zuordnung der Vorhaben zu den Programmen des Großforschungsbereichs des KIT. Es schließt sich ein Verzeichnis der im Berichtszeitraum erschienenen Publikationen des Instituts an.

Kurzfassung

Programm SCI

In dem in 2015 neu gestarteten Programm „Storage and Cross-linked Infrastructures (SCI)“ entwickelt das IAI IT-Methoden für die Modellierung, Simulation und Analyse von Energie-Verbundsystemen mit dem Schwerpunkt Stromnetze. Als Basis für weitere Arbeiten wurde deutschlandweit das gesamte Elektrizitäts-Verbundnetz für die Spannungsebenen 110-380 kV nebst HGÜ-Strecken (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) topologisch modelliert. Die Visualisierung erfolgt in Google Earth. Der Raum Baden-Württemberg (BW) ist stromkreisgenau nachgebildet. Verschiedene Benchmark-Modelle wurden definiert und modelliert (Raum Karlsruhe, Essen, BW, KIT-Campus Nord). Für die Modellierung und die web-basierte Datenverwaltung und -visualisierung der Simulationsmodelle wurden neue Softwaremodule als neue Teile der eASIMOV-Toolbox entwickelt. Das Software-Modul ePowSim ermöglicht die quasi-statische Lastfluss-Berechnung und ist optimiert für GPU-Computerarchitekturen (Graphics Processing Unit), unter Einsatz der MatPower-Toolbox. Das Modul ePowSim wurde in C++ realisiert und enthält Engines für Lastflussalgorithmen. Die hochfrequente Messung im Verteilnetz des KIT wurde durch weitere drei E.DR-Geräte (Electrical Data Recorder) ergänzt und die Monitoring Software E.DR-Broker deutlich erweitert und verbessert.

Das IAI ist an zwei Projekten zum Thema zukünftige Energiesysteme beteiligt, die wegen des Umfangs programm- und arbeitsgruppenübergreifend koordiniert und bearbeitet werden. Im Rahmen von „Energy Lab 2.0“, einem Programm zur Untersuchung der Wechselwirkungen verschiedener Komponenten zukünftiger Energiesysteme, ist das IAI für die Konzeption und den Aufbau des „Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC)“ zuständig und wird damit wissenschaftliche Fragestellungen zu solchen zukünftigen Energiesystemen bearbeiten. In SEnSSiCC sind die IT-technischen Arbeiten und Forschungsaspekte des Energy Lab 2.0 gebündelt. Die konzeptionellen Arbeiten und die Detailplanung in 2015 haben die Voraussetzungen zum Aufbau der Anlagen geschaffen. In der gemeinsamen HGF-Initiative „Energie System 2050“, die mit einer finanziellen Ausstattung von 15 Mio. € in 5 Jahren einen systemischen Gesamtlösungsansatz für die Energiewende in Deutschland verfolgt, ist das IAI führend am Querschnittforschungsthema 5 beteiligt (Datenformate, Simulation, Prognose, Regelung und Steuerung). Gemeinsame Arbeitsgruppen mit den beteiligten Partner insbesondere der JARA (Jülich Aachen Research Alliance) haben sich konstituiert.

Programm EMR

Das Konstruktionsdesign für die Hochdrucksonde zum Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera im bioliq-Flugstromvergaser ist fertig gestellt. Die praktischen Tests verschiedener druckfester Leitungsdurchführungen für die Hochgeschwindigkeitskamera konnten erfolgreich abgeschlossen und in die Fertigung überführt werden.

Im Rahmen einer Analyse des Trocknungs- und des Mahlprozesses (Celitement) konnten die Abhängigkeiten der Parameter mit der Trocknungstemperatur und Mahldauer sowie der Druckfestigkeit festgestellt werden. Die Trocknungsversuche haben gezeigt, dass nur die Extrembereiche der Trocknungstemperaturen, also die sehr niedrigen oder sehr hohen Trocknungstemperaturen einen Einfluss auf die verschiedenen Qualitätsparameter haben. Einen deutlich größeren Einfluss hat die Mahldauer. Allgemein gilt mit zunehmender Mahldauer steigt die Produktqualität. Mit zunehmendem amorphem Anteil in der Probe steigt auch der Anteil hydraulisch aktiver Phasen und damit auch die Druckfestigkeit nach der Hydratationszeit von 28 Tagen. Auch die Berechnung der Kalibriermodelle konnte für die meisten Qualitätsparameter mit einem guten Ergebnis erreicht werden.

Bei BRENDA wurden Messungen mit der High-Speed-Kamera bei Versuchen zur Pulsation eines Multi-Fuel-Brenners durchgeführt, die Ersatzbrennstoffpartikel vom restlichen Bild segmentiert und die zeitlichen Bahnen der einzelnen Partikel zur Validierung der numerischen Simulation für das Institut für Technische Chemie (ITC) generiert.

Im Rahmen des KIC Innovation Projects “Camera-based optimization of multi-fuel burners” wurden zwei mehrwöchige Messkampagnen bei einer Zementanlage in Wössingen durchgeführt. Dabei wurden Aufnahmen eines Mehrstoffbrenners mit unterschiedlichen Kameratechnologien und Brennereinstellungen durchgeführt. Anhand dieser Aufnahmen konnten Verfahren zur Bildverbesserung, Beurteilung der Bildgüte und

Bildauswertung hinsichtlich des Verbrennungs- und Flugverhaltens entwickelt werden. Ein zentraler Punkt stellte dabei die Schätzung der Flugbahn des alternativen Brennstoffes dar.

Das im Projekt HySeP entwickelte Programm SimSens ermöglicht in den betrachteten Applikationen und für verschiedene 4-fach-Sensor-Arrays eine gute Stoffidentifikation und eine sehr gute Konzentrationsbestimmung für die einzelnen Proben mit relativen Fehlern kleiner als 5%. In i.Bridge wurde zur Erkennung von auswertbaren Anregungen der Brücke ein Verfahren entwickelt, das kontinuierlich Sensordaten auf Störungsfreiheit untersucht. Zudem wurden erste Untersuchungen an neuronalen Netzen durchgeführt. Mit dem Kalibrier- und Auswertverfahren ProSens2.0 gelang es im Projekt AGaMon, sowohl das Zwei-Stoff-Gemisch Ethanol-H₂ als auch das Zwei-Stoff-Gemisch Ethanol-Aceton zu analysieren. In beiden Untersuchungen konnte eine gute Stoffidentifikation erzielt werden. Für das binäre Ethano-H₂-Gemisch konnten für beide Komponenten gute Konzentrationsbestimmungen erzielt werden. Beim Ethanol-Aceton-Gemisch konnten nur für den Zielstoff Ethanol gute Analyseergebnisse erzielt werden. Mit dem Kalibrier- und Auswertverfahren ProSens3.0 gelang es, ein ternäres Ethanol-H₂-Aceton erfolgreich zu analysieren.

Für das Querschnittsthema sichere Software bei Energy Lab 2.0 wurden die relevanten Themengebiete analysiert und mit der Entwicklung einer sicheren Plattform für den Einsatz im Energy Lab 2.0 auf Basis eines Ada-Laufzeitsystems begonnen.

Programm EE

Die Videoinspektionssonde GeoKam ist die erste Geothermie-Bohrlochsonde, bei deren Aufbau Konzepte und Komponenten der ZWERG-Systemplattform für Bohrlochtools Anwendung fanden. Dafür wurde ein Gehäuse aus der Superlegierung Inconel 718 gefertigt. Die bei der Beschaffung dieses Materials aufgetretenen Schwierigkeiten untermauern den Nutzen des Baukastensystems. Die Magnesiumspinell-Fenster im Kameragehäuse der GeoKam blieben zwar bei Druckversuchen im neuen Autoklaven dicht, sind aber in ihrer Struktur zerstört. Das zeigt den Nutzen des Autoklaven (600 bar, 200°C, Innendurchmesser 250 mm, Innenlänge 2500 mm), der eine gefahrlose Erprobung der Sonden unter Bohrlochbedingungen im Labor ermöglicht. Die nächste Sonde wird ein Wasserprobensammler sein, dessen Konzept eine Hydraulikeinheit beinhaltet, die ein weiterer wiederverwendbarere ZWERG-Baustein sein wird.

Das IAI beteiligt sich mit einem modernen Leitsystem an der Automatisierung der Pilotanlage bioliq® zur Kraftstoffsynthese aus Restbiomasse. Im Bereich der Prozessautomation bringt das IAI seine Kompetenzen in den Phasen Planung, Projektierung, Erstellung, Inbetriebnahme, Forschungsbetrieb und Weiterentwicklung ein. 2015 lagen die Schwerpunkte der Aktivitäten in der Automatisierung der letzten Ausbaustufe des Tanklagers für flüssige Einsatzstoffe und in der Vorbereitung und der Durchführung von Versuchsprogrammen für die Pyrolyseanlage und den Hochdruckvergaser. Außerdem wurden die Arbeiten zur modellgestützten Regelung und Prozesssimulation fortgeführt.

Programm TIG

Ziel der FuE-Arbeiten zum Thema „IT-Komponenten für die Energiewende“ ist die Konzeption und Bereitstellung von Informationssystem-Komponenten als Planungs- und Visualisierungsinstrumente zur Steuerung innovativer Smart-Grid-Lösungen oder als Grundlage für die Information von Bürgern über Fragen zur Energiewende. Als konzeptionelle Grundlage für den modularen Komponentenbaukasten wurden 2015 eine erste Version einer modularen IT-Systemarchitektur mit bereits verfügbaren Basisdiensten sowie erste ausgewählte generische Anwendungskomponenten (Visualisierungskomponenten, Services zum Management von Messdaten) entwickelt. Die IT-Architektur basiert auf Microservices sowie auf Konzepten zur Automatisierung des Betriebs von Rechnerclustern (Containervirtualisierung). IT-Architekturkonzepte und Komponenten wurden dann in Projekten, wie dem Energieatlas oder dem Umweltportal Baden-Württembergs, erprobt.

Zur Berechnung bzw. Abschätzung des thermischen Verhaltens von Gebäuden auf unterschiedlichen Ebenen (Stadt, Quartier und Einzelgebäude) wurde eine entsprechende Simulationskomponente in die am IAI entwickelte Software IFCEXplorer integriert und mit ersten, einfachen Beispielen verifiziert. Die Basis für diese Berechnungen bilden standardisierte, semantische Datenmodelle, die in den Bereichen Building Information Modeling und Geographische Informationssysteme bereits eingeführt sind.

Die Integration von Wärme- und Kältespeichern auf Gebäude- oder Siedlungsebene in dezentrale Stromnetze per Laststeuerung (Demand-Side-Management, DSM) wurde untersucht. Dazu wurde eine methodische Literaturrecherche durchgeführt. Als thermische Speicher fungieren neben Wasser- oder Eistanks die Gebäudemassen selbst. Ziel einer DSM-Integration ist es, die Stromnachfrage dem fluktuierenden Angebot (an Wind- und Solarstrom) anzupassen, indem die thermische Trägheit der Speicher ausgenutzt wird.

Im EU-Projekt STREAMER wurde eine Applikation (Early Design Configurator) entwickelt, die auf Basis eines Raumbuchs und der Gebäudehülle Rauml原因-Alternativen erzeugt. Diese Alternativen werden analysiert, anhand von Key Performance Indicators bewertet und ggf. in weiteren Designschritten detailliert.

Im Projekt WISA (Wissenschaftliches Informationssystem für die Atmosphärenforschung) wurde zur Evaluierung und Optimierung der vorhandenen Algorithmen zur Weiterverarbeitung der anfallenden Mess- und Ergebnisdaten des flugzeug- und ballongestützten Infrarot-Messsystems GLORIA-AB (Gimballed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere – Air Borne Version) ein Visualisierungswerkzeug zur Darstellung und Analyse der vorverarbeiteten Messdaten entwickelt. Die Messdaten bestehen aus Interferogrammen oder Spektren in einer vorgegebenen quaderähnlichen Anordnung, wobei jedes Interferogramm bzw. Spektrum eine Position des im GLORIA-System verwendeten Detektorfelds repräsentiert. Das hochinteraktive Visualisierungssystem unterstützt den Wissenschaftler dabei, originale und vorverarbeitete Messdaten zu evaluieren. Hierzu können verschiedene Ansichten auf die Daten (Views und Schnitte) sowie Navigations- und Analysewerkzeuge eingesetzt werden, welche die ausgewählten Daten in Echtzeit darstellen und aktualisieren.

Programm BIFTM

Am IAI werden im Rahmen des Imaging Hubs und des Screening Hubs zahlreiche neue Technologien zur automatisierten Durchführung und Analyse von Hochdurchsatzexperimenten entwickelt. Beispiele hierfür sind ein Screen mit Zebrabärblingsembryonen (Wirkung von 1120 Substanzen auf das Immunsystem), die Analyse von Photomotor Response Screens und verbesserte Datenanalyse für Lichtscheibenmikroskopiedaten, um bereits in frühen Stadien der Embryonalentwicklung entwicklungsbiologische Unterschiede zu erkennen. Außerdem wurden 2015 zwei neue DFG-Projekte eingeworben, u.a. zur 3D+t Terabyte Bildanalyse (assoziiert zu DFG-Schwerpunktprogramm 1736 „Algorithms for Big Data“). Weiterhin werden Kooperationspartner bei der Analyse antibakterieller Peptide sowie in der Tumordiagnostik unterstützt.

Programm STN

Der Fokus der Arbeiten im Schwerpunkt „Systemintegration: Modellbildung, Simulation“ liegt auf der Konzeption und Umsetzung einer optischen Modellierungsumgebung, welche eine durchgängige und realitätsnahe Simulation nicht nur der optischen Funktionalität, sondern der Gesamtheit des optischen Subsystems ermöglicht. In diesem Kontext findet eine Weiterentwicklung der Anwendbarkeit auf mehrlagige gedruckte optische Systeme statt. Im laufenden Jahr wurde hierfür im ersten Schritt die Anpassung und Anwendung der Umgebung auf mehrlagige laminierte Subsysteme durchgeführt, mit Hinblick auf Wechselwirkungen zwischen Technologien, zum Einsatz kommenden Materialien und der Entwurfsauslegung. Diese Untersuchungen wurden anhand eines LED-Anwendungsdemonstrators durchgeführt.

Im Schwerpunkt „Systemintegration: Optimierung, Interfaces und Entscheidungsunterstützungssysteme“ konnte im Jahr 2015 der Aufbau einer komplexen Fertigungszelle und die Demonstration einer Prozesskette zur Fertigung laminiertes Folienstacks weitestgehend projektiert und realisiert werden. Weiterhin konnte hier die bereits bestehende MinaBASE-Datenbank um Module zur Überarbeitung von CAD-Daten sowie der Evaluierung der Herstellbarkeit mittels zur Verfügung stehender Prozess- und Fertigungsparameter erweitert werden. Es wurde damit begonnen, die Materialentwicklung von mit Nanopartikeln gefüllten Werkstoffen auf den Weg zu bringen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf keramisch gefüllten Werkstoffen. Flankiert werden diese Entwicklungen mit nanotoxikologischen und arbeitsplatz-sicherheitstechnisch relevanten Maßnahmen und Methodiken. Die internetbasierte Wissensdatenbank für Nanomaterialien und Anwendungen DaNa erreichte in 2015 erstmalig mehr als 100.000 Seitenaufrufe. Das Projekt entwickelt sich damit zur weltweit führenden wissenschaftlichen Onlineplattformen im Bereich der Nanotechnologien und konnte auch im Kontext der POF-Aktivitäten erfolgreich weiterentwickelt werden.

Die Arbeiten zur Systemintegration für gedruckte Materialien und Systeme (Schwerpunkt Systemintegration: System-, Prozess- und Geräteentwicklung) unterteilen sich in Verfahren zur Intralayer-Integration, d.h.

Integration von Bauteilen auf einem gedruckten Layer, und zur Interlayer-Integration, d.h. Integration zwischen funktionalen Layern.

Zur Intralayer-Integration wurde ein Layout für ein Multiproject-Sheet ausgearbeitet. Als Testschaltung wurde eine bistabile Kippstufe ausgewählt. Dieses Sheet soll zunächst mit konventionellen SMD-Bausteinen (surface-mount device) bestückt werden, die dann schrittweise von verschiedenen Drucktechnologiepartnern in anderen KIT-Instituten durch gedruckte Funktionselemente ersetzt werden sollen. Die Entwicklung von Druckprozessen und -systemen für die Intralayer-Integration konzentrierte sich einerseits auf die Integration eines modifizierten Piezo-Einzeldüsendruckkopfes in die Handhabungsplattform Namose und auf die Entwicklung eines Extrusionsdruckverfahrens für hohe Strukturauflösungen. Mit diesem Verfahren konnten mit hochviskosen Tinten feine Leiterbahnstrukturen und 3D-Brückenstrukturen gedruckt werden. Weiterhin wurden Versuchsstände zur Vierpunktmessung gedruckter Leiterbahnen und zur Vermessung der Tintenspreitung auf einem Substrat entwickelt und aufgebaut.

Für die Interlayer-Integration wurde das Laser-Schweißen von Folienlagen näher untersucht und im EU-Projekt SMARTLAM gemeinsam mit dem Institut für Angewandte Materialien, Teil-Institut für Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP) als Anlage zum automatisierten Justieren und Laser-Schweißen von Folienlagen realisiert. Die IAI-Aktivitäten lagen dabei schwerpunktmäßig auf der Entwicklung des Systemkonzepts, dem Folienhandling, der Entwicklung der Steuerungssoftware und der hard- und softwaretechnischen Integration des Gesamtsystems. Weiterhin wurden erste Konzepte zum Aufbau von flüssigkristallbasierten Lichtmanagementstrukturen mittels Drucktechniken entwickelt.

Im Rahmen der Aktivitäten zur Handhabung von flächigen Polymerstrukturen mit sub- μm Dicke für die Correlative Array Tomography wurde die Vorrichtung zur Substrathandhabung weiterentwickelt und für die reproduzierbare Herstellung von ca. 2500 Ultramikrotomschnitten mit 100 nm Dicke für die 3D-Rekonstruktion von Zebrafischimmunzellen eingesetzt. Zur Handhabung von einzelnen auf der Wasseroberfläche schwimmenden Schnitten bzw. von Schnittbändern wurden Machbarkeitsstudien durchgeführt und ein Lösungskatalog erstellt. Diese Arbeiten flossen im Jahr 2015 in die HEiKA-Kooperation mit der Gruppe Prof. Schröder CellNetworks/BioQuant Universität Heidelberg ein.

Im Jahr 2015 wurde das ZIM-Projekt (BMW) „Innovative metallurgische Pulvermaterialaufbereitungsanlage für Selective Laser Melting“ (Optimat) eingeworben, dessen Ziel es ist, Pulveraufbereitungsanlage für das Selective Laser Melting hochbelasteter Bauteile zu realisieren.

Im Rahmen des vom BMW geförderten ZIM-Projektes „Selbstlernende Supportsysteme“ (SELESUP) wurden für strukturierte Massendaten, wie sie insbesondere bei technischen Prozessen anfallen, entsprechende Ontologien in einer Wissensbasis generiert.

Im Bereich „X-Ray-Optics“ wurde am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) eine Plattform zur teil-/automatisierten Montage großflächiger Röntgengitter aufgebaut und in den Probebetrieb genommen. Der Schwerpunkt der Arbeiten im IAI im Berichtszeitraum lag zum einen bei der Erstellung von Softwaremodulen zur lateralen Positionsdetektion der Einzelkacheln auf Basis des Bildverarbeitungssystems DIPLOM, zum anderen bei der Realisierung von Teilmodulen der Plattform: z.B. Greiferansteuerung; angepasstes, steuerbares Beleuchtungsmodul. Die Herstellung erster Röntgengittermodule mit vier Einzelkacheln (100 mm*100 mm) konnte am IMT gezeigt werden.

Die Realisierung der Prozesskette zur Herstellung Photonischer Wirebonds in Stückzahlen ist ein Ziel der Arbeiten in der POF. Das im Vorjahr aufgebaute System zur hochpräzisen Dosierung von Fluiden auf Basis eines 6-Achs-Positioniersystems wurde optimiert. Zur Reduktion von optischen Verlusten und als mechanischer Schutz müssen die photonischen Wirebonds überschichtet werden. Dafür wurden Dosierprozesse entwickelt. Für eine zukünftige Verkettung des Schreibens Photonischer Wirebonds in einer Fertigungslinie wurde ein erstes Maschinenkonzept als 3D-Modell erstellt und hinsichtlich der Randbedingungen im Produktionsumfeld mit ANSYS schwingungstechnisch optimiert.

In dem Schwerpunkt „Systemintegration – Optische Inspektion und digitale Bildverarbeitung“ wurden für eine erste grundlegende Untersuchung zur optischen Messung der Stegbreiten bei Röntgengitterstrukturen optische Aufnahmen mit vorliegenden Rasterelektronenmikroskop (REM)-Aufnahmen verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass die optischen Aufnahmen systematisch um ca. 8% kleinere Werte liefern. Durch eine Verringerung der Bildgröße um Faktor 4 konnte die Rechenzeit zur paarweisen Bildregistrierung um ca. 72% reduziert werden; die Qualität der daraus berechneten Mosaikbilder hat sich dabei nur unwesentlich verschlechtert. Ferner wurde zur Klassifikation von Registrierergebnissen ein Verfahren entwickelt, das die

paarweisen Registrierungen mit den berechneten Positionen der Einzelbilder im Mosaikbild vergleicht; damit können nun Fehlregistrierungen zuverlässig erkannt werden. Zur Prüfung der Planarität von Folien für gedruckte Materialien und Systeme wurden unterschiedliche Verfahren untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass die Deflektometrie (Analyse von Spiegelbildern mit bekanntem Muster) für diese Aufgabe geeignet ist und selbst kleine lokale Folienwölbungen zu einer erkennbaren geometrischen Verzerrung im Kamerabild führen.

Programm SBD

Das DLCL Energy entwickelt Lösungen für ein Workflow- und Datenmanagementsystem für Energiedaten mit Hauptanwendungen aus dem EnergyLab 2.0. 2015 führte die Gruppe Anforderungsanalysen bei den Beteiligten im Energy Lab 2.0 durch. Wesentlich wird das Management von Zeitreihen aus Messungen und Simulationsläufen, begleitender Dokumente und der zugehörigen Metadaten sein.

Die konzipierten und teilweise entwickelten Generischen Daten Services (GDS) werden als Bestandteil in das Control Monitoring and Visualization Center (CMVC) des Energy Lab 2.0 integriert. Die Daten eines Semantischen Modells der Energienetze (Common Information Model (CIM) als Basis beim Stromnetz) sind als Technische Metadaten zentraler Bestandteil des Data Access Layers im Konzept für die CMVC-Architektur.

FORSCHUNGSERGEBNISSE IM JAHR 2015

Programm SCI: Storage and Cross-linked Infrastructures

Networks and Storage Integration

Energiesystem-Modellierung, -Simulation und -Analyse

Ziel dieser Arbeiten ist die Entwicklung von IT-Methoden für die Modellierung, Simulation und Analyse von Energie-Verbundsystemen mit dem Schwerpunkt Stromnetze.

Im Arbeitsschwerpunkt „Netzmodellierung“ wurden als Basis für weitere Arbeiten in den Projekten EnergyLab 2.0 und ES2050, sowie für IAI-interne Forschungsthemen innerhalb der POF, umfangreiche Arbeiten zur deutschlandweiten, topologischen Modellierung des Drehstromverbundnetzes durchgeführt. Dazu wurden Umspannanlagen, Stromtrassen/-kreise und Erdkabel ab der Hochspannungsebene (110 kV Hochspannung (HS) bis 380 kV Höchstspannung (HöS), 450 kV Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)) systematisch erfasst und als geographisches Datenmodell realisiert (Abb. 1). Die Visualisierung erfolgt hier in *Google-Earth* (GE). Der gesamte Raum Baden-Württemberg ist stromkreisgenau ab der 110kV-Ebene abgebildet (Freileitungen und Erdkabel) (Abb. 2). Für den Bereich des KIT-Campus Nord (KIT-CN) wurde auch die Mittelspannungs-Netzebene (20 kV), gemeinsam mit dem 3D-Gebäudemodell (AG Häfele) stromkreis- und lagegenau realisiert (Abb. 3).

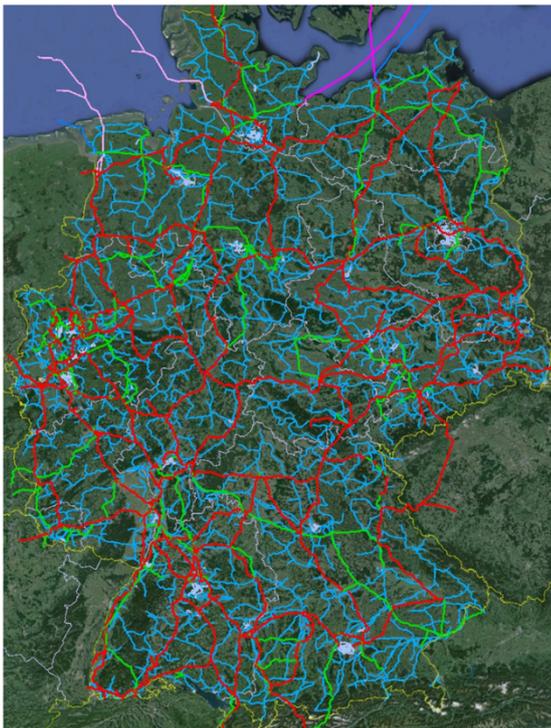


Abb. 1: Stromnetz Deutschland: Hier dargestellt sind die HöS- und HS-Leitungen, einschließlich HS-Erdkabel

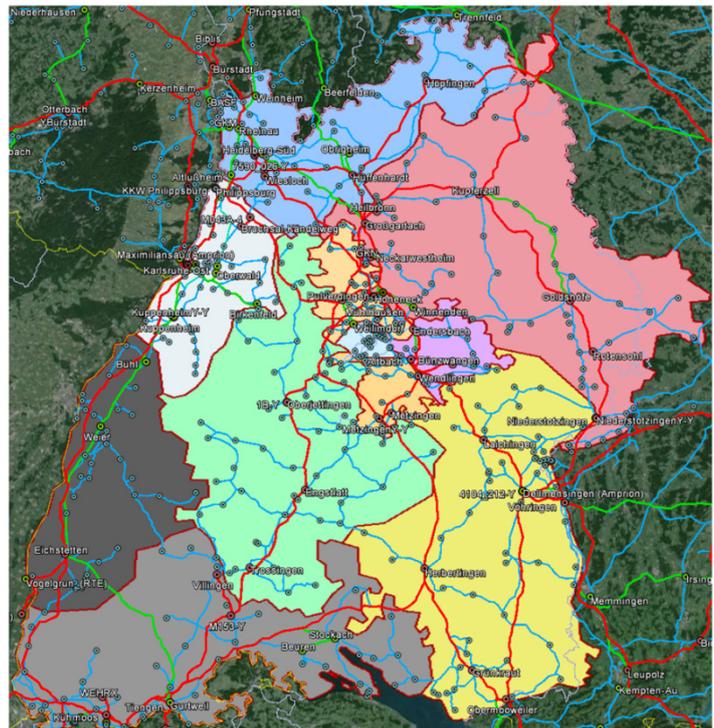


Abb. 2: 50Hz-Drehstromnetz Baden-Württemberg ab HS-Ebene, farblich unterlegte Darstellung der 110kV-Netzgruppen

Als Datenbasis für die Modellierung wurden Open Street Map (OSM) Daten, Schema- und Netzgruppenpläne und andere Veröffentlichungen der Stromnetzbetreiber, sowie Regio- und Flächennutzungspläne der Bundesländer und Kommunen verwendet. Dies wurde ergänzt durch Luftbilddaten zur manuellen Nachbearbeitung der Modelltopologie (Trassenführung, Netzverbindungen). Wertvolle Hinweise und Netzschema-pläne wurden dazu von den Firmen Transnet-BW, Netze-BW und Stadtwerke Karlsruhe, sowie dem Projekt AMPA-City (40 MVA Supraleiter-Teststrecke in Essen) bereitgestellt. Hinzu kommen noch die Anlagenregis-

ter der Bundesnetzagentur (Kraftwerksliste, EE-Anlagen). Die Zusammenarbeit mit den Stromnetzbetreibern und Industriefirmen wurden darüber hinaus in der Arbeitsgruppe Netze in *SmartGrid BW* weiter vertieft.

Die erzeugten Netztopologien werden zukünftig als „Benchmark“-Modelle (KIT-CN, Raum-Karlsruhe, Stadt-Essen) im Teilprojekt „Netze“ des ES2050-Forschungsverbundes HGF-weit eingesetzt. Die geographisch genaue Modellierung der 110kV-Einspeisestationen erlaubt – in Kombination mit PLZ-genauen Tabellen der Bevölkerung und dem EE-Anlagenregister (Wind, PV) mit derzeit rund 1.5 Mio. Einzelanlagen (2015) – die Netzsimulation (Lastfluss, Auslastung der Betriebsmittel) unter Verwendung von standardisierten Lastkurven in Kombination mit wetterabhängigen Einspeiseszenarien, unter Berücksichtigung der hoch fluktuativen Erzeugerlandschaft mit den Randbedingungen der Energiewende.



Abb. 3: 20kV-Stromnetz des KIT-Campus Nord in Google Earth (3D-Gebäude: AG Häfele)

Ein Ansatz zur automatisierten Erstellung von Simulationsmodellen aus frei verfügbaren Open Street Map Daten (OSM) wurde im Arbeitsschwerpunkt „Modellierwerkzeuge und Netzsimulation“ untersucht. Hierfür wurden Analyse- und Optimierungsalgorithmen entwickelt, die eine mittlere Datenreduktion um den Faktor 4,24 und eine einheitliche Datenformatierung der extrahierten Stromnetzdaten erlaubt. In Abb. 4 ist die Optimierung anhand der Reduktion des Fragmentierungsgrads der farblich kodierten Leitungssegmente zu erkennen (links: Originaldaten, rechts: optimierte Leitungsdaten). Unzureichende Informationen zu Generatordaten im OSM-Datensatz wurden durch Datenintegration aus weiteren Datenquellen (z.B. Bundesnetzagentur, BNA) ergänzt. Eine neu entwickelte Methode zur Approximation dynamischer Lastdaten für beliebige Regionen und Zeiträume nutzt eine sogenannte Voronoi-Geo-Partitionierung kombiniert mit statistischen Daten zur Bevölkerungsverteilung und standardisierte Stromverbrauchsprofile mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten. Entsprechende MATLAB-Softwaremodule ermöglichen die Erstellung eines quasi-statischen Simulationsmodells mit variablen Lastgängen. Exemplarisch wurde der neue Ansatz für die Lastfluss-Analyse in Baden-Württemberg durchgeführt. Da OSM-Daten, aus einem sogenannten *Crowd-Sourcing*-Projekt stammend, keine flächendeckende Datenbasis mit gleichbleibender hoher Qualität bieten und Teile des Stromnetzes wie etwa Erdkabel in der 110kV-Spannungsebene und tiefer nicht erfasst werden können, bedarf dieser Ansatz stets einer manuellen Überarbeitung.

Für die Modellierung (ePowMod) und die web-basierte Datenverwaltung und -visualisierung (ePowVis) der Simulationsmodelle wurden neue Softwaremodule als neue Teile des eASiMOV-Frameworks (**e**lectrical grid **A**nalysis, **S**imulation, **M**odeling, **O**ptimization and **V**isualization) initiiert. Mit dem Software-Modul ePowSim wurde für die quasi-statische Lastfluss-Berechnung - basierend auf der MatPower-Toolbox - eine GPU-basierte Implementierung realisiert. Hierzu wurde eine modulare Software-Architektur mit C++ entwickelt, die beliebig erweiterbare Module für textbasierte Datenformate für Ein- und Ausgabe und sogenannte *Engines* für numerische Algorithmen zur Lösung von linearen Gleichungssystemen und Lastflussalgorithmen bietet. Abb. 5 zeigt die bisher implementierten Softwaremodule. MatPower wird als Eingabedatenformat unterstützt.

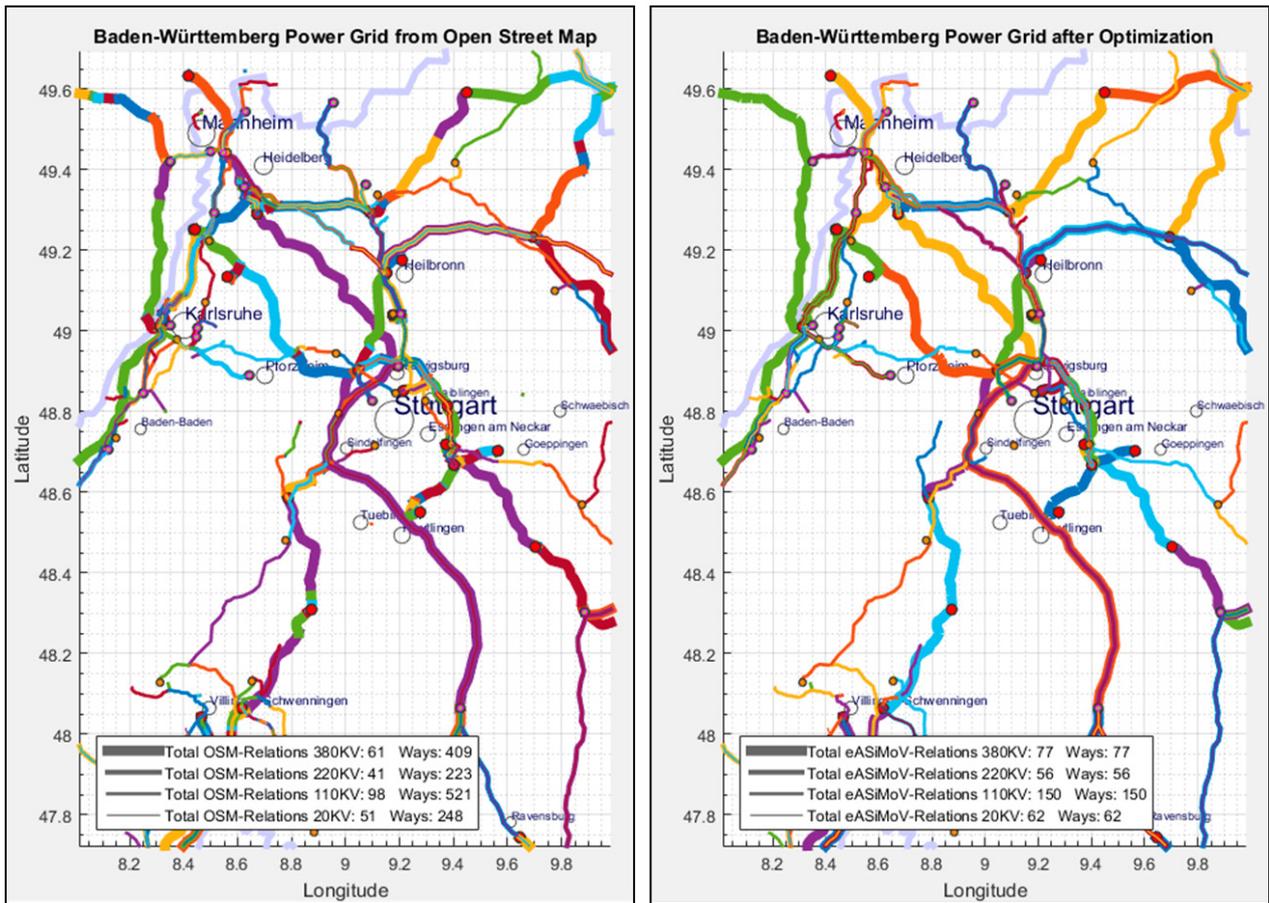


Abb. 4: Datenreduktion und -optimierung der Stromleitungen im Open Street Map-Datensatz

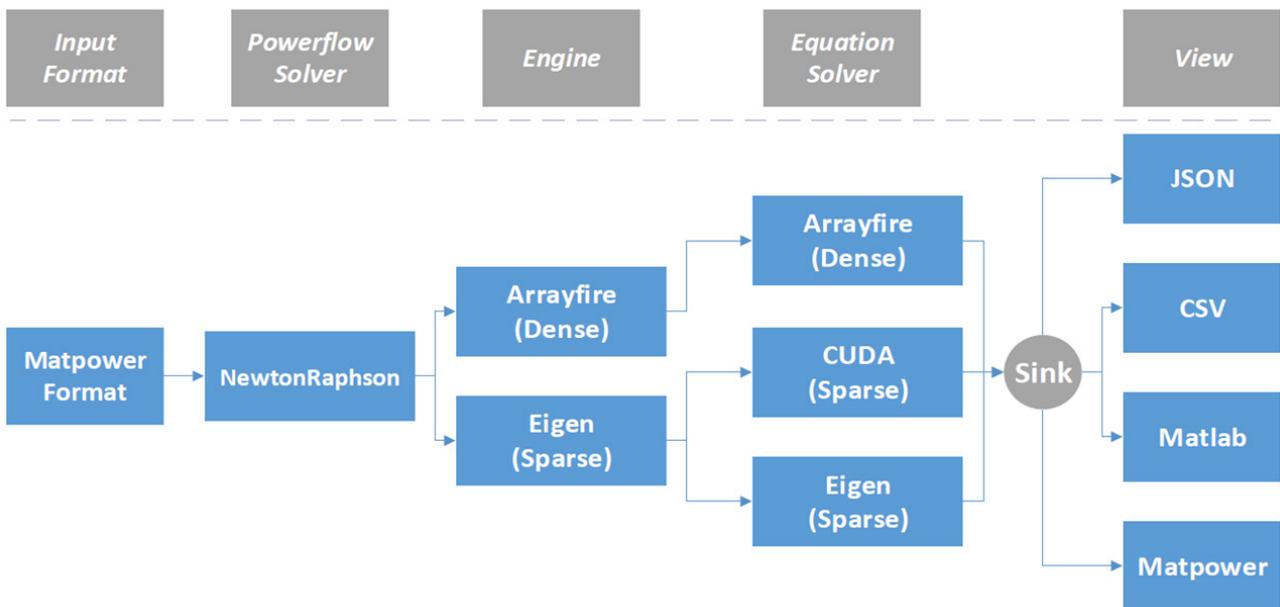


Abb. 5: Realisierte Softwaremodule in ePowSim für die GPU-basierte Lastfluss-Simulation

Für die Lastflussberechnung stehen CPU- und GPU-basierte Implementierungen des Newton-Raphson-Verfahrens mit den Engine-Bibliotheken *Arrayfire* für dicht besetzte Matrizen (*dense*) und *Eigen* für dünn besetzte Matrizen (*sparse*) zur Verfügung. Die Lösung der linearen Gleichungssysteme kann mit *Arrayfire*, *CUDA* und *Eigen* mittels QR- und LU-Zerlegungen erfolgen. Eine Beschleunigung um den Faktor 4,84 wurde durch den Einsatz der GPU für die Lastflussberechnung eines Modells mit 9.241 Knoten erreicht. Hierfür

wurden Sparse-Matrizen und eine QR-Zerlegung mit *CUDA* eingesetzt. Gegenüber einer rein CPU-basierten Implementierung mit der *Eigen*-Engine wurde eine Beschleunigung um den Faktor 11,5 erreicht.

In Zusammenarbeit mit dem Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, wurde ein quasi-statisches Simulationsmodell des ungarischen Übertragungsnetzes in Powerfactory erstellt und Lastfluss-Simulationen für unterschiedliche Lastfälle durchgeführt.

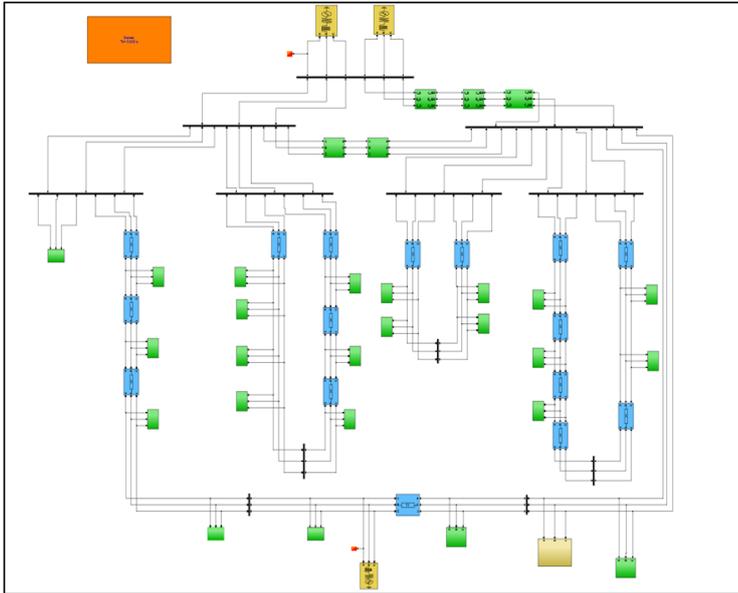


Abb. 6: Simulationsmodell des KIT-CN Stromnetzes auf 20kV-Ebene in Simulink/SimPowerSystems

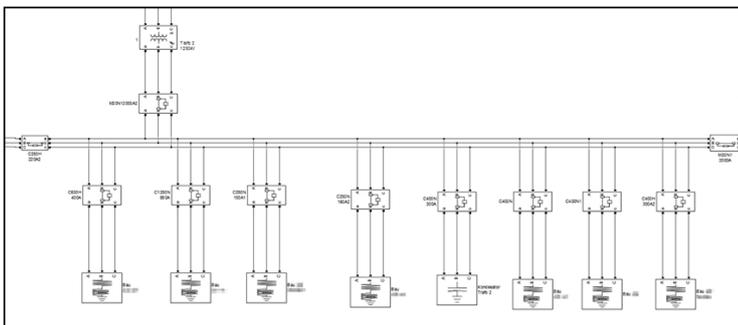


Abb. 7: Ausschnitt eines Stationsmodells mit hohem Detaillierungsgrad im KIT-CN Stromnetzmodell

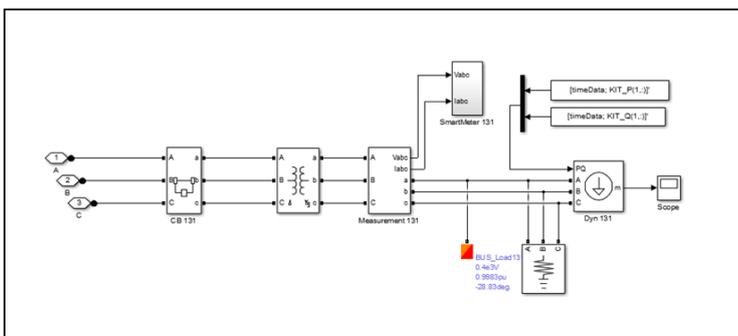


Abb. 8: Dynamisches Lastmodell einer Station für aggregierte Smartmeter-Daten als Zeitreihen

Alle in Papierform verfügbaren Stromlaufpläne des KIT-CN wurden mit XML umgesetzt und können als Grundlage für eine automatisierte Modellkonvertierung für diverse Simulationssoftware dienen. Konkret wurde ein Basis-Simulationsmodell des KIT-CN in Simulink/ SimPowerSystems erstellt, die eine dynamische Stromnetz-Simulation ermöglicht. Variationen des Basismodells umfassen Kombinationen von statischen und dynamischen Lastdatenmodellen sowie unterschiedliche Detaillierungsgrade, insbesondere der einzelnen Stationen.

Insgesamt wurden sechs Szenarien mit verschiedenen Störfällen simuliert. In Abb. 3 ist das 20kV-Stromnetz des KIT-CN in Google Earth dargestellt. Das äquivalente Simulationsmodell für Simulink / SimPowerSystems ist in Abb. 6 dargestellt. Abb. 7 zeigt einen Teil einer Station mit den Zuleitungen zu den einzelnen Gebäuden. Smartmeter-Daten des KIT-CN wurden entsprechend der Netztopologie für einen bestimmten Zeitraum aggregiert und als Modellparameter (Zeitreihen) für die Simulation zur Verfügung gestellt. Abb. 8 zeigt das Teilmodell für die Einspeisung von zeitvariablen, aggregierten Lastdaten für eine Station.

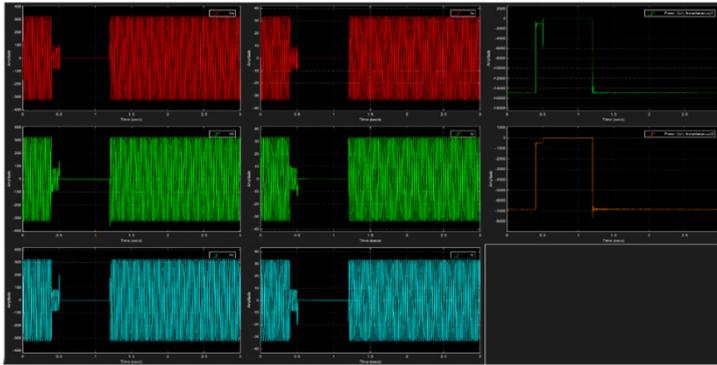


Abb. 9: Simulation eines Störfalls: 3-Phasen Spannungen, 3-Phasen Ströme sowie Wirk- und Blindleistungen P,Q an einer Station (spaltenweise, v.l.n.r.)

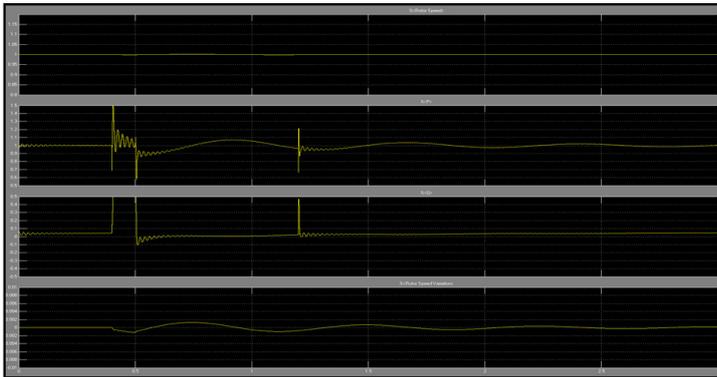


Abb. 10: Simulation des Verhaltens des BHKW-Modells auf einen Störfall und auf Schaltvorgänge

Das entwickelte Simulationsmodell in Simulink / SimPowerSystems kann voll dynamisch berechnet werden. Abb. 9 zeigt spaltenweise, v.l.n.r. die Dreiphasen-Spannungen, -Ströme sowie die Wirk- und Blindleistung an einer Station für eine Simulationsdauer von 3 Sekunden. Hierbei wird nach einem Störfall ($dt = [0.4s \ 1.0s]$) der entsprechende Abschnitt der Station bei $dt=0.5s$ vom Netz getrennt und nach Fehlerbehebung ($dt=1.2s$) reaktiviert. Danach befindet sich das simulierte KIT-CN-Stromnetz wieder im Normalbetrieb. Das Verhalten des Blockheizkraftwerks (BHKW) auf den Störfall und auf die Schaltvorgänge ist in Abb.10 gut zu erkennen. Mit dem entwickelten Simulationsmodell können transiente Effekte realistisch nachgebildet werden, Abb. 9 zeigt einen 3-phasigen Kurzschluss.

Im Arbeitsschwerpunkt „Messung, Datenarchivierung und Modellverifikation“ wurde die hochfrequente, synchrone Messwerterfassung im elektrischen Verteilnetz durch drei zusätzliche E.DR (Electrical Data Recorder) erweitert. Dabei sind zwei der Geräte auch für die hochfrequente Messung des Stromverlaufs mit Rogowskispulen im Einsatz. Diese messen den Strom mit einer Rate von 12,8 kHz synchron zum Spannungsverlauf und können daher zur Leistungsmessung verwendet werden. Für Rogowskispulen ohne Vorschaltgerät wurde eigens eine Auswerteschaltung entwickelt und gebaut.

Ein E.DR mit Strommessung befindet sich am Hauptanschlusspunkt des IAI-Gebäudes 445 und erfasst dort den kumulierten Energiefluss. Der zweite E.DR mit Strommessung wurde direkt an den Niederspannungsabgang des Transformators installiert, der u.a. auch das IAI-Gebäude 449 versorgt.

Für eine Untersuchung der Ausbreitung von Oberschwingungen wurden zeitweise bis zu vier weitere E.DR mit synchroner Spannungsmessung in das Subnetz im IAI integriert. Insgesamt waren bis zu 7 E.DR gleichzeitig im Einsatz. Seit 2012 bis Jahresende 2015 wurden rund 44 Terabyte Kurvenverlaufdaten und Kennwerte erhoben und in der LSDF (Large Scale Data Facility) des KIT gespeichert.

Die zentrale Software zur Steuerung und zum Monitoring der Messungen „EDR_Broker“ wurde deutlich verbessert und mit erweiterten Funktionen zur Datenbereitstellung ausgestattet. Beispielsweise kann für Netzdiagnosezwecke eine sekundlich auffrischende Zustandsgrafik der Messstelle im PNG-Format erzeugt werden (s. Abb. 11). Darin werden unterschiedliche Informationen aus den Messungen komprimiert farblich dargestellt. Die Phasoren der einzelnen Kanäle werden als Zeiger in einem Koordinatensystem gezeigt (L1: rot, L2: gelb, L3: blau). Dabei werden die Ergebnisse der letzten Minute als Zeigerspur dargestellt (Kreis-segmente in Abb. 11). Die Frequenz wird als grüne Kurve über die x-Achse als Zeitachse gezeigt. Um den aktuellen Wert (bei $x = 0$) wird ein grüner Rahmen dargestellt, der die Standardabweichung der Frequenzmessung repräsentiert. Ein grüner Zeiger entspricht der Frequenzänderung ROCOF (Rate Of Change Of Frequency), Im rechten, oberen Quadranten werden ausgewählte Frequenzanteile angezeigt: THD (Total Harmonic Distortion) und ungerade Oberschwingungen. Im linken oberen Quadranten werden die Phasen-

verschiebungen zwischen Strom und Spannung und zwischen den Spannungen in einem Zeigerdiagramm visualisiert.

Zudem wurde die Möglichkeit geschaffen, sekundlich eine aktuelle Zustandsgrafik der Raumphasoren (Space phasor) von den E.DR als Grafik zu exportieren (s. Abb. 12). Durch die Bereitstellung der Grafiken über einen Webserver wurde eine Möglichkeit zur visuellen Überwachung des gemessenen Netzzustandes geschaffen, ohne einzelne Messwerte übertragen zu müssen.



Abb. 11: Kennwertvisualisierung als Zustandsgrafik

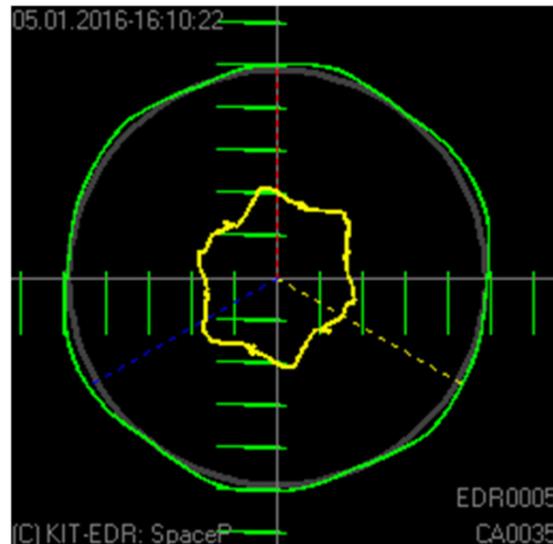


Abb. 12: Raumphasoren als Zustandsgrafik

Im Rahmen einer Dissertation im Arbeitsschwerpunkt „Datenvisualisierung und -analyse“ wurden weitere Methoden der skalierbaren Zeitreihenanalyse untersucht, implementiert und getestet. Darauf aufbauend wurden Verfahren weiterentwickelt, die eine interaktive explorative Visualisierung und Navigation, Ähnlichkeits- und Mustersuchen, sowie strukturelle und formbasierte Analysen in großen verteilten Zeitreihendatenbanken erlauben. Die Methoden wurden auf die E.DR Zeitreihendaten angewendet.

Energy Lab 2.0 und ES2050

Das IAI ist an zwei Projekten zum Thema zukünftige Energiesysteme beteiligt, die wegen des Umfangs programm- und arbeitsgruppenübergreifend koordiniert und bearbeitet werden. Im Rahmen von „Energy Lab 2.0“, einem Programm zur Untersuchung der Wechselwirkungen verschiedener Komponenten zukünftiger Energiesysteme, ist das IAI für die Konzeption und den Aufbau des „Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC)“ zuständig und wird damit wissenschaftliche Fragestellungen zu solchen zukünftigen Energiesystemen bearbeiten. In SEnSSiCC sind die IT-technischen Arbeiten und Forschungsaspekte des Energy Lab 2.0 gebündelt. SEnSSiCC besteht aus drei Kernkomponenten, dem Smart Energy System Control Laboratory (Smart Grid Lab), dem Energy Grids Simulation and Analysis Laboratory und dem Control, Monitoring and Visualization Center (CMVC). Das Smart Grid Lab ist ein Experimentierfeld mit allen relevanten Systemkomponenten im kleineren Maßstab und einer extrem flexiblen Struktur, die an unterschiedliche Untersuchungsszenarien angepasst werden kann und als Bindeglied zwischen der Theorie und der großtechnischen Praxis dienen wird. Aufgabe des Energy Grids Simulation and Analysis Laboratory ist die Entwicklung von Softwarekomponenten zur Analyse, Simulation und Optimierung von Energienetzen und deren Einsatz und Validierung in Rahmen des Energy Lab 2.0. Das CMVC (s. Abb. 13) schließlich wird alle Teile des Energy Lab 2.0 in eine Forschungsinfrastruktur für die Modellierung, Überwachung, Visualisierung und Co-Simulation von Smart-Grid Konstellationen integrieren.

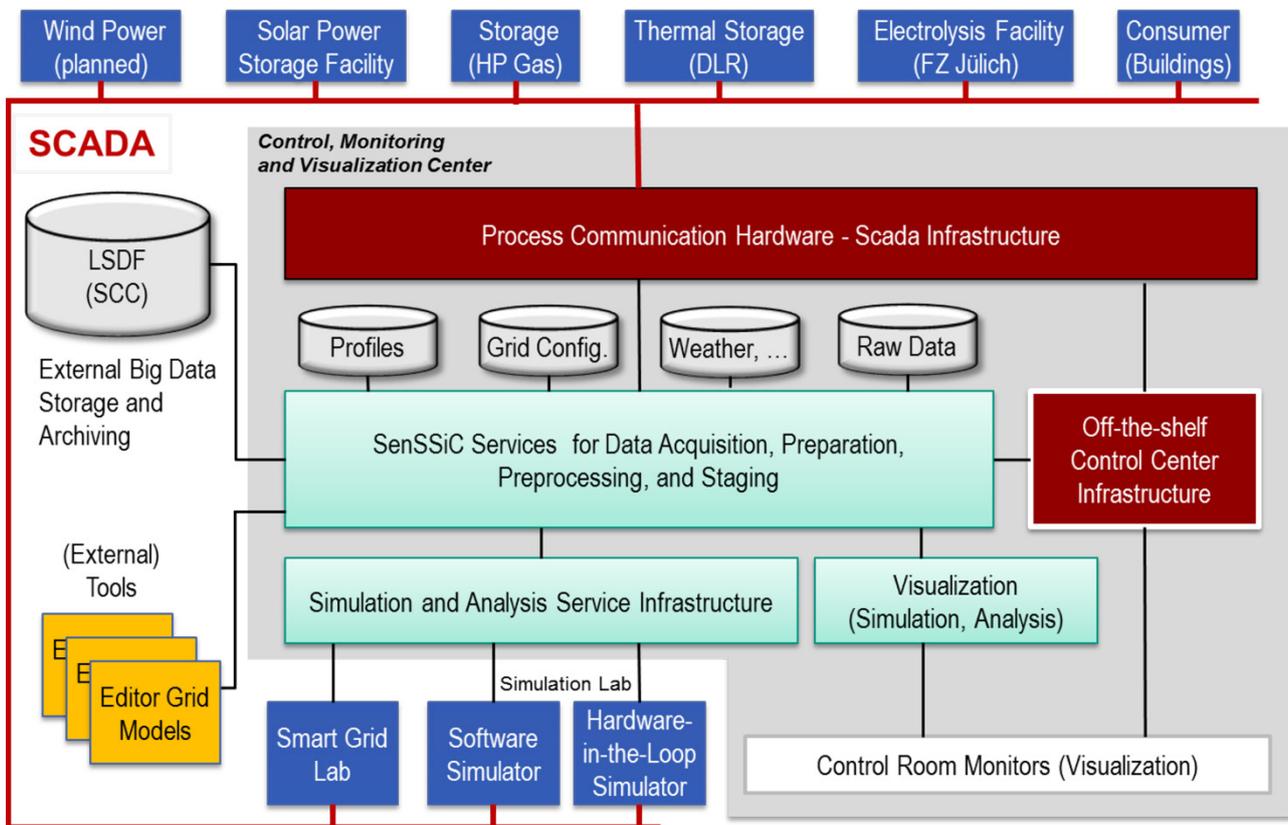


Abb. 13: IT-Architektur des Control, Monitoring and Visualization Center (CMVC)

Hauptaufgabe des IAI in Energy Lab 2.0 ist derzeit die detaillierte Planung aller Anlagen, Komponenten und Schnittstellen als Basis für Beschaffungen, notwendige Eigenentwicklungen und den Aufbau der Forschungsinfrastruktur. Bedingt durch die programm- und arbeitsgruppenübergreifende Vorgehensweise finden sich Einzelergebnisse zu Energy Lab 2.0 in verschiedenen Abschnitten dieses Berichts.

In der gemeinsamen HGF-Initiative „Energie System 2050 (ES2050)“, die mit einer finanziellen Ausstattung von 15 Mio. € in 5 Jahren einen systemischen Gesamtlösungsansatz für die Energiewende in Deutschland verfolgt, ist das IAI führend am Querschnittsforschungsthema 5 beteiligt (Datenformate, Simulation, Prognose, Regelung und Steuerung). Zum Jahresende 2015 wurde das Projekt gestartet. Es haben sich gemeinsame Arbeitsgruppen mit den beteiligten Partner insbesondere der JARA (Jülich Aachen Research Alliance) konstituiert, die ersten ES2050-Doktoranden wurden eingestellt und haben die Arbeit aufgenommen.

Programm EMR: Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen

Vergasung

Kamerabasierte Optimierung von Hochtemperaturprozessen (KaPro)

Bei der Hochdruckvergasung werden Verfahren zur kamerabasierten Kenngrößenberechnung auf Basis von High-Speed-Messungen entwickelt. Die Fertigstellung des Konstruktionsdesigns für die Hochdrucksonde zum Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera im bioliq-Flugstromvergaser ist erfolgt. Es wurde das Sicherheitskonzept der Hochdrucksonde für den Fall von Betriebsstörungen überarbeitet. Die Entwicklung und praktische Tests verschiedener druckfester Leitungsdurchführungskonzepte zusammen mit einem Hersteller für Hochgeschwindigkeitskameras und dem Hersteller der Leitungsdurchführungen sind erfolgt.

Ein geeignetes Konzept für den späteren Einsatz am bioliq-Flugstromvergaser (Abb. 14) wurde definiert. Die Datenübertragung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wird gemäß dem ausgewählten Konzept über Gigabit-Ethernet im Batch-Betrieb erfolgen. Der Start einer Aufnahme wird durch einen elektronischen Trigger realisiert, der im Prozessleitsystem implementiert wird, um Aufnahmen verfahrenstechnisch relevanter / kritischer Phasen automatisiert durchführen zu können. Es erfolgte die Auswahl und Bestellung eines geeigneten Hochgeschwindigkeitskamarasystems. Die Herstellung der Hochdrucksonde bei Fa. DBI Freiberg wurde beauftragt, ebenso die Herstellung der druckfesten Leitungsdurchführung bei Fa. BARTEC.

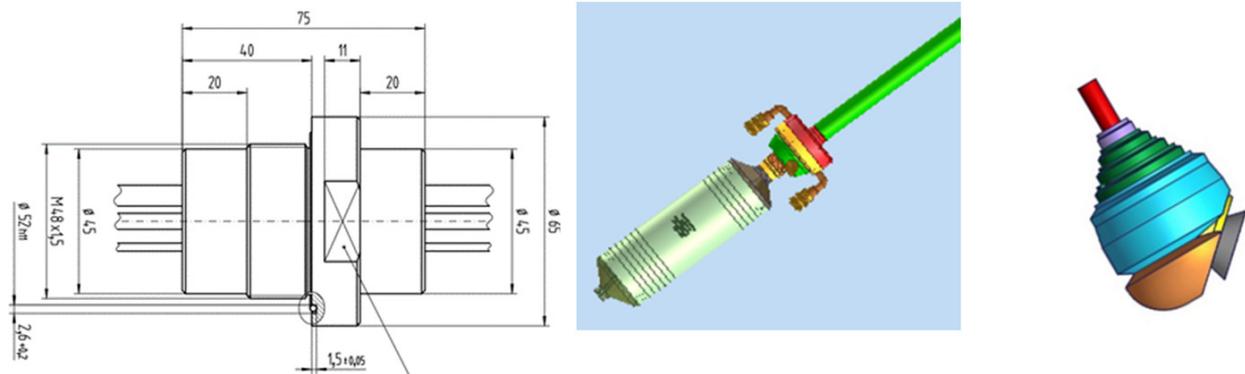


Abb. 14: Druckfeste Leitungsdurchführung zur Daten- und Signalübertragung zwischen Hochgeschwindigkeitskamera innerhalb der Hochdrucksonde und dem externen Auswertesystem (links), Druckbehälter für Hochgeschwindigkeitskamera (mitte), Aufbau der Schrägausblickoptik (rechts)

Ziel der Entwicklung für die BRENDA-Anlage (**Brennkammer mit Dampfkessel**) sind kamerabasierte Verfahren zur Erfassung und Auswertung des Brennstoffverhaltens und der Flamme von Multi-Fuel-Brennern. Die Anwendungsziele sind BRENDA selbst sowie industrielle Brenneranlagen in der Zementindustrie und Kraftwerken. Es erfolgten begleitende Messungen mit High-Speed-Kamera bei Versuchen zur Pulsation eines Multi-Fuel-Brenners. Bei der Auswertung der Versuche wurden Algorithmen entwickelt, um zunächst die Ersatzbrennstoffpartikel vom restlichen Bild zu segmentieren. Anschließend wurden die zeitlichen Bahnen der einzelnen Partikel mit dem Zweck generiert, numerische Simulationen des Partikelflugs seitens ITC zu validieren. Abb. 15 zeigt die Partikelbahnen des Ersatzbrennstoffs Stroh (5mm) für verschiedene Einstellungen des Dralls des untersuchten Mehrstoffbrenners. Zudem wurden erste Frequenzanalysen zu den Pulsationsversuchen durchgeführt.

Das KIC InnoEnergy Projekt "Camera-based optimization of multi-fuel burners (COMFEB)" wurde zwischen den Partnern KIC InnoEnergy SE, dem KIT und den Firmen ci-Tec, LAFARGE Zement (jetzt OPTERRA) Wössingen GmbH und Unitherm Cemcon Feuerungsanlagen GmbH, Wien, vereinbart.

Mehrstoffbrenner ermöglichen es, neben fossilen auch alternative Brennstoffe für die Verbrennung zu verwenden. Da diese alternativen Brennstoffe allerdings schwankende Eigenschaften aufweisen, ist ein konstanter Betrieb mit hohen Anteilen äußerst schwierig zu realisieren. Ziel des COMFEB-Projektes ist es, durch Verwendung einer geeigneten Sensorik (IR-Kamera) und einer Auswertung mittels Bildverarbeitung, Kenngrößen bereit zu stellen, die eine permanente Überwachung des Verbrennungsverhaltens zulassen. Auf Grundlage dieser Kenngrößen kann durch Anpassung der Brennereinstellungen auf Schwankungen der

Brennstoffeigenschaften reagiert und damit ein konstanter Betrieb mit hohem Anteil an alternativem Brennstoff gewährleistet werden.

Im Rahmen des Projektes wurden 2015 zwei Messkampagnen bei einer Zementanlage in Wössingen durchgeführt. Dabei erfolgten Aufnahmen eines Mehrstoffbrenners mit unterschiedlichen Kameratechnologien und Brenneinstellungen. Anhand dieser Aufnahmen konnten Verfahren zur Bildverbesserung, Beurteilung der Bildgüte und Bildauswertung hinsichtlich des Verbrennungs- und Flugverhaltens entwickelt werden. Ein zentraler Punkt stellte dabei die Schätzung der Flugbahn des alternativen Brennstoffes dar (s. Abb. 16). Diese wurde durch die Kombination zweier Verfahren, welche die unterschiedlichen Eigenschaften des Brennstoffes berücksichtigen, mit einem probabilistischen Schätzverfahren erreicht. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer Patenterstellung zusammengefasst.

Zur Validierung der neuen Verfahren wurde ein MATLAB-basiertes Tool (MathWorks Inc, USA) zur Erstellung von Referenzdaten entwickelt (s. Abb. 17). Die Flugbahn des Ersatzbrennstoffes wurde dabei für einzelne Beispielsequenzen durch Experten bestimmt. Des Weiteren wurde die Grundlage für ein Simulationsmodell des Verbrennungsprozesses gelegt, das in Zukunft zuverlässige Referenzdaten für eine ausführliche Validierung liefern soll.

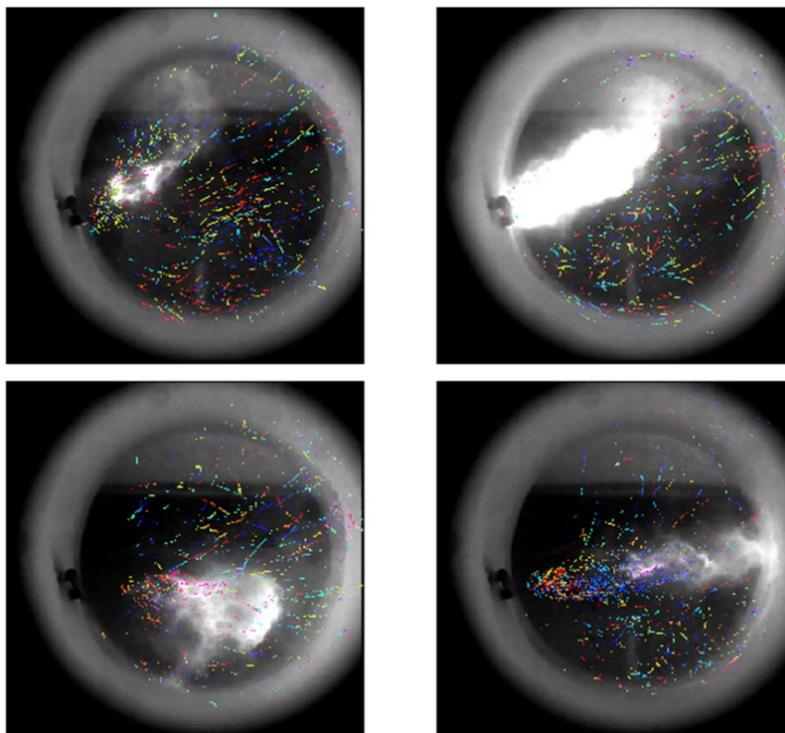


Abb. 15: Ersatzbrennstoff-Partikelpfade bei unterschiedlichen Dralleinstellungen des Mehrstoffbrenners

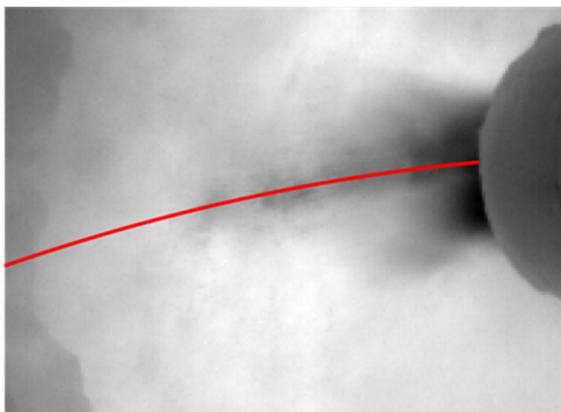


Abb. 16: Beispiel für die Flugkurvendetektion aus IR-Aufnahmen eines Mehrstoffbrenners

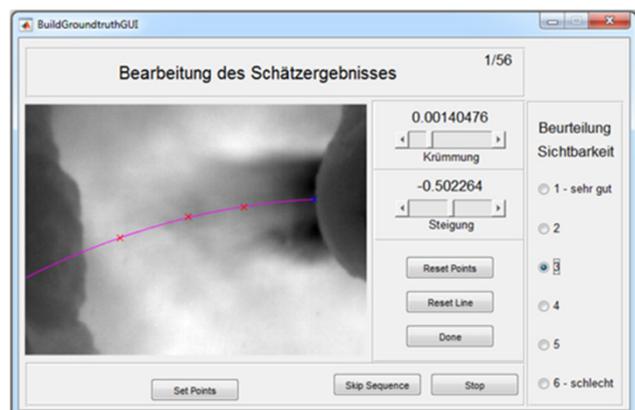


Abb. 17: MATLAB-Tool zur Flugkurvenbestimmung durch Experten anhand Beispielsequenzen

Mineralische Konstruktionsmaterialien

Innovative Prozessführung (InPro)

Zement ist der weltweit meistverbrauchtete Werkstoff. Gleichzeitig ist der Zementbereich einer der industriellen Bereiche mit sehr hohem Verbrauch an Primär- und Sekundärenergie und hohem Kohlenstoffdioxidausstoß. Das am KIT entwickelte Verfahren für die Herstellung eines neuartigen hydraulischen Bindemittels (Celitement) hat ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung und Reduzierung der Kohlendioxidemissionen. Derzeit wird das Verfahren im Rahmen verschiedener Untersuchungen an einer Pilotanlage zunehmend weiterentwickelt und optimiert. Um möglichst effiziente Fahrweisen realisieren zu können, ist es wichtig, die verschiedenen Zwischenprodukte und auch das Endprodukt überwachen zu können. Derzeit ist eine Messung der Produktqualität von Celitement mit Hilfe verschiedener Analyseverfahren, wie Röntgenbeugungsdiffraktometrie (XRD) mit der Rietveld-Methode, thermogravimetrischer Analyse oder Bestimmung der Druckfestigkeit nach der Hydratisierung noch sehr aufwändig. Eine Online-Messung und Bewertung der Produktqualität im Herstellungsverfahren auf Basis der Online-Nah-Infrarot-Spektroskopie (Nah-Infrarot, NIR) wird hierzu entwickelt. NIR-Spektroskopie wurde wegen seiner Einfachheit, seiner Leistung und Robustheit ausgewählt. Chemometrische Methoden für die Berechnung physikalischer und chemischer Parameter aus NIR-Spektren sind für mehrere Anwendungen, bisher jedoch nicht für hydraulische Bindemittel, etabliert und sollen für die Berechnung qualitätsrelevanter Größen von Celitement herangezogen werden.

Zur Verarbeitung werden die NIR-Spektren in MATLAB exportiert, die Kalibriermodelle berechnet und deren Anwendung auf neue Daten durchgeführt. Die Berechnung des Kalibriermodells erfolgt im entwickelten Algorithmus für verschiedene Kombinationen von Vorverarbeitungsmethoden, für verschiedene spektrale Bereiche und unterschiedliche Modellkomplexitäten.

In der Vorverarbeitung werden überwiegend das Rauschen und andere Störeffekte reduziert und die gewünschten Eigenschaften betont. Neben der für die Anwendung der Partial-Least-Squares-Regression (PLSR) notwendigen Spalten-Zentrierung der NIR-Spektren, bei der die Daten für jede Wellenzahl mittelwertbereinigt werden, können verschiedene Methoden verwendet werden. Im Rahmen der Berechnung der Kalibriermodelle von Celitement werden dabei bisher der gleitende Mittelwert, die Ableitung der Spektren, die Begrenzung der Daten auf bestimmte Bereiche, zur Reduktion der verrauschten Bereiche, die bei sehr kleinen und sehr großen Wellenzahlen auftreten können, die Standard-Normal-Variate-Transformation und die multiplikative Streukorrektur eingesetzt. Zusätzlich kann auch die Zielgröße vor der Berechnung des Kalibriermodells vorverarbeitet werden. Anschließend kann das Kalibriermodell unter Anwendung der PLSR für eine bestimmte ausgewählte Qualitätsgröße berechnet und unter Beachtung der verwendeten Datenvorverarbeitungsmethoden auf neue NIR-Spektren angewandt werden. Abb. 18 zeigt eine Übersicht zur Vorgehensweise bei Berechnung und Anwendung der Kalibriermodelle.

Ziel des Mahlprozesses ist nicht die Zerkleinerung, sondern die Aktivierung des Zwischenproduktes. Deshalb ist die Partikelgrößenanalyse in diesem speziellen Fall nicht geeignet für die Überwachung des Mahlprozesses. Für eine Selektion von Parametern sollen verschiedene Verfahrensschritte analysiert werden. Im Rahmen von Trocknungsversuchen soll der Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Produktqualität und den anschließenden Mahlprozess betrachtet werden.

Es wurde eine Charge des Zwischenproduktes im Autoklaven der Pilotanlage produziert und anschließend luftdicht gelagert. Dadurch konnte für alle Experimente das gleiche Ausgangsmaterial verwendet werden, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Versuchen zu erreichen. In den Versuchen wurden die Proben dann in einem kleinen Labortrockenschrank bei verschiedenen Trocknungstemperaturen getrocknet. Die Proben in der Versuchsreihe wurden bei 150°C, 170°C, 190°C, 210°C, 230°C, 250°C und 290°C so lange getrocknet, bis alle neun in der Probe verteilten Thermoelemente eine konstante Temperatur, nahe der Temperatur des Trockenschrankes, erreicht hatten. Nach dem Trocknen blieben jeweils etwa 70 bis 75% der Masse übrig. Im Anschluss an die Trocknung wurden die Proben geteilt und jeweils 1 kg Material in einer Laborschwingmühle gemahlen. Die Proben einer Trocknungstemperatur wurden dabei für 1, 3 und 6 Stunden gemahlen.

Die unterschiedlichen Proben wurden dann einerseits mit Hilfe der Röntgenbeugungsdiffraktometrie, der Thermogravimetrie, der Festigkeitsbetrachtungen des Mörtels und zusätzlich mit NIR-Spektroskopie untersucht. Im Folgenden werden beispielhaft Ergebnisse dargestellt. Abb. 19 zeigt die gemessenen NIR-Spektren farblich gekennzeichnet für die unterschiedlichen Mahldauern.

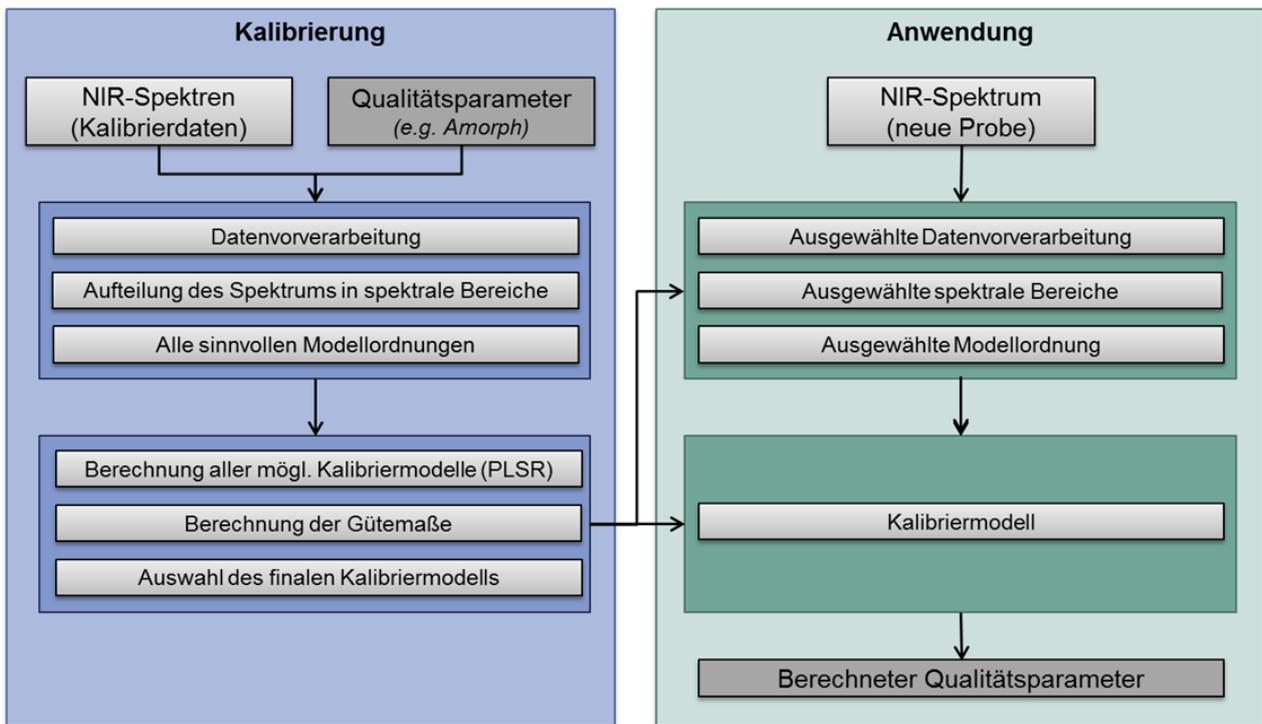


Abb. 18: Überblick zur Berechnung und Anwendung des Kalibriermodells

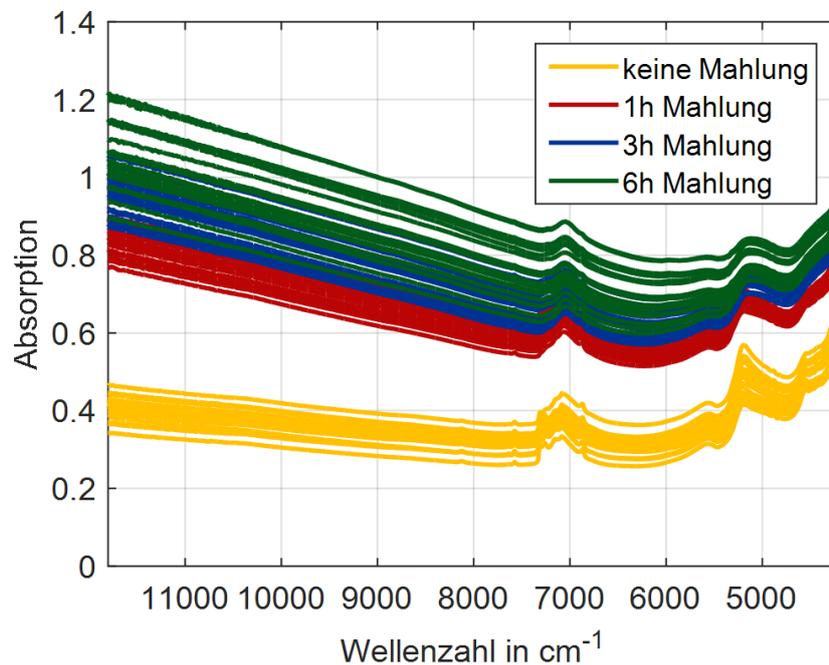


Abb. 19: NIR-Spektren der Trocknungsversuche

Die Trocknungsversuche haben gezeigt, dass nur die Extrembereiche der Trocknungstemperaturen, also die sehr niedrigen oder sehr hohen Temperaturen einen Einfluss auf die verschiedenen Qualitätsparameter haben. Einen deutlich größeren Einfluss hat die Mahldauer. Allgemein gilt, dass mit zunehmender Mahldauer die Produktqualität steigt, was sich beispielsweise in den Diagrammen in Abb. 20 und Abb. 21 sehr gut erkennen lässt. Mit zunehmendem amorphem Anteil in der Probe steigen auch der Anteil hydraulisch aktiver Phasen und damit auch die Druckfestigkeit nach der Hydratationszeit von 28 Tagen.

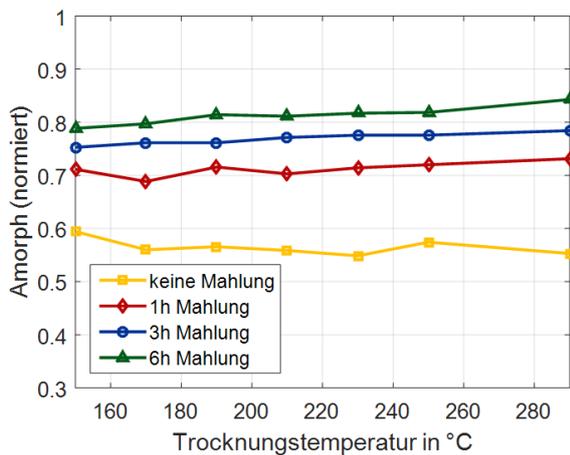


Abb. 20: Amorph über Trocknungstemperatur für verschiedene Mahldauern

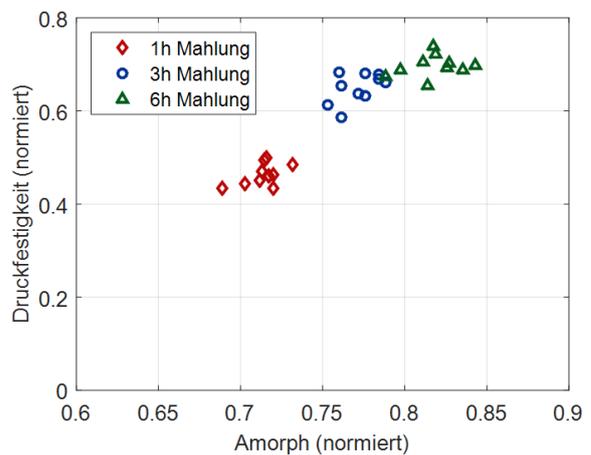


Abb. 21: Druckfestigkeit in Abhängigkeit des amorphen Anteils in der Probe

Auch die Berechnung der Kalibriermodelle konnte für die meisten Qualitätsparameter mit einem guten Ergebnis erreicht werden. In Abb. 23 ist exemplarisch das Kalibriermodell für die Hilfsgröße Amorph und in Abb. 22 das Ergebnis der Kreuzvalidierung dargestellt.

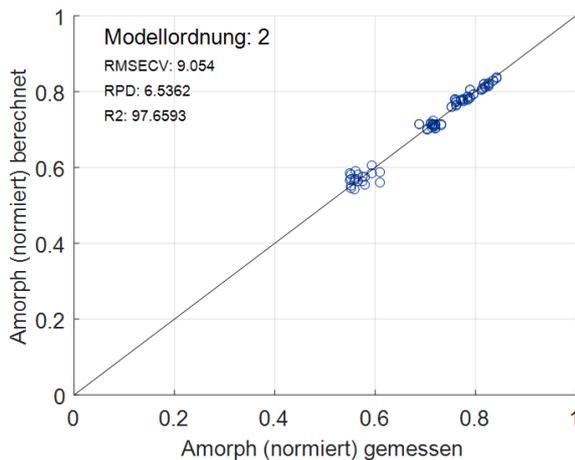


Abb. 22: Ergebnis der Kreuzvalidierung bei der Berechnung des Kalibriermodells

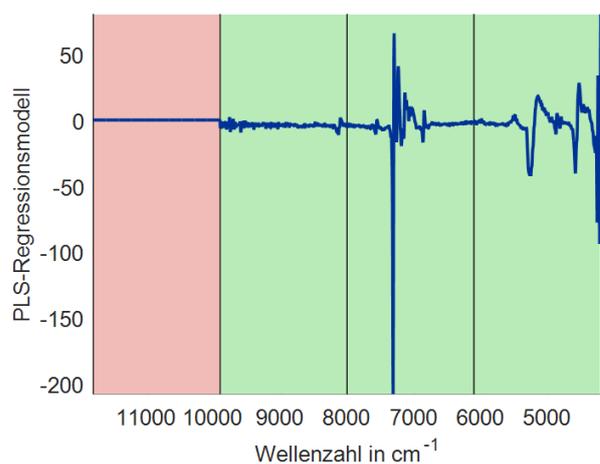


Abb. 23: Kalibriermodell für die Hilfsgröße Amorph

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Überwachung der Produktqualität während des Herstellungsprozesses von Celitement eine anspruchsvolle Aufgabe ist. Für die Entwicklung einer passenden Berechnung der Produktqualität basierend auf NIR-Spektroskopie müssen zunächst verschiedene Parameter identifiziert werden. Im Rahmen einer Analyse des Trocknungs- und des Mahlprozesses konnten die Abhängigkeiten der Parameter mit der Trocknungstemperatur und Mahldauer sowie die Druckfestigkeit festgestellt werden. Insgesamt zeigen die meisten Parameter eine starke Änderung mit der Mahldauer, aber nur eine geringe oder gar keine Abhängigkeit mit der Trocknungstemperatur. Unterschiede in der Produktqualität traten nur bei sehr niedrigen und sehr hohen Trocknungstemperaturen auf. Das heißt, es gibt ein breites Spektrum für die Gestaltung des Trocknungsprozesses. Der Mahlprozess sollte jedoch hinsichtlich einer optimalen Balance zwischen Produktqualität und Energieeffizienz während des Aktivierungsprozesses weiter analysiert werden.

Für fast alle Parameter konnten gute Ergebnisse in Bezug auf Kreuzvalidierung und Bestimmtheitsmaß bei der Berechnung der Kalibriermodelle erreicht werden. Parameter, die keinerlei Zusammenhang mit der Trocknungstemperatur oder der Mahldauer zeigten, erreichten auch bei der Berechnung der Kalibriermodelle nur sehr schlechte Ergebnisse. Die Kalibriermodelle für die XRD-Parameter sind in der Regel besser ausgefallen als die Kalibriermodelle für die Parameter der Thermogravimetrie. Für einige Kalibriermodelle wurde auch die Anwendung auf unbekannte Datensätze getestet. Dabei konnten die Kalibriermodelle oder vielmehr deren Anwendung teilweise durch Vergrößerung der Parameterbereiche oder unter Verwendung

des Umsatzes statt der absoluten Werte verbessert werden. Für die Berechnung eines finalen und auch robusten Kalibriermodells sollten jedoch möglichst viele verschiedene Datensätze mit unterschiedlicher Ausgangszusammensetzung integriert werden.

Im Rahmen der Fusionsarbeiten werden Lithiumkeramik-Kugeln als Tritium-Quelle in den Blankets des Reaktors benötigt. Der Herstellungsprozess erfolgt mittels eines speziellen Ofens, in dem die Keramik geschmolzen und nach Erreichen einer bestimmten Temperatur über eine Düse in Tropfen umgewandelt wird. Auf dem Fallweg werden die Tropfen abgekühlt und verfestigen sich zu Kugeln.

Es wird untersucht, wie sich Parameteränderungen (Materialzusammensetzung, Druck, Temperatur, ...) auf die Tropfenbildung direkt an der Düse auswirken. Begleitend werden vom IAI die Experimente mit einer High-Speed-Kamera gefilmt und die gewonnenen Bilddaten mittels Bildverarbeitungsalgorithmen hinsichtlich Kenngrößen zur Beschreibung der Tropfenbildung ausgewertet. Es wurde zudem eine Platinspiegelform entworfen, die einen deutlicheren Kontrast zwischen Keramiktropfen und Hintergrund in den Bilddaten bietet und damit eine Verbesserung der Bildauswertung mit sich bringt.

Für Sensoren auf Basis gassensitiver Schichten zur Realisierung intelligenter, modularer Sensorsysteme werden Algorithmen zur musterbasierten Auswertung von Signalen für Kabelbrandfrüherkennungen im Rahmen des BMBF-Projekts „HySeP“ entwickelt. Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Das dabei entwickelte Programm SimSens realisiert ein leistungsstarkes Kalibrier- und Auswerteverfahren. Es konnte gezeigt werden, dass SimSens in den betrachteten Applikationen und für verschiedene 4-fach-Sensor-Arrays eine gute Stoffidentifikation ermöglicht und eine sehr gute Konzentrationsbestimmung für die einzelnen Proben mit relativen Fehlern kleiner als 5 % erzielt. Der Auswerteteil von SimSens wurde als MATLAB-Funktion realisiert und in das Gesamtsystem integriert. Damit konnte die prinzipielle Machbarkeit des Gesamtsystems nachgewiesen werden. Ein Beitrag zu diesem Projekt wurde auf der Sensor Devices Konferenz in Venedig (Italien) als "Best Paper" ausgezeichnet.

Im i.Bridge-Projekt werden intelligente Auswerteverfahren zur Fusion verteilter Sensorsysteme entwickelt und an realen Daten validiert. Zur Erkennung auswertbarer Anregungen von Brücken wurde ein Verfahren entwickelt, das kontinuierlich Sensordaten auf Störungsfreiheit untersucht. Mit den damit gewonnenen Events wurden erste Untersuchungen an neuronalen Netzen durchgeführt. Außerdem wurden Daten einer simulierten unbeschädigten und einer simulierten beschädigten Brücke als Referenzdaten ausgewertet.

Für das AiF-Projekt AGaMon werden mit dem Industriepartner 3S in Saarbrücken die am IAI entwickelten grundlegenden Verfahren zur Sensordatenauswertung auf die spezielle Problemstellung der Atemgasanalyse übertragen und auf Mehrstoffgemische erweitert. Spezielles Anwendungsgebiet ist dabei die Alkoholkontrolle in der Atemluft. In dieser Applikation ist Ethanol die Zielkomponente. Da aber auch andere Gase wie H_2 oder Aceton in der Atemluft vorhanden sind, die die Messergebnisse beeinflussen, müssen Mehrstoff-Gemische untersucht werden. Mit dem weiterentwickelten Kalibrier- und Auswerteverfahren ProSens2.0 gelang es, sowohl das Zwei-Stoff-Gemisch Ethanol- H_2 als auch das Zwei-Stoff-Gemisch Ethanol-Aceton zu analysieren. In beiden Untersuchungen konnte eine gute Stoffidentifikation erzielt werden. Dies ist wichtig, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Für das binäre Ethanol- H_2 -Gemisch konnten für beide Komponenten gute Konzentrationsbestimmungen erzielt werden. Beim Ethanol-Aceton-Gemisch konnten nur für den Zielstoff Ethanol gute Analyseergebnisse erzielt werden. Die schlechten Analyseergebnisse für Aceton spielen jedoch keine Rolle, da es nur auf eine gute Bestimmung der Ethanol-Komponente ankommt. Mit dem weiterentwickelten Kalibrier- und Auswerteverfahren ProSens3.0 gelang es, ein ternäres Ethanol- H_2 -Aceton erfolgreich zu analysieren. Auch hier wurde eine sehr gute Stoffidentifikation erzielt und für den Zielstoff Ethanol wurden gute Analyseergebnisse erreicht. Die bisherigen Auswertungen basieren auf Labormessungen des Projektpartners 3S. Im weiteren Projektverlauf müssen die Auswertungen noch mit Daten des Gesamtsystems erfolgen. Zur Reduzierung des Kalibrieraufwands wurde das Verfahren ProCal2.0 entwickelt und mit Modelldaten erfolgreich getestet. Mit ProCal2.0 ist eine Reduzierung des zeitaufwändigen und kostspieligen Kalibrierprozesses um den Faktor 3 möglich.

Industrielle Prozesse wie Zinkrecycling, Zementherstellung, Multi-Fuel-Brennersysteme, Recyclingprozesse etc. sind durch kamerabasierte Verfahren messtechnisch zu erfassen und energetisch zu optimieren. Für die hierzu jeweils eingesetzten Kameras werden entsprechende Verfahren entwickelt, praktisch erprobt und im Rahmen einer FuE-Kooperation in das INSPECT-System integriert.

Im Themenbereich des Energy Lab 2.0 als Plattform für Lösungskonzepte der zukünftigen hochgradig verteilten Energiesysteme stehen Aspekte der Software wie Zuverlässigkeit, Safety, Security und

Beherrschbarkeit in vielfältiger Weise als Forschungsfragen an. Sichere Anwendungen erfordern sichere Betriebs- oder Laufzeitumgebungen. Existierende Betriebssysteme und die darauf laufenden Anwendungen (z.B. Apps) erlauben keine transparente und benutzerdefinierte Kontrolle für den Zugriff auf Daten sowie die Weitergabe und Verarbeitung von Daten jeglicher Art. Damit unterliegen die ausgeführten Funktionen nicht der Kontrolle, Vorgabe und Einsicht des Benutzers. Außerdem weisen die existierenden Systeme immer wieder auftretende gleichartige Sicherheitslücken auf, welche für Anwendungen im verlässlichen Energiebereich nicht akzeptabel sind. Für das Querschnittsthema wurden die relevanten Themengebiete analysiert und die Situation erfasst. Es wurde mit der Entwicklung einer sicheren Plattform für den Einsatz im Energy Lab 2.0 auf Basis eines Ada-Laufzeitsystems begonnen.

Programm EE: Erneuerbare Energien

Effiziente Nutzung geothermischer Energie

Systemplattform für Bohrlochtools

Damit die Geothermie eines Tages ihr Potential zur Deckung eines erheblichen Anteils des Wärmebedarfs und einen nennenswerten Beitrag zur erneuerbaren Stromproduktion leisten kann, sind viele Fortschritte erforderlich. Dabei kommt z.B. der Bohrtechnologie große Bedeutung zu, weil das Abteufen der ersten Bohrung ein erheblicher Kostenfaktor mit großen technischen wie finanziellen Risiken darstellt. Ebenso wichtig ist es, unproduktive Bohrungen eingehend zu untersuchen, um aus den Fehlschlägen zu lernen und Werkzeuge für Engineered/Enhanced Geothermal Systems (EGS) bereitzustellen. Dafür sind Inspektions-Tools aber auch Tools, um untertage fernbedient Bearbeitungs- oder Montagearbeiten auszuführen, notwendig. Eine defekte Verbindungsstelle zweier Casingrohre könnte beispielsweise mit ähnlichen Methoden repariert werden, wie sie in der Kanalsanierung routinemäßig eingesetzt werden. Um solche Tools künftig schneller, zuverlässiger und kostengünstiger, in einsatzbereiter Form zur Verfügung stellen zu können, wird die Systemplattform ZWERG entwickelt, die wiederholt einsetzbare, standardisierte Komponenten für den modularen Toolaufbau beinhaltet.

Im Rahmen der aktuellen POF-Periode (POF 3) wird ein Probennehmer entwickelt, der ungestörte Wasserproben aus Geothermiebohrlöchern entnehmen und diese unter isothermen und isobaren Bedingungen an die Oberfläche bringen soll. Das nun vorliegende Systemkonzept (s. Abb. 24) sieht eine Probennahme nach dem Prinzip des 'positive displacement samplers' vor. Dabei wird die Probe wie mit einer Spritze aufgenommen. Neu ist die hydraulische Betätigung, die eine Probennahme in jeder gewünschten Teufe der Bohrung zulässt und die Probe ohne weitere Hilfsmittel in einen Laborbehälter überführen kann. Existierende Sonden erfordern meist eine Festlegung des Zeitpunkts der Probennahme im Vorfeld, da häufig mechanische Uhren als Auslöser der Probennahme benutzt werden. Um bei Abkühlung der Probe einen Abfall des Probendrucks unter den Ausgangsdruck zu vermeiden, beaufschlagen manche Probennehmer die Probe mit dem Druck eines im Vorfeld vorgespannten Gasvolumens. Derartige Probennehmer können weder isotherme noch isobare Proben liefern.

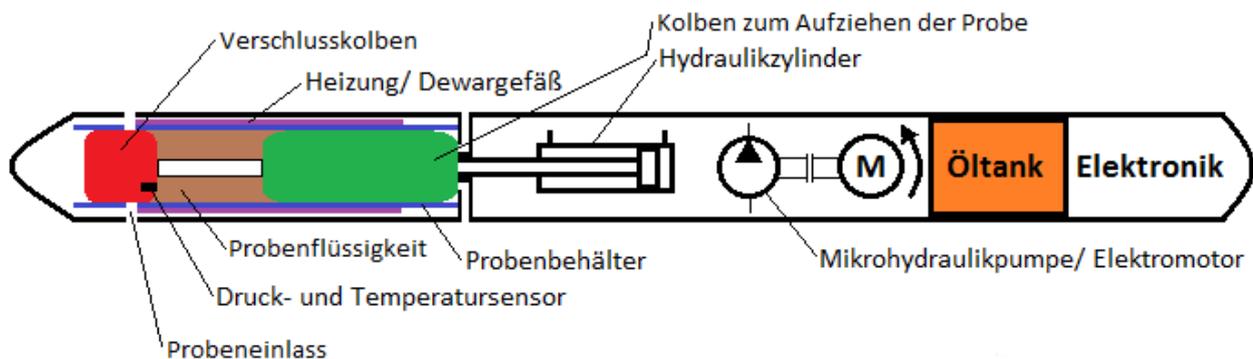


Abb. 24: Prinzipieller Aufbau des Wasserprobennehmers

Das Prinzip der Entnahme beruht darauf, dass der Kolben zum Aufziehen der Probe vom Hydraulikzylinder bewegt und damit im Probenbehälter Platz freigegeben wird, den die Probenflüssigkeit einnimmt. Am Ende der Bewegung wird der Verschlusskolben mitgenommen, der den Probeneinlass verschließt. Die beiden Kolben bewegen sich mit dem eingesperrten Probenvolumen in einen Bereich, der von einem Dewargefäß isoliert wird. Außerdem wird das Probengefäß vor der Probennahme durch eine Heizung auf Probentemperatur temperiert und bis zum Ausstoßen der Probe auf dieser Temperatur gehalten.

In Abb. 25 sind der Entnahmeport im Verschlusskolben, für den Anschluss eines Laborgefäßes, und die Ventilschraube zur Herstellung der Verbindung zu erkennen. Die Hydraulik schiebt den Kolben zum Aufziehen der Probe zurück und überführt damit die Probe in das Laborgefäß. Um den Druck dabei auf dem Entnahmeniveau zu halten, wird das Laborgefäß mit einem inerten Gas mit demselben Druck gefüllt.

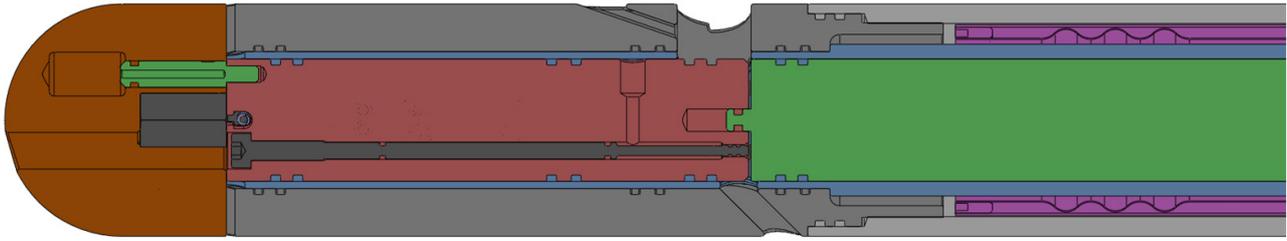


Abb. 25: Probennahmesonde: Kolben in Ausgangsstellung

Das erste Funktionsmuster einer Sonde auf Basis der ZWERG-Plattform ist die Videoinspektionssonde GeoKam (BMWi-Verbundprojekt). Auch wenn die Sondenhülle, bestehend aus Rohr- und Endstücken sowie einigen Verbindungsteilen (Abb. 26), simpel erscheint, birgt ihr Aufbau größere Herausforderungen. Bereits hierbei zeigt sich, wie nützlich die Systemplattform in der Praxis ist. Zu Beginn einer Tool-Entwicklung stellen sich diverse Fragen zur Gehäusebeschaffenheit: nach Durchmesser, Wandstärke, Material, zuverlässigen temperaturfesten Dichtungen, geeigneten Werkstätten, Kosten, Lieferanten, Lieferzeit, um nur einige zu nennen. Diese Fragen werden durch die Systemplattform grundsätzlich geklärt, sodass für Neuentwicklungen nur noch die Gehäuselänge variiert werden muss. Als Material mit der nötigen Festigkeit und Korrosionsresistenz wird die Nickelbasislegierung Inconel 718 (W. Nr. 2.4668) eingesetzt.

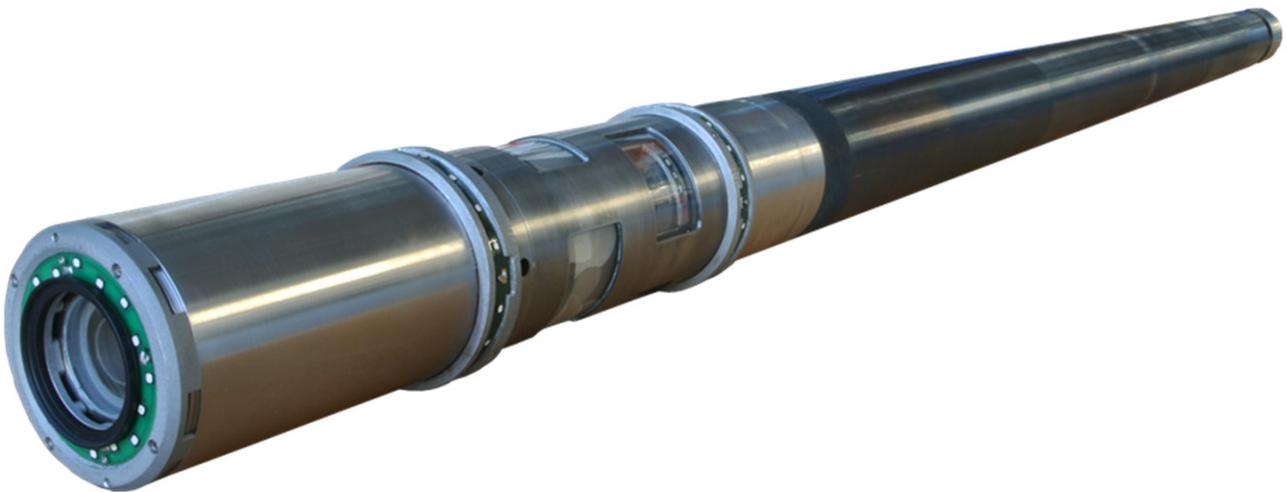


Abb. 26: Fertig montiertes zweites Funktionsmuster der Geothermie-Videoinspektionssonde GeoKam (Bilbo)

Die Systemplattform sieht einen Sondaufbau in drei Ebenen vor (s. Abb. 27). Die äußerste Schicht ist das Gehäuse, welches die innenliegenden, empfindlichen Bauteile vor Außendruck, Stößen und dem korrosiven Geothermiewasser schützt. In der zweiten Ebene wird die thermische Entkopplung zwischen Reservoir und dem Sondeninneren realisiert. Dazu gehört eine Vakuumdämmung. Bei dieser kommt es, anders als bei anderen Dämmungen, nicht auf die Dicke der „Vakuumdämmschicht“ an, was eine schlanke Bauweise ermöglicht. Das Dewar, dessen eingeschlossenes Vakuum den konvektiven und konduktiven Wärmetransport ins Innere nahezu unterbindet, besteht aus zwei dünnen, coaxial gefügten Rohren (Wandstärke 0,5 bzw. 1 mm) und einer Multi-Layer-Insulation-Schicht, die zusätzlich den Wärmeintrag durch Strahlung minimiert. Die Dewar-Herstellung ist kompliziert. Probleme bereitet derzeit noch die Reinigung des Dewars durch Ausheizen, die eine Zerstörung des Vakuums durch Diffusion von im Dewarmaterial gelagerten Gasen verhindern soll. Hierfür ist noch kein passender Ofen verfügbar.

Im Innern des Dewars befinden sich die Funktionseinheiten. Im Falle der GeoKam sind das die Kameras mit Objektiven und Blenden, die Auswerteelektronik, das Kabelmodem zur Datenübertragung, ein Eisspeicher als Wärmesenke etc. Auch Teile aus der Kernebene, wie beispielsweise die Rechnerhardware oder die Stromversorgung, können unmittelbar in andere Sonden übernommen werden.



Abb. 27: 3-Ebenen-Aufbau der Sonde: Stabiles Gehäuse, Wärmeisolation und innerer Aufbau

Schon im Frühjahr 2014 war ein erstes Funktionsmuster der GeoKam (Albertha) auf der Geotherm-Messe in Offenburg ausgestellt worden. Bei diesem wurde die mechanische Kameraeinheit (s. Abb. 28, oben, mit beiden Seitenkameras) spanabhebend aus Edelstahlteilen gefertigt. Darunter zu sehen ist in Abb. 28 die Weiterentwicklung für das zweite Funktionsmuster (Bilbo). Durch Verwendung von SLM (Selective Laser Melting), konnten die Teile dafür mit komplexerer Geometrie und deutlich niedrigeren Kosten hergestellt werden.

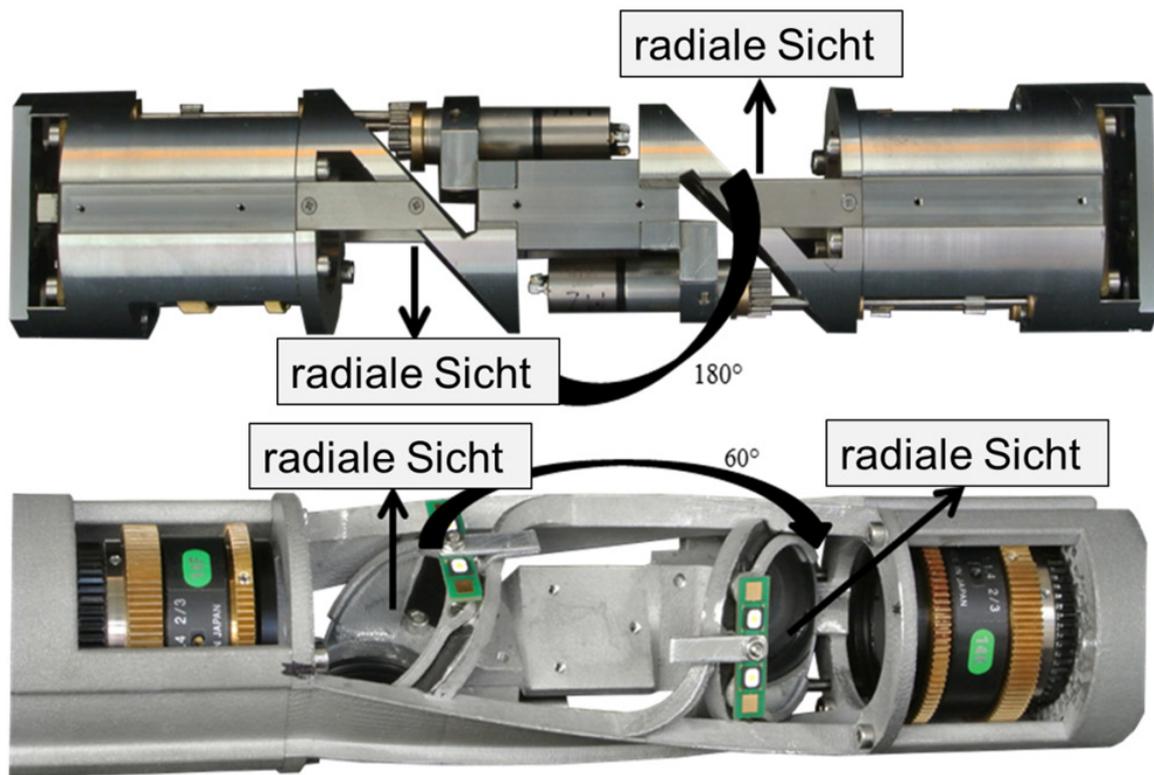


Abb. 28: Kameraeinheit oben: Funktionsmuster Albertha → Spanend gefertigt aus Edelstahl, unten: Funktionsmuster Bilbo → lasergesinterte Aluminiumteile

Die Videoinspektionssonde benötigt Fenster, die den Blick in Fahrtrichtung und auf die Bohrlochwand freigeben. Für die GeoKam wurden diese aus Magnesiumspinell gefertigt und sollten ursprünglich durch Schrumpfung mit dem Gehäuse verbunden werden. Da dies nicht das gewünschte Ergebnis brachte,

wurden sie letztlich vom Hersteller mit einem Spezialkleber in das Gehäuse eingeklebt. Die Kameraeinheit, die zusätzlich mehrere Druckdurchführungen für, im Sinne des Explosionsschutzes, eigensichere Stromkreise aufweist, um die LED-Beleuchtung mit Strom zu versorgen, ist der empfindlichste Teil des Gehäuses. Deshalb war sie der erste Kandidat für Versuche im neu errichteten Autoklaven des Geothermielabors (s. Abb. 29).



Abb. 29: Unterteil des Autoklaven mit Bedienpult

Das ebene Fenster in der Stirnseite der GeoKam überstand die Drucktests bei 500 bar problemlos. Die Seitenfenster, die durch zwei Hohlzylinder realisiert sind, wiesen nach den Versuchen Risse auf. Offenbar ist hierfür ein Fertigungsproblem verantwortlich, wie die Auslegung anhand Materialeigenschaften und Belastungssimulation zeigt. Nach einer umfassenden Schadensanalyse werden neue Fenster eingebaut.

Der Autoklav nimmt Teile bis zu 2500 mm Länge und 250 mm Durchmesser auf. Der Wasserdruck im Druckbehälter darf auf über 600 bar eingestellt werden. Ein Heizmantel beheizt den Autoklaven bis auf 200°C. Diese Werte entsprechen den in Insitu-Bedingungen der 5.000 m Bohrungen in Soultz-sous-Forêts. Mit dem Autoklaven sind somit Tests unter realistischen Bohrlochbedingungen möglich, ohne eine Bohrung zu blockieren und teures Wireline-Equipment einsetzen zu müssen.

Konversion

Modellgestützte Prozessautomation

Das am KIT entwickelte vierstufige Verfahren bioliq® (Biomass to Liquid) erlaubt die Herstellung umweltfreundlicher Kraftstoffe aus Restbiomasse in einem industrienahen Betrieb.



Abb. 30: Pilotanlage bioliq®
Rechts im Bild die N₂- und O₂-Hochdruckbehälter,
links die Anlage zur Kraftstoffsynthese

In der ersten Verfahrensstufe wird die trockene Restbiomasse, die räumlich verteilt anfällt und einen niedrigen Energiegehalt hat, durch Schnellpyrolyse in ein rohölartiges, feststoffhaltiges und hochenergetisches Zwischenprodukt umgewandelt. In der zweiten Prozessstufe setzt der Hochdruck-Flugstromvergaser den konditionierten Einsatzstoff bei Temperaturen über 1200°C und Drücken bis zu 80 bar zu einem Synthesegas mit den Hauptbestandteilen Kohlenmonoxid und Wasserstoff um. Die extremen Bedingungen im Hochdruckvergaser stellen hohe Anforderungen an die Prozessführung und die Flexibilität der nachgeschalteten Prozessstufen. Bei der anschließenden Heißgasreinigung werden Störstoffe aus dem Rohsynthesegas ausgefiltert. In der letzten Prozessstufe

wird das gereinigte Synthesegas im katalytischen Verfahren zu maßgeschneiderten Kraftstoffen zusammengesetzt (Abb. 30).

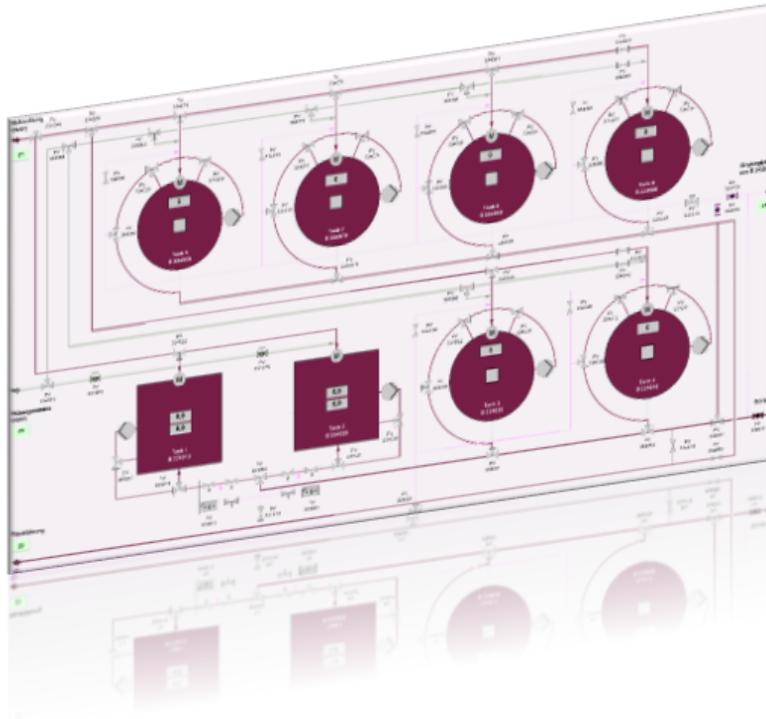
Zur Unterstützung der Prozessführung ist die Pilotanlage bioliq® mit einem modernen Prozessleitsystem, das vom IAI betreut wird, ausgestattet. Das IAI bringt im Bereich der Prozessautomation seine Kompetenzen in den Phasen Planung, Projektierung, Erstellung, Inbetriebnahme, Forschungsbetrieb und Weiterentwicklung ein.

Als Arbeitsschwerpunkte für 2015 sind hervorzuheben:

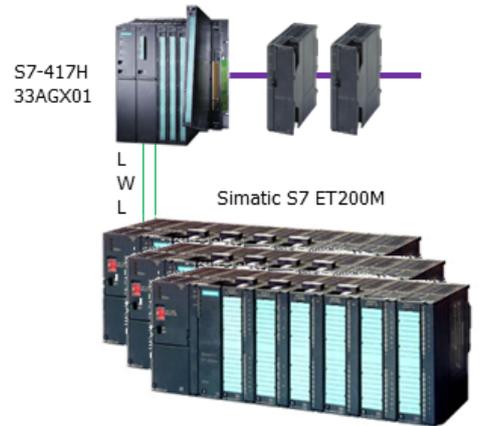
- der Endausbau der Steuerung für das Einsatzstofflager,
- die Fortführung der Arbeiten zur modellgestützten Regelung und Prozesssimulation,
- die Mitwirkung am Versuchsprogramm der Pilotanlage.

Nach dem Endausbau im vergangenen Jahr verfügt das Einsatzstofflager, in dem Pyrolyseprodukte und flüssige Einsatzstoffe für den Hochdruckvergaser gelagert werden, über zwei liegende und sechs stehende Tanks (Abb. 31).

Die Handhabung des Tanklagerinventars gehört zu den aufwändigen Aufgaben für die Betriebsmannschaft. So können die Tanks mit flüssigen Stoffen aus mehreren Quellen befüllt (z.B. Schwelteeer und Schwelwasser von der Schnellpyrolyse über die Anlage zur Flüssigproduktentnahme; Modellbrennstoff mit zugemischtem, nassgemahlten Koks von der Mischanlage, Ethylenglykol zur Spülung) und in mehrere Zielbehälter entleert werden (z.B. Rückführung zu Schwelteeer- und Schwelwasserbehälter; Abfüllung der Pufferbehälter am Hochdruckvergaser). Zur Unterstützung der Betriebsmannschaft wurden in der Steuerung des Tanklagers insgesamt 54 Schaltfunktionen zum Befüllen / Umrühren / Spülen / Abpumpen programmiert. Die Schaltfunktionen sind teilweise disjunktiv (ein Tank darf beispielsweise nicht gleichzeitig befüllt und entleert werden), die gegenseitigen Verriegelungen wurden in Form einer Verriegelungsmatrix festgelegt (Abb. 32).



- Dezentrale Prozessanbindung mit drei Simatic ET200M
- 54 Steuerfunktionen für automatisches Befüllen / Umrühren / Spülen / Abpumpen



- 48 D-, F-, L-, P-, T-Messungen
- 12 drehzahlgeregelte Antriebe
- 56 2- und 3-Wege Stellarmaturen
- 32 temperaturgeregelte Heizkreise

Abb. 33: Automatisierungssystem für das Einsatzstofflager

Die Arbeiten zur modellgestützten Regelung von mehrstufigen Luftkühlern wurden fortgesetzt.

Die Lösungen der Transportgleichung, welche die Temperaturverteilung in einem Wärmeübertrager beschreibt, wurden hergeleitet und numerisch untersucht. Zur Bestimmung der Gleichungskoeffizienten für die angewandte Bauart der Luftkühler (horizontale Rohrbündelwärmeübertrager mit berippten, in Kreuzgegenstromanordnung verbauten Rohren) wurden die Kennzahlen der Wärmeübertragung anhand der Auslegungs- und Literaturdaten berechnet. Wegen des temperaturabhängigen Phasensprungs bei der Kühlung des feuchten Gasgemisches (Wasserdampfkondensation) bedarf der Wärmedurchgang im Falle der Syntheserohgaskühlung noch weiterer Untersuchungen.

Den Temperaturreglern der mehrstufigen Luftkühler wurde eine hysteresenbehaftete Kennlinie nachgeschaltet, aus der die Leistung der einzelnen Kühlstufen abgeleitet wird. Die Hysterese, die sich aus der Mindestdrehzahl der ersten, drehzahlgeregelten Kühlstufe ergibt, soll die Schalthäufigkeit der Lüfter reduzieren. Die neue Regelung wurde mit Stateflow (Kennliniengenerator, Abb. 34) und Simulink (Streckendynamik und PID-Regler) modelliert, eine Umsetzung im Leitsystem wird im nächsten Jahr erfolgen.

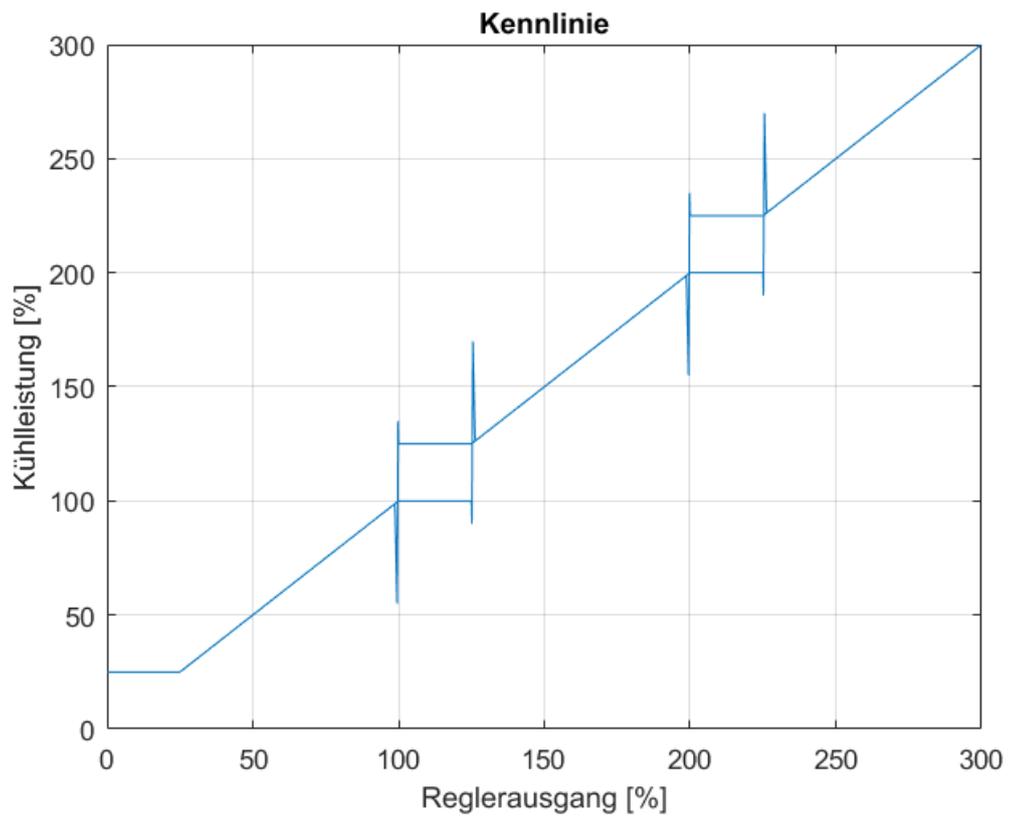
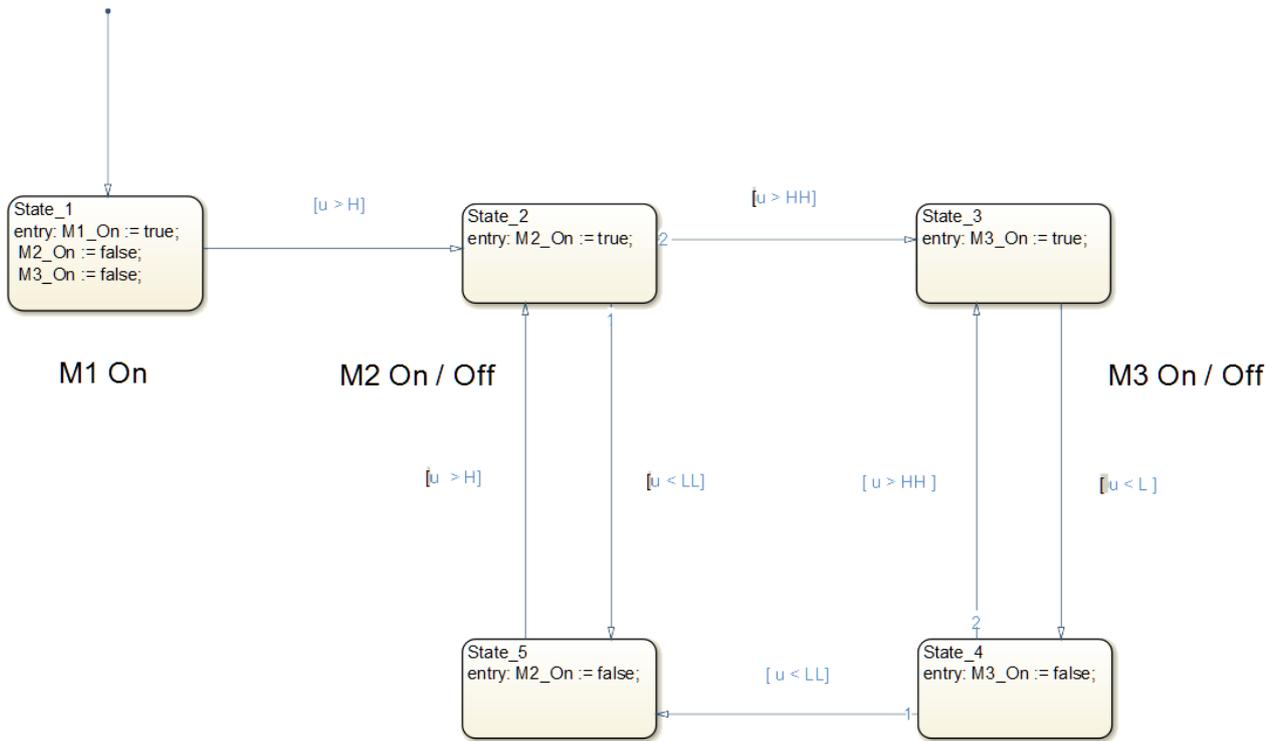


Abb. 34: Kennliniengenerator mit Stateflow

Eine langfristige Aufgabe des IAI ist die Entwicklung einer Simulationsumgebung für den Hochdruckvergaser. Der Prozesssimulator soll hauptsächlich Schulungszwecken dienen und den Anlagebedienern gestatten, schwierige Prozesseingriffe zu üben und dabei die Auswirkungen der Bedienhandlungen besser zu verstehen. Als erste Teilprozesse wurden die Einsatzstoffförderung und das Zuschalten des Einsatzstoffes zum Betriebsbrenner simuliert (Abb. 35 und Abb. 36).

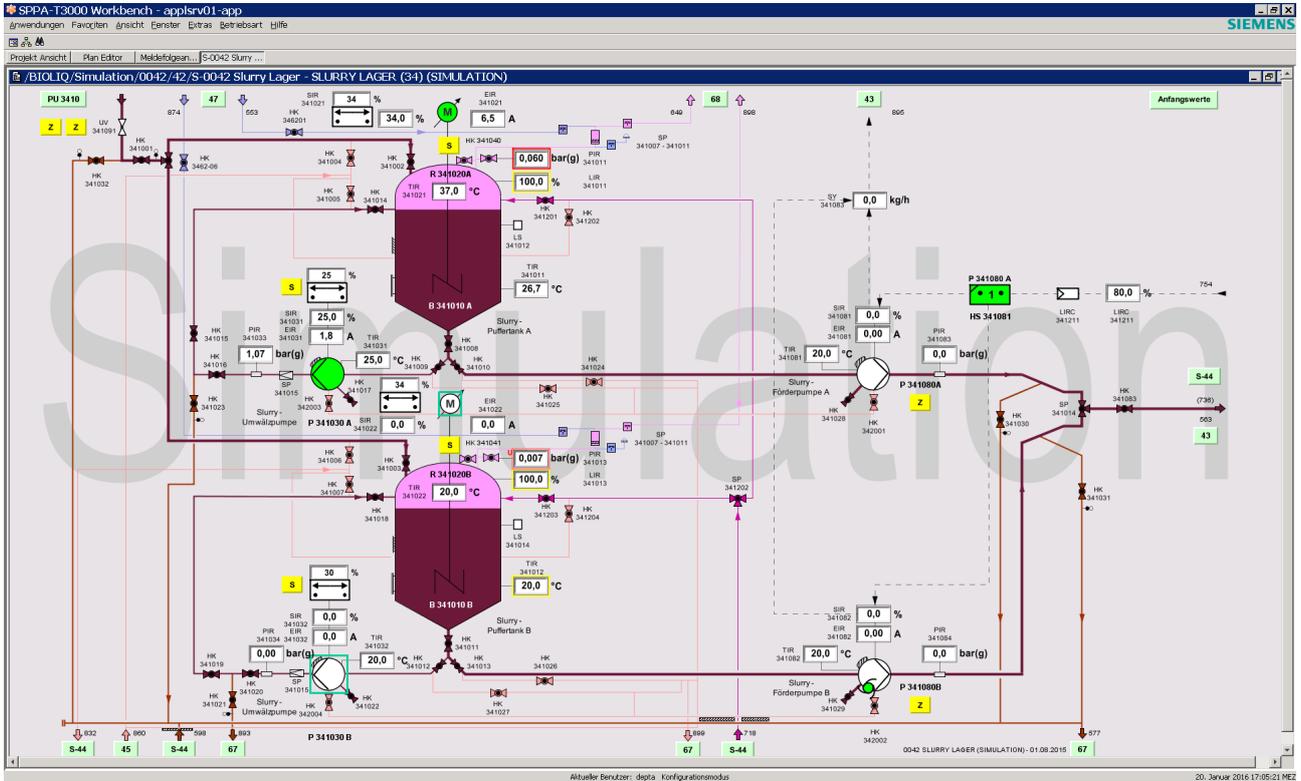


Abb. 35: Bedienbild des Simulators „Einsatzstoffförderung“

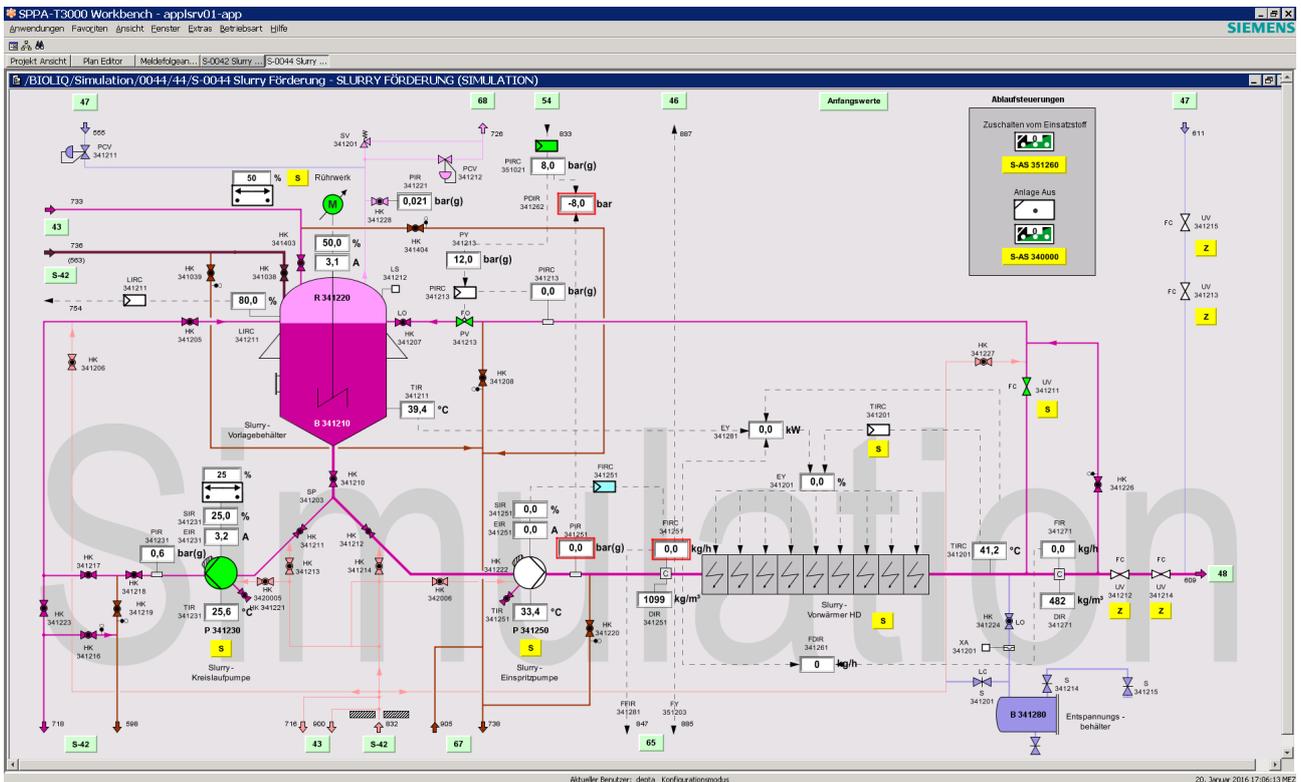


Abb. 36: Bedienbild des Simulators „Zuschalten des Einsatzstoffes zum Betriebsbrenner“

Beim Aufbau des Simulators wird die nachfolgend beschriebene Methodik verwendet. Die Dynamik der Teilstrecken wie die Druck-, Füllstands- oder Temperaturregelung wird mit einfachen Modellen von geringer Ordnung approximiert. Die Modellparameter werden anhand der Messreihen aus repräsentativen Arbeitspunkten geschätzt. Die Teilmodelle werden zunächst mit Simulink prototypisch realisiert und getestet, bevor sie im Leitsystem projiziert werden. Dabei wird die vorhandene Benutzeroberfläche des Leitsystems genutzt, um die Bedienung der simulierten Anlage realitätsnah zu gestalten.

Die ersten Erfahrungen haben gezeigt, dass die Entwicklung komplexer Modelle, deren Konfiguration sich ständig mit der Stellung der Armaturen ändert, mit Simulink relativ aufwändig ist. Zudem fehlen Werkzeuge zur effizienten Umsetzung der Modelle im Leitsystem. In den künftigen Arbeiten wird die Einsatzfähigkeit der Simulationssprache und -umgebung Modelica untersucht.

2015 fanden zwei erfolgreiche Pyrolyse-Versuchskampagnen statt, bei denen jeweils ca. 40 t trockene Biomasse umgesetzt wurde.

Von den jüngsten Erweiterungen in der Pyrolyseanlage ist der neue Feinstaubfilter im Rauchgaszug, dessen Steuerung an das Leitsystem angebunden wurde, zu erwähnen (Abb. 37).

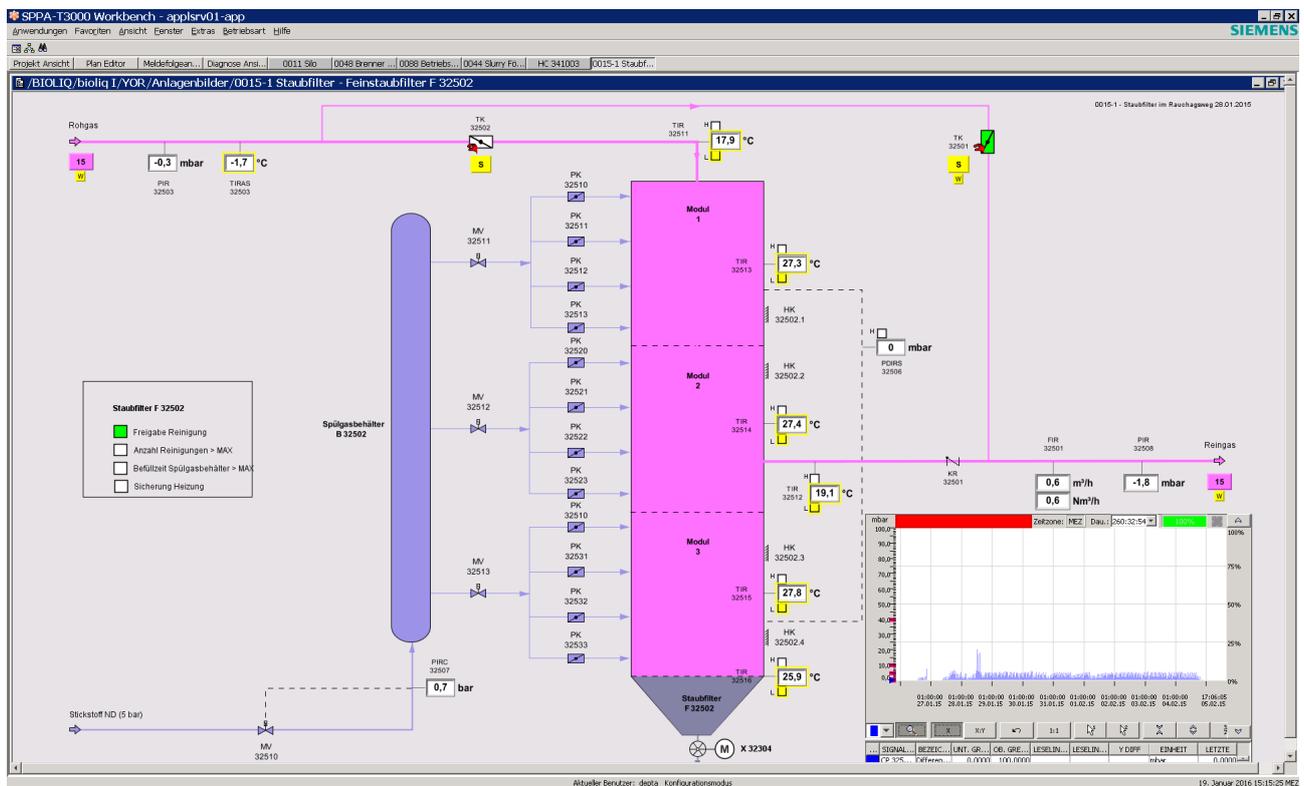


Abb. 37: Anlagenbild des Feinstaubfilters mit einer Differenzdrucküberwachung

Im Produktgaskreislauf wurde die Drehzahlregelung an die Leistung des neuen Produktgasgebläses angepasst, was zu einer deutlichen Verbesserung der Regelgüte in der gekoppelten Druck- und Durchflussregelung geführt hat (Abb. 38). Eine weitere Optimierung des Regelungsverhaltens ist durch den Entwurf modellgestützter Regelung möglich. Ein Simulationsmodell dazu wird im nächsten Jahr entwickelt.

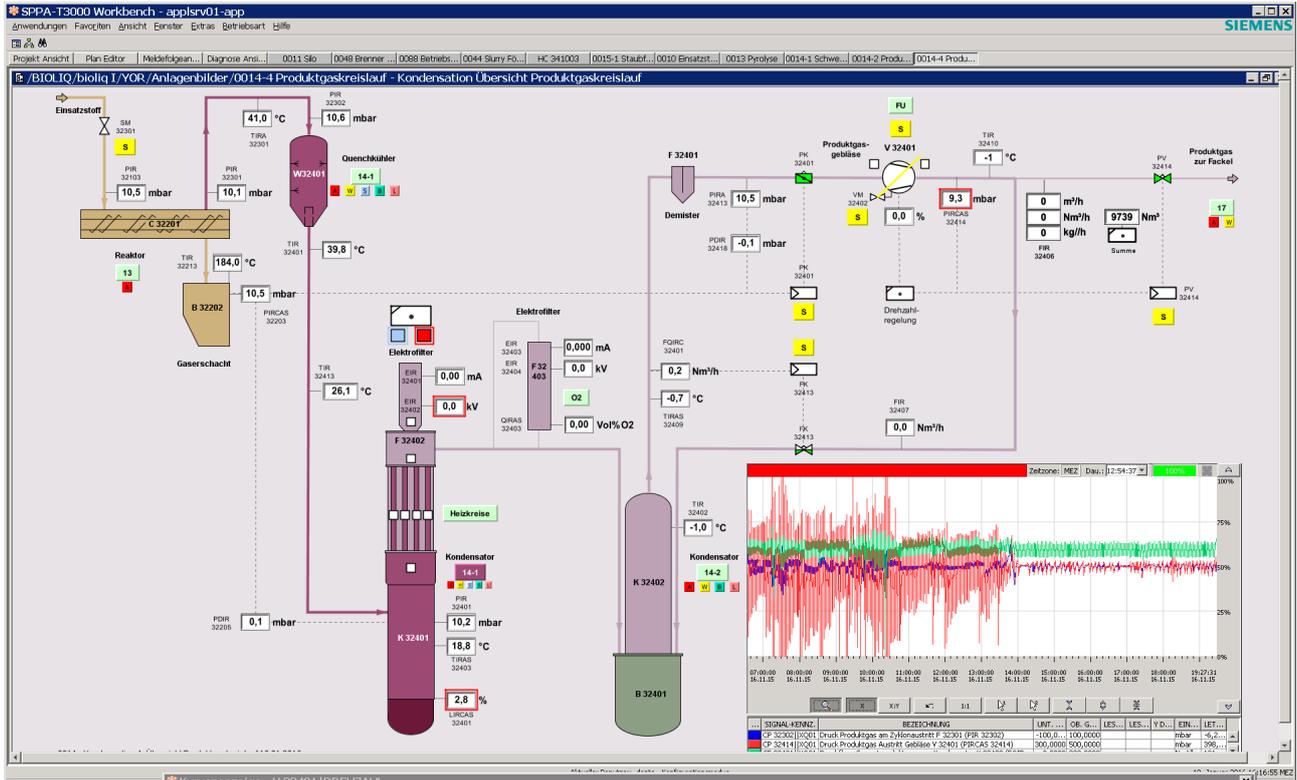


Abb. 38: Produktgaskreislauf mit Druck- und Mengenregelung

Im letzten Jahr fanden außerdem zwei erfolgreiche Hochdruckvergaser-Versuchskampagnen statt, bei denen insgesamt ca. 125 t Einsatzstoff (überwiegend Modellbrennstoff mit dem Pyrolysekoks) umgesetzt wurde. Die zahlreichen Optimierungen in der Anlage und in der Steuerung haben dazu geführt, dass in der Herbstkampagne zum ersten Mal ein ununterbrochener Dauerbetrieb des Hochdruckvergasers mit Einsatzstoff von fast 48 Stunden möglich war.

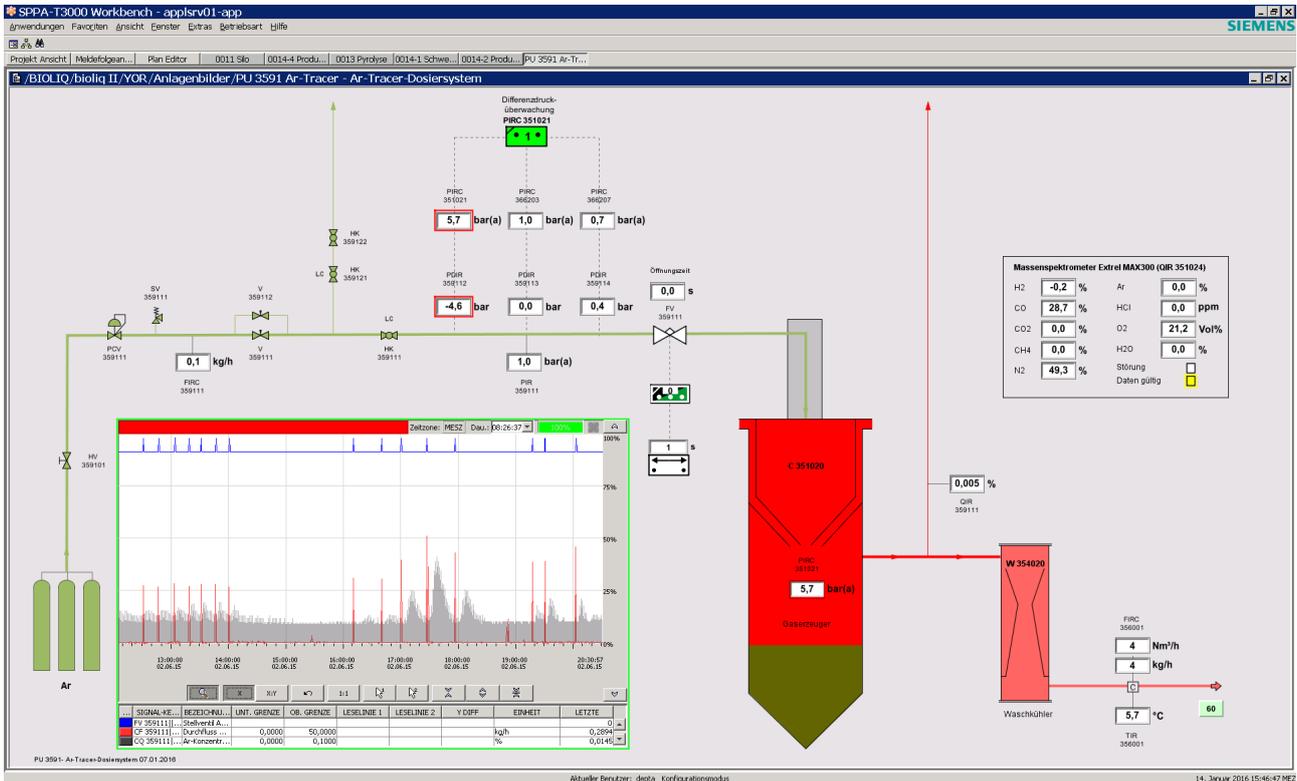


Abb. 39: Anlagenbild des Teststands zur Untersuchung der Verweilzeitverteilung im Reaktorraum

Im vergangenen Jahr wurden Untersuchungen der Verweilzeitverteilung im Reaktorraum des Hochdruckvergasers durchgeführt. Das IAI hat sich am Aufbau eines Teststands beteiligt (Abb. 39).

Der Teststand verwendet Argon als inerten Spurstoff, dessen Konzentration mit einem Massenspektrometer gemessen wird. Zur Ermittlung der Verweilzeitverteilung werden die Stoßmethode (Spurstoffimpulse) und die Verdrängungsmethode (Spurstoffstrom) verwendet. Die hochauflösenden Messungen sollen helfen, die Verteilung und die Vermischung der Reaktionsmassen im Reaktor genau zu bestimmen.

In Anlehnung an die vereinfachte Berechnung auf Wechselbeanspruchung drucktragender Teile von Druckbehältern im Merkblatt S1 des Regelwerks AD (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter) wurde ein Algorithmus zur Bestimmung der Lastwechselspiele für die Druckkomponenten der Anlage entwickelt. Der Algorithmus wurde zunächst mit MATLAB und Stateflow als ein endlicher Automat prototypisch realisiert (Abb. 40) und dann für alle Druckkomponenten des Hochdruckvergasers und der Synthese (insgesamt fast 100 Druckkomponenten) im Leitsystem implementiert.

Die im Rahmen des AD-Regelwerkes durchzuführenden Berechnungen auf Wechselbeanspruchung dienen nicht nur der Ermittlung der Lebensdauer der Druckkomponenten, sondern bestimmen auch die Prüffinteralle und die Prüfumfänge und beeinflussen somit die Betriebskosten der Anlage.

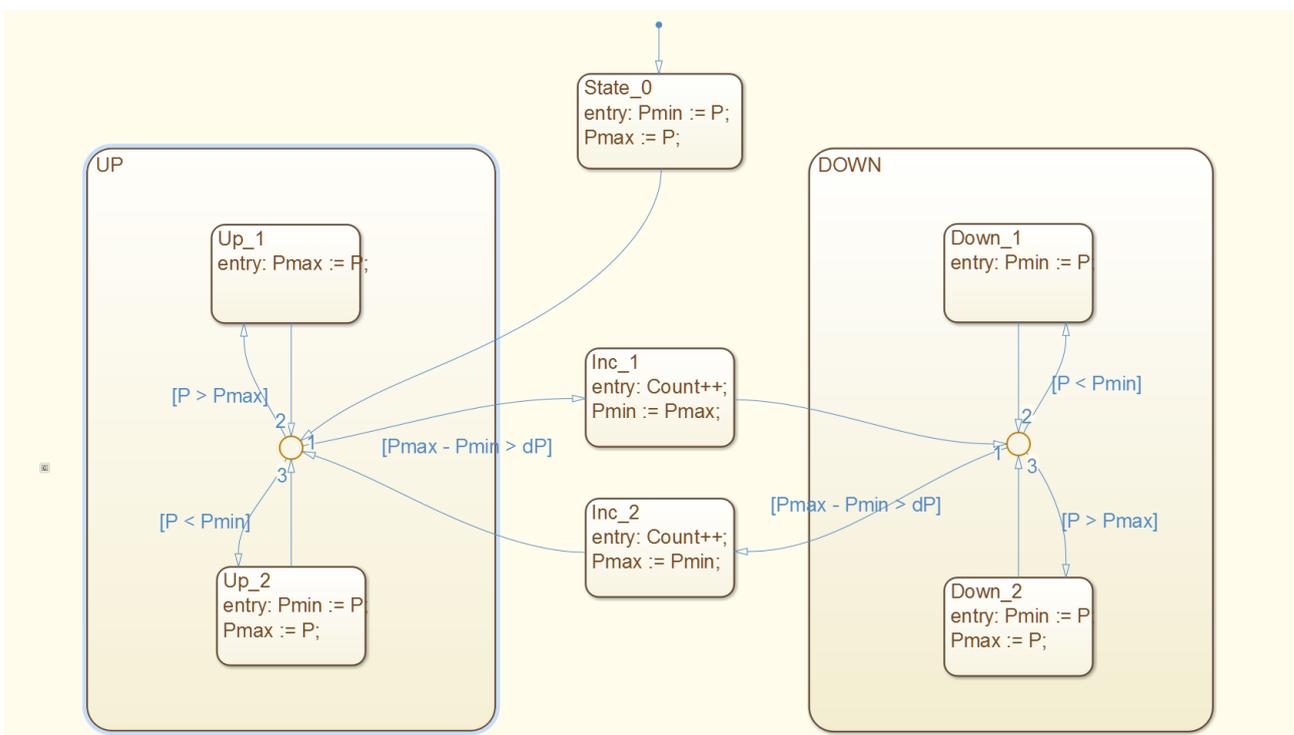


Abb. 40: Stateflow-Diagramm zur Bestimmung der Lastwechselspiele

Programm TIG-E: Technologie, Innovation und Gesellschaft / Energie

Energy – Resources, Technologies, Systems

Informatik für die Energiesystemanalyse

Zur Berechnung und Abschätzung der Wärme- und Kältebedarfe bzw. -lasten von Gebäuden wurde in das am IAI entwickelte Softwarewerkzeug IFCEXplorer eine entsprechende Simulationskomponente integriert. Diese Komponente ist in der Lage, das instationäre thermische Verhalten von Räumen und Gebäuden nach VDI 6007 zu berechnen. Als Grundlage für die Berechnungen dienen ausschließlich standardisierte, semantische Gebäudemodelle, die in unterschiedlichen Detaillierungsgraden vorliegen können. In der ersten Implementierungsstufe wurden Gebäudemodelle betrachtet, wie sie üblicherweise durch Laserscan-Befliegungen landesweit erzeugt werden. Diese sogenannten Level of Detail 2 (LoD 2) Modelle betrachten ausschließlich die Gebäudeaußenhülle, die in Wand-, Boden- und Dachflächen unterteilt ist. Der IFCEXplorer generiert aus solchen Modellen ein sogenanntes Einzonenmodell mit voreingestellten Werten für die Wärmedurchgangskoeffizienten. Enthält das Modell das Baujahr, können aus entsprechenden Datenbanken statistisch ermittelte Koeffizienten entnommen werden. Abb. 41 zeigt ein einfaches Beispiel und die Liste der entsprechenden Ergebnisse.

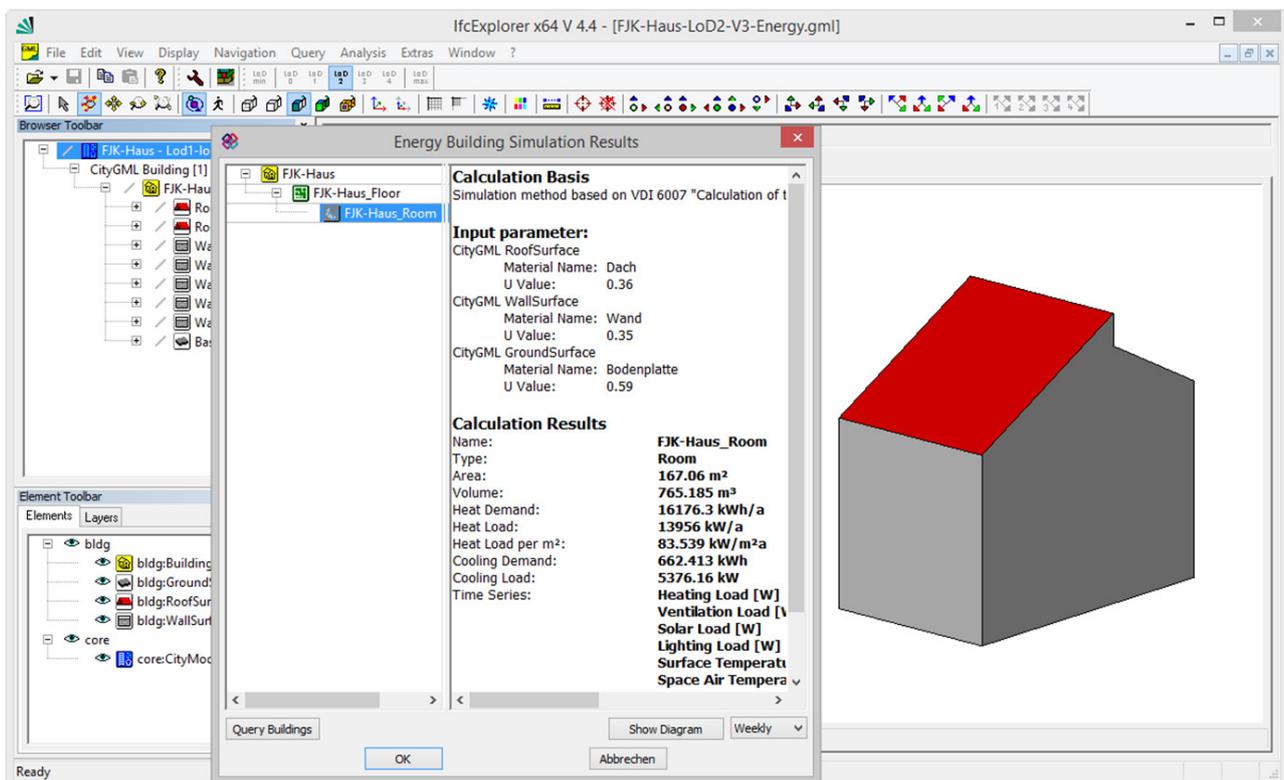


Abb. 41: Einfaches CityGML-LoD2-Modell und die entsprechende Liste der Simulationsergebnisse

Die zur Berechnung notwendigen Klimadaten werden vom IFCEXplorer mit Hilfe der Georeferenz des Modells von einer Datenbank (Meteonorm) abgefragt. Meteonorm interpoliert Klimadaten zwischen den weltweit verfügbaren Messstationen und kann somit für jeden Standpunkt entsprechende Klimawerte zur Verfügung stellen. Mit Hilfe eines stochastischen Modells werden Stundenwerte für ein „Typisches Jahr“ kalkuliert, die dann vom Simulationskern verarbeitet werden.

Alle anderen Simulationsparameter, wie zum Beispiel interne Wärmequellen und Anlagenbetriebskurven, werden zurzeit noch pauschal mit Standardwerten berücksichtigt.

Die Simulationsergebnisse werden zurzeit in einfachen Liniengraphiken dargestellt. Abb. 42 zeigt den Verlauf der Heizlast (links) und die entsprechenden Raum- bzw. Außentemperaturen (rechts). Beide Diagramme zeigen gemittelte Wochenwerte.

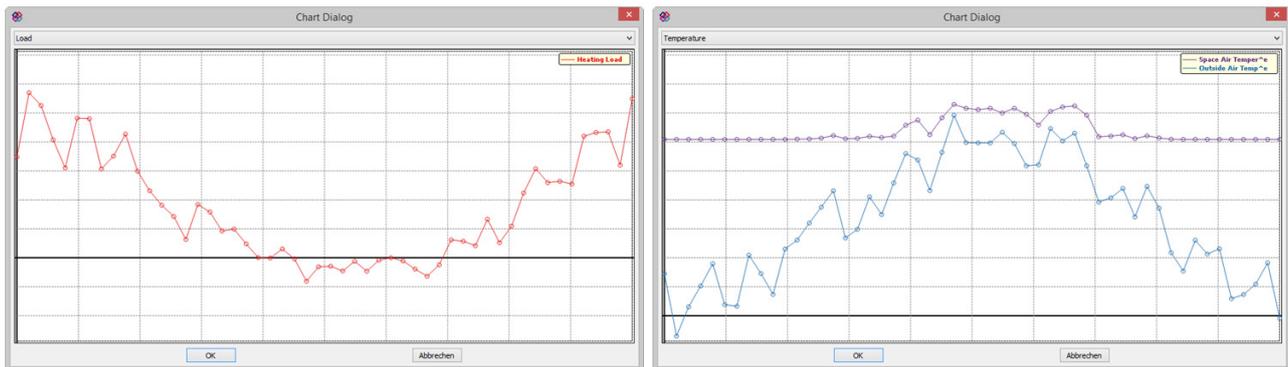


Abb. 42: Gemittelte Wochenwerte für die Heizlast (links) und die Temperaturen (Raum und Außenbereich) (rechts)

Da CityGML in der aktuellen Version 2.0 nicht in der Lage ist, energierelevante Informationen zu speichern, wurde für eine entsprechende Erweiterung des Standards eine internationale Arbeitsgruppe gegründet. Der CityGML-Standard selbst bietet mit der „Energy Application Domain Extension“ (Energy ADE) die Möglichkeit, neue Features (z.B. für thermische Zonen oder Zeitreihen) zu definieren oder bestehende Features attributiv zu erweitern. Die Energy ADE ist in einzelne Module untergliedert, von denen das IAI das Modul „Constructions and Materials“ entwickelt hat. Weiterhin war das IAI (zusammen mit dem Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB) federführend bei der Entwicklung des konzeptionellen (UML-) Modells, sowie für die automatische Ableitung des XML-Schemas und eines interaktiven Feature-Katalogs.

Nach entsprechenden Tests innerhalb der Arbeitsgruppe konnte im Dezember 2015 die erste Version der Energy ADE (Version 0.6.0) veröffentlicht werden.

Die Möglichkeiten einer Integration von Wärme- und Kältespeichern auf Gebäude- oder Siedlungsebene in dezentrale Stromnetze per Laststeuerung (Demand-Side-Management - DSM / Demand Response - DR) wurde untersucht. Anwendungsszenarien (Use Cases) sind solche Speicher, die direkt elektrisch oder indirekt über elektrische Hilfsenergie „beladen“ bzw. „entladen“, also beheizt oder gekühlt werden, wie z.B. Elektro-Speicherheizungen oder Kühlhäuser. Jedoch werden auch Verbrennungs-basierte Heizungen (Zentralheizung, Fernwärme oder Mini-BHKW) mit geringem Stromanteil (<10 %) an der Gesamtleistung, aber dafür sehr hohem Verbreitungsgrad betrachtet. Als Wärme- und Kältespeicher fungieren neben Wasser- oder Eistanks die thermischen Gebäudemassen selbst.

Ziel einer DSM-Integration ist es, die Stromnachfrage dem fluktuierenden Angebot (Wind, Sonne) anzupassen, indem die thermische Trägheit der Speicher ausgenutzt wird. Positive Regelleistung wird durch verminderten oder aufgeschobenen Stromverbrauch, negative Regelleistung durch erhöhten oder vorgezogenen Stromverbrauch erbracht, wobei thermische Nutzeranforderungen an Sicherheit, Hygiene und Komfort einzuhalten sind. Der Ausgleich zwischen Dargebot und Nachfrage soll nach dem Konzept des Virtuellen Kraftwerks bzw. zellulären Ansatzes möglichst lokal auf dem Gebiet einer Siedlung oder Stadt erfolgen.

In 2015 wurde eine methodische Literaturrecherche zur Modellierung, Steuerung und Regelung von Speichern durchgeführt. Die bekannten Modelle wurden nach Aggregations- bzw. Detaillierungsgrad (gekoppelte Wärme- und Strommodelle auf Komponenten- und auf Verbundebene, dynamische und stationäre) und nach Eigenschaften wie Realitätsnähe, Existenz exakter Lösungen und numerischer Genauigkeit klassifiziert. Realitätsnähe ist dabei im Hinblick auf DSM-Interaktionsmöglichkeiten und emergentes Verhalten (stochastische Resonanz) von Speicherverbunden sehr wichtig. Vertieft wurden stochastische hybride Verbundmodelle (Fokker-Planck-PDE) zur Verhaltensbeschreibung von Populationen Thermostat-geregelter Lasten (TCL) und Markovketten, sowie Transformationen zwischen Modellen und dabei entstehende Approximationsfehler untersucht.

Ein Ziel lautet, per Laststeuerung (DSM) betriebene thermische Speicher durch die Kenngrößen von Stromspeichern (u.a. Kapazität, Regelleistung, Rampensteigung) zu charakterisieren. Im ersten Schritt wurden die Potenziale an Kapazität und Regelleistung für Wohngebäude und, soweit Daten vorhanden, für den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) deutschlandweit grob überschlagen.

Zur Kapazitätsabschätzung wurde ein Gebäude-zentrierter Ansatz verfolgt: die gesamten thermischen Gebäudemassen (Hüllen, Zonen) werden entsprechend ihrer nutzbaren Temperaturdifferenzen und -Anteile über elektrische Arbeitszahlen in Strom-äquivalente Wärmekapazität umgerechnet. In Serie geschaltete Wärmeüberträger (Systeme höherer Ordnung) werden damit als Ganzes berücksichtigt, unabhängig von den konkreten Heiz- / Kühlkreisläufen direkt am Stromnetz und deren Kapazität.

Die Regelleistung wird ausgehend von der elektrischen Nennleistung (Ober- und Untergrenze) aller DSM-Geräte unter Berücksichtigung ihres statistischen „Gleichzeitigkeitsfaktors“ charakterisiert. In Anlehnung an den Flexibilitätsbegriff wird die maximale elektrische Mehr- oder Minderleistung bestimmt, die ein thermischer Speicher ab einem Anfragezeitpunkt für eine bestimmte Dauer anbieten kann. Positive und negative Regelleistung verhalten sich komplementär-asymmetrisch zueinander, bestimmt durch die aktive Heiz- oder Kühlleistung im Verhältnis zu den passiven, entgegen wirkenden Verlusten oder Gewinnen. Je besser die Wärmedämmung, umso kleiner die erwartete positive Regelleistung (Minderverbrauch) und umso größer die negative Regelleistung (Mehrverbrauch).

Als vorläufige Ergebnisse wurden im Wohnbereich (Gebäudekerne und Hüllen) maximal ca. 132 GWh Kapazität bei Heiz- und max. 18 GWh Kapazität bei Kühlszenarien, sowie gut 10 GWh in Heizungspufferspeichern sowie Tanks für die Warmwasserbereitung ermittelt. Die Werte für den Nichtwohn-Bereich (GHD) betragen etwa 35 – 40 % hiervon, wobei die Anteile für Kühlung und Klimatisierung aufgrund der Kühlhäuser / Supermärkte hier höher ausfallen. Bei der Flexibilitätsreserve können bis zu 20 GW an positiver und negativer Regelleistung (zusammen) in Deutschland erwartet werden. Die Rampenleistung thermischer Speicherverbunde (GW/min.) wird im Zusammenhang mit der Regenerationsfähigkeit bzw. Erholungszeit nach Inanspruchnahme der Flexibilität als ein nächster Punkt zu untersuchen sein.

Zur Implementierung und Erprobung konkreter DSM-Strategien wurde ein Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL) Experiment für die Testumgebung SEnSSiCC (Smart Energy System Simulation and Control Center) des Energy Lab 2.0 entworfen. Dabei soll eine Wärmepumpe mit ihrer DSM-Steuerung als realer Verbraucher in einer Siedlung mit ca. 100 simulierten Heizsystemen eine Mikrozelle bilden.

Im EU-Projekt STREAMER (Semantics-driven Design through Geo and Building Information Modelling for Energy-efficient Buildings Integrated in Mixed-use Healthcare Districts) lag der Fokus in der Weiterentwicklung des sogenannten Early Design Configurators (EDC). Der EDC unterstützt die erste Designphase eines neuen Gebäudes, indem auf Basis eines Raumbuches und der gewünschten Außenhülle des Gebäudes verschiedene Raumanordnungen generiert werden. Die verschiedenen Raumanordnungen werden in einem weiteren Schritt analysiert und anhand von sogenannten Key Performance Indicators (KPI) bewertet.

Die Raumanordnungen werden mit einem evolutionären Algorithmus erzeugt, der zurzeit nur die Raumausnutzung bei verschiedenen Korridorordnungen berücksichtigt. Weitere „Design-Regeln“ werden zurzeit von Projektpartnern formuliert und können erst in späteren Versionen des EDC berücksichtigt werden.

Zur Weitergabe an die nächsten Designschritte ist der EDC in der Lage, nicht im Raumbuch definierte Räume (z.B. Korridore) zu erzeugen und das gesamte Modell als dreidimensionales, digitales Gebäudemodell abzuspeichern. Um die Modelle sowohl in Geographischen Informationssystemen (GIS) als auch in Building Information Modelling Applikationen weiter bearbeiten zu können, werden die Gebäudemodelle in die semantischen Datenmodelle CityGML und IFC (Industry Foundation Classes) konvertiert.

Programm TIG-ST: Technologie, Innovation und Gesellschaft / Schlüsseltechnologien

Innovation Processes and Impacts of Technology

IT-Komponenten für die Energiewende

Ziel der FuE-Arbeiten der Forschungsgruppe „Webbasierte Informationssysteme“ des IAI ist die Entwicklung und Nutzung innovativer Internettechnologie-basierter Datenverarbeitungs- und Informationsmanagement-Methoden für die Konzeption, Analyse und Bereitstellung von Energieinformationssystem-Komponenten als Planungs- und Visualisierungsinstrumente zur Steuerung innovativer Smart-Grid-Lösungen sowie als Grundlage für die Interaktion und den Dialog mit Bürgern über Fragen zur Energiewende.

Als konzeptionelle Grundlage für den modularen Komponentenbaukasten wurde 2015 eine erste Version einer grundlegenden, modularen IT-Systemarchitektur entwickelt, die als Toolbox zum Aufbau größerer und sehr leistungsfähiger Internetanwendungen, wie z.B. einem „Internet der Energie“, einer intelligenten Leitstelleninfrastruktur für „Smart Grids“, von E-Government-Lösungen oder komplexeren Internet-basierten Bürgerinformationssystemen, wie z.B. Landes-Umweltportalen, zur Information des Bürgers über umweltrelevante Fragestellungen dienen kann.

Im Rahmen von ersten Voruntersuchungen hierzu wurden 2015 Anforderungen an eine solche Plattform am Beispiel von konkreten Anwendungsprojekten analysiert. Ein Fokus lag dabei auf der Ermittlung von grundlegenden Komponenten, die für den Aufbau der forschungsorientierten Leitstelleninfrastruktur des Energy Lab 2.0 notwendig sind. Hierzu wurde analysiert, welche Daten in dieser Infrastruktur gespeichert werden sollen, und deren erwartete Datenmenge und Geschwindigkeit bei der Erfassung. Des Weiteren wurde untersucht, wie auf diese Daten zugegriffen, wie diese aggregiert und analysiert und schließlich visualisiert werden sollen. Schließlich wurden die Nutzungsszenarien auch in Bezug auf Sicherheit und Datenschutzaspekte analysiert. Ein weiterer Fokus bestand in der Analyse neuerer Anforderungen an Umweltportale und Umweltfachanwendungen. Diese integrieren zunehmend große Mengen an strukturierten und unstrukturierten Daten und neuerdings auch Messdaten aus Messnetzen und Sensornetzwerken im Sinne von „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT) Anwendungen. Beide Anwendungssituationen weisen daher bei der Datenerfassung, Analyse und Darstellung ähnliche Anforderungen auf.

Über eine Literaturrecherche wurden bereits existierende generische Ansätze zum Aufbau modularer Internet-gestützter IT-Systemarchitekturen für ein „Internet der Energie“ oder „Internet of Things“ (z.B. FIWARE) auf ihre Eignung als Grundlage für die gewünschte IT-Architektur evaluiert. Dabei zeigte sich, dass eine Cloud- und Big-Data-Technologie-basierte Laufzeitumgebung sowie ein darauf aufsetzender Microservice-basierter Systemarchitekturansatz eine sehr gute Grundlage für den geplanten modularen Baukasten wiederverwendbarer Komponenten für die anvisierten Anwendungsarten sein könnte. Dieser grundlegende Architekturansatz ist in Abb. 43 am Beispiel des Energy Lab 2.0 als Anwendung verdeutlicht.

Auf der Laufzeitinfrastrukturebene (Hardware-nahe Ebene) besteht eine solche Infrastruktur hierbei aus Rechnerclustern (wie sie in lokalen Rechenzentren oder auch durch Cloudanbieter bereitgestellt werden), die eine vereinheitlichte, verteilte und horizontal skalierbare rechnerübergreifende Betriebsumgebung für Anwendungen bereitstellt. Ein darüber liegendes Verteiltes Cluster-Betriebssystem automatisiert den Betrieb des gesamten Clusters über eine integrierte Administrationsumgebung und schafft für Anwendungen eine abstrakte, rechnerübergreifende und verteilte Betriebssystem-Laufzeitumgebung; z.B. durch Instrumentierung von Container-Virtualisierung mit Docker, Marathon und verteilten Koordinierungs- (Zookeeper) und Task-Managementdiensten (Yarn), über die „Big Data“-Infrastrukturdienste und verteilte Microservice-basierte Anwendungen automatisiert und verteilt auf verschiedenen Rechnern in einem lokalen Rechnercluster oder auch in Cloudinfrastrukturen gestartet und überwacht werden können. Ein verteilter Betriebssystem-scheduler (Mesos) sorgt dabei für eine gleichmäßige Lastverteilung auf den verschiedenen Rechnerknoten (siehe Abb. 43 „BS und Cluster Management“). Auf dem verteilten Betriebssystem aufbauend können dann aus der „Big Data“-Welt bekannte Grundsoftwaredienste für datenzentrische Anwendungen, z.B. verteilte Datenbanksysteme, wie NoSQL-Datenbanken, aber auch relationale Datenbanken oder verteilte Dateisysteme, wie das Hadoop File System (HDFS), oder aber auch „Big Data“-Analysewerkzeuge, wie „Apache Spark“ oder „Apache Storm“, bereitgestellt werden, die dann zum Aufbau anwendungsspezifischer Dienste

genutzt werden können (siehe Big Data Grundinfrastruktur in Abb. 43). Oberhalb einer solchen Grundinfrastruktur, wie man sie z.B. in Form des Distributed Computing Operating System (DCOS) oder als mapR kommerziell erwerben kann, können dann modulare, hochverteilbare Microservices für die jeweilige Anwendung, z.B. eine hochskalierbare Leitstelleninfrastruktur für Smart Grids, konzipiert und realisiert werden.



Abb. 43: Laufzeitsystem und grundlegende Systemarchitektur für eine forschungsorientierte „Smart Grid“-Leitstelleninfrastruktur

Als grundlegende Elemente einer anwendungsspezifischen Diensteschicht im Fall datenzentrischer Anwendungen, wie einer Leitstelleninfrastruktur oder einer IoT-Anwendung, werden dabei zunächst (generische) Datendienste zur Speicherung von Mess- und Logdaten (Time Series Data), zum Management von technischen Metadaten (formale Beschreibung von Gebäuden, technischen Anlagen, Messequipment, etc.), zur Speicherung großer textueller oder binärer Daten als Binär- oder Textdatei oder auch Datendienste zur Bereitstellung von Geodaten, Wetterdaten oder Netzbeschreibungen (Graphen) benötigt, die über eine vereinheitlichte generische Zugriffsschicht (GDS-Zugriffsschicht, siehe Programm SBD) mit standardisierten Schnittstellen bereitgestellt werden. Des Weiteren werden Grunddienste zur Bereitstellung von generischen Mechanismen zur Durchführung von Datenanalysen oder zur Durchführung von Simulationen, Optimierungen, usw. benötigt (Zugriffsschicht für Applikationen). Diese Diensteschicht kann dabei noch weitgehend anwendungsunabhängig gestaltet und damit in verschiedenen Anwendungen wiederverwendet werden.

Oberhalb dieser grundlegenden Architektur können dann spezifische Microservice-basierte Anwendungen für bestimmte Anwendungszwecke (z.B. Energiemanagement, Monitoring und Steuerung von Energiesystemen, also SCADA, eine Co-Simulationsplattform oder Anwendungen zur Betriebsplanung etc.) realisiert werden.

Durch diese Architektur lassen sich große Teile des Softwarestacks für unterschiedlichste Anwendungen nutzen. Zur Evaluation und Instrumentierung der IT-Systemarchitektur wurden in 2015 eine Reihe von generischen Basiskomponenten entsprechend der Microservice-orientierten Architektur entwickelt bzw. auf eine Microservice-basierte Architektur migriert, die sich automatisiert auf der dargestellten Grundinfrastruktur betreiben lassen. Hierzu gehören universelle Komponenten zur Darstellung von beliebigen Geodatenlayern über einen auf die Google-Maps-API basierenden webbasierten Kartenclient, Datendienste zur Speicherung von Messdaten in speziellen auf Zeitreihen spezialisierten Datenbanken sowie einem Microservice-basierten

Framework zur Darstellung von Messdaten in interaktiven graphischen Diagrammen, wie sie z.B. zur Visualisierung von Messdaten in Leitstellenanwendungen benötigt werden. Diese Microservice-orientierten Komponenten wurden dann sowohl auf Cloud-Laufzeitumgebungen, wie der Google Cloud, und eigenen Rechnerinfrastrukturen getestet. Ende 2015 wurde ein Rechnercluster für das Energy Lab 2.0 beschafft und mit einer verteilten Betriebssystemumgebung, wie sie weiter oben beschrieben ist, instrumentiert. In 2016 wird diese als Laufzeitumgebung zur Evaluation und zum Test weiterer Komponenten auf einem lokalen Cluster dienen.

Die entwickelten Komponenten wurden weiter in einer Reihe von anwendungsorientierten Projekten, u.a. aus dem Umweltbereich, auf ihre Einsatztauglichkeit getestet und sind mittlerweile bereits in einigen Produktionssystemen im Einsatz. Dabei wurden die Komponenten unter anderem zur Darstellung von Energiesachverhalten im Energieatlas Baden-Württemberg, im Umweltportal Baden-Württemberg, der mobilen Anwendung „Meine Umwelt“ und dem Themenpark Umwelt eingesetzt.

Die Belastbarkeit der für die Landesumweltportale entwickelten service- und komponentenbasierten Architektur demonstriert eindrucksvoll der Energieatlas Baden-Württemberg (<http://www.energieatlas-bw.de>). Er ist das gemeinsame Internet-Portal des Umweltministeriums und der LUBW für Daten und Karten zum Thema „Erneuerbare Energien“, das dem Bürger Informationen zu bestehenden Energietechnologien aber vor allem auch zum Potential des Einsatzes neuer Energietechnologien oder des Einsatzes von „Smart Grid Lösungen“ in Baden-Württemberg sowie Kennwerte und Indikatoren hierzu vermittelt (Beispielkarte siehe Abb. 44). Hierzu aggregiert der Energieatlas auf Landes- und kommunaler Ebene Kennwerte, wie die gesamte produzierte erneuerbare Energie oder das Potential zur Errichtung neuer erneuerbarer Energiesysteme. Informationstechnisch basiert der Energieatlas dabei auf dem weiter oben beschriebenen Softwarebaukasten, der teilweise für die Nutzung im Energieatlas erweitert wurde. Die Karten- und Datendienste, z.B. zur Bereitstellung der Daten zur aktuellen Einspeisung von Wind- und Solarenergie, basieren auf Microservices oder Cloud-Diensten, die auch für die Implementierung von Landes-Umweltportalen eingesetzt werden (LUPO-Baukasten).

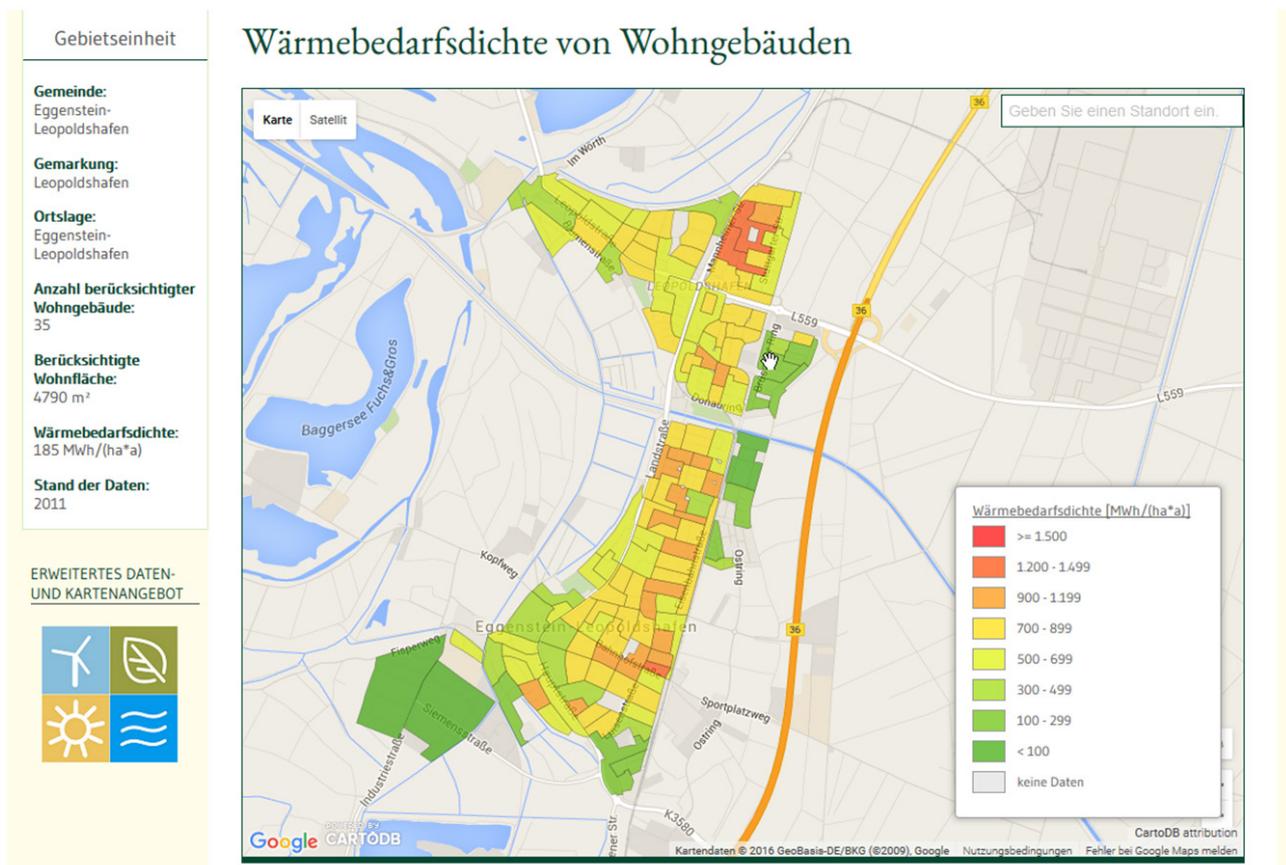


Abb. 44: Beispielseite aus dem Energieatlas Baden-Württemberg (Wärmebedarfsdichte von Wohngebäuden)

Auch beim Betrieb ergeben sich Synergien aus inhaltlichen Überschneidungen von Energieatlas, der App „Meine Umwelt“ und des Landesumweltportals. So werden Kartenlayer gemeinsam durch alle drei Systeme genutzt und können an zentraler Stelle gepflegt werden.

Darüber hinaus werden LUPO-Komponenten und -services auch von weiteren Webseiten und Portalen genutzt, z.B. der Homepage der LUBW (<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>) oder auf der Suchseite des Umweltministeriums Baden-Württemberg (<http://um.baden-wuerttemberg.de/de/system/suchergebnisseite/>).

Die Landesumweltportale (LUPO) dienen seit dem Jahr 2004 als zentrale Einstiegspunkte zur Recherche nach Umweltinformationen für inzwischen fünf Bundesländer. Die LUPO-Portale verstehen sich dabei als Anwendungen eines gemeinsam genutzten Baukastens von Komponenten und Diensten, die in ihrem Zusammenspiel ein Umweltportal ergeben (LUPO-Portal-Baukasten), aber auch darüber hinaus genutzt werden können (s. mobile App „Meine Umwelt“ und „Energieatlas Baden-Württemberg“). Die Architektur der Portale wurde im Rahmen einer Konsolidierung mit der bereits weiter oben beschriebenen Architektur auf diese Microservice-basierte Architektur unter Nutzung einer Portalsoftware, welche auf der Enterprise Open Source Portalsoftware „Liferay“ aufsetzt, als Frontend für die Integration und Präsentation der Inhalte umgestellt. Der Frontendportalserver dient dabei auch als Redaktionsplattform für durch Autoren gepflegte Inhalte. Darüber hinaus bietet Liferay aktuelle Technologien zur Umsetzung eines zeitgemäßen, modularen und Anbieter-spezifisch umsetzbaren Stylings, Designs und Layouts von Portalseiten.

Die in den Portalen präsentierten Inhalte werden gemäß der Microservice-basierten Architektur durch einzelne Microservices zur Verfügung gestellt, die Inhalte und Daten unabhängig voneinander bereitstellen. Viele Services dienen dabei der Entkopplung der Portale von Original-Datenquellen, die z.B. nicht über geeignete Schnittstellen verfügen, Daten nicht performant bereitstellen können, nicht mit einer hohen Anzahl von Anfragen skalieren oder nicht aus dem Internet erreichbar sind. Auch weitere spezialisierte Werkzeuge (Volltextsuchmaschine, Objekt-Suchmaschine, News, Kalender) werden über systemunabhängige Service-Schnittstellen verfügbar gemacht. Um eine möglichst große Unabhängigkeit, Verfügbarkeit und Skalierbarkeit der Services zu erreichen, werden sie in Form von gekapselten Anwendungen innerhalb von Containern (z.B. Docker) auf der Laufzeitinfrastruktur bereitgestellt und können so auf verschiedenen Laufzeitplattformen auf dieselbe Art bereitgestellt werden. Damit lassen sich Services und Anwendungen ohne Modifikation z.B. auf dedizierten Servern, in Server-Clustern oder in der Cloud betreiben. Im Zusammenwirken mit einer entsprechenden Basis-Infrastruktur (z.B. Google Kubernetes) ist damit eine horizontale Skalierbarkeit der Anwendungen per se gegeben, z.B. um mit gehäuften Anfragen im Krisenfall, etwa einer Hochwasserlage, umgehen zu können. Diese Vorgehensweise hat sich bereits in den Produktionsversionen der Landesumweltportale und im Energieatlas bewährt.

In den Umweltportalen werden die verschiedenen Daten, Dienste und Frontend-Komponenten miteinander verknüpft, insbesondere um auch unbedarften Anwenderinnen und Anwendern eine einfache Schnittstelle bieten zu können, z.B. einen einzelnen Suchschlitz, der sowohl eine thematische als auch eine örtliche Suche erlaubt (z.B. „Luftqualität in Karlsruhe“). Zu diesem Zweck wurde ein generischer, clientseitiger Kommunikationskanal „Event-Bus“ entwickelt, der grundsätzlich allen im Portal verwendeten Komponenten den Austausch von Nachrichten und Daten ermöglicht. Solche Frontend-Komponenten können z.B. eine Kartenansicht, Messwert-Darstellungen, eine Volltextsuche-Trefferliste oder die Darstellung einzelner Objekt-Informationen sein. Die Anwendung (z.B. das Umweltportal) legt dabei fest, welche Arten von Nachrichten ausgetauscht werden können, und wie Nachrichten ggf. angereichert bzw. expliziert werden, z.B. durch Abbildung des Begriffes „Luftqualität“ auf den Deskriptor „LUFTGÜTE“ oder das Hinzufügen einer geografischen Bounding-Box zum Ortsbegriff „Karlsruhe“. Dabei wird im Bereich der Umweltportale auf eine lose Kopplung gesetzt, denn eine Untersuchung vieler Anwendungsfälle hat gezeigt, dass eine inhaltlich-thematische und/oder örtliche Verknüpfung von Messwerten, Objekten und Ereignissen in vielen Fällen ausreicht. Dennoch wird an einer engeren, semantischen Verknüpfung von Daten und Objekten geforscht, insbesondere daran, wie dies möglichst automatisiert und ohne manuelle Eingriffe erreicht werden kann.

Das Landesumweltportal Baden-Württemberg wurde bereits im Dezember 2014 auf den neuen serviceorientierten Technologie-Stack umgestellt; es folgten die Umweltportale weiterer vier Bundesländer, zunächst in Showcases, inzwischen teilweise auch produktiv. Für die Nutzer ergeben sich daraus in erster Linie ein breiteres Spektrum von Darstellungen (insbesondere interaktive Kartenansichten und detaillierte Objektinformationen) sowie eine deutlich verbesserte Ergonomie. Für die Betreiber ergeben sich Synergien durch die Unabhängigkeit von Services und Frontend-Komponenten, die z.B. auch in mobilen Anwendungen oder in weiteren Websystemen und Portalen genutzt werden können.

Die mobile App „Meine Umwelt“ startete als Ableger der Landesumweltportale zur Bereitstellung von Umweltinformationen auf Mobilgeräten wie Smartphones oder Tablets. Sie ist seit dem Jahr 2013 für das Land Baden-Württemberg verfügbar und wird seitdem regelmäßig inhaltlich und funktional erweitert. Die App baut dabei hauptsächlich auf Services auf, die bereits für die Nutzung durch die Umweltportale entwickelt wurden, z.B. zum Abruf von aktuellen Luftmesswerten oder Pegelraten, aber auch von Geoinformationen (Schutzgebiete, erneuerbare Energien, Erlebnisorte, etc.). Neben dem themen- und standortspezifischen Abruf von Umweltinformationen ist über die App auch die Erfassung von Umweltinformationen möglich, z.B. die Meldung von Artenfunden (z.B. Ambrosia, Weinbergschnecken, Hirschkäfer, Laubfrösche etc.) oder Umweltbeeinträchtigungen (z.B. Müllablagerungen, Gewässer- und Luftverschmutzung, Lärm). Hierfür wurde in zwei Ausbaustufen ein Backend-System implementiert, das auch Schnittstellen für die Bearbeitung der Meldungen in teilweise bestehenden Workflows ermöglicht, beispielsweise durch die Umweltmeldestelle Baden-Württemberg.

Von Beginn an war „Meine Umwelt“ für die Nutzung in mehreren Bundesländern konzipiert und vorbereitet. Nicht zuletzt getrieben durch Nutzerfeedback wurde dieser Anspruch nun auf die Bereitstellung von Umweltinformationen für ganz Deutschland ausgeweitet, die Datendienste entsprechend generiert und inhaltlich erweitert, so dass nun eine inhaltliche Grundausstattung für ganz Deutschland vorhanden ist, die durch die beteiligten Länder ergänzt werden kann. Eine landesspezifische Ausprägung für das Land Sachsen-Anhalt ist bereits produktiv, eine für Thüringen in Vorbereitung.

Dass das generische Konzept der „Meine Umwelt“-App auch für weitere Anwendungsfälle trägt, zeigt die App „Meine Pegel“, die als Spezialisierung der App mit der zusätzlichen Funktionalität „Warnungen“ entstanden ist. Hier können Nutzer spezifische Einstellungen hinterlegen und sich z.B. beim Erreichen einer bestimmten Hochwassermarke oder eines bestimmten Pegelwertes aktiv benachrichtigen lassen.

Neben den genannten fachlichen Arbeiten wurde auch im Jahr 2015 das Projektmanagement und die Federführung auf Seiten der Forschungsinstitute im FuE-Verbundprojekt „Innovative Umweltinformationssysteme (INOVIUM)“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit Partnern bei Bund, Ländern, Gemeinden, Wissenschaft und Wirtschaft wahrgenommen.

Ziel der Arbeiten im Rahmen des Projektes „Wissenschaftliches Informationssystem für die Atmosphärenforschung (WISA)“ ist die Verwaltung und Visualisierung der anfallenden Mess- und Ergebnisdaten des flugzeug- und ballongestützten Infrarot-Messsystems GLORIA-AB (Gimballed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere – Air Borne Version). Zur Evaluierung und Optimierung der vorhandenen Algorithmen zur Weiterverarbeitung der Messdaten (atmosphärische Massendaten) wurde 2015 mit dem *Cub-Viewer* ein Visualisierungswerkzeug zur Darstellung und Analyse der vorverarbeiteten Messdaten (Interferogramme und Spektren) für das IMK (Institut für Meteorologie und Klimaforschung) entwickelt.

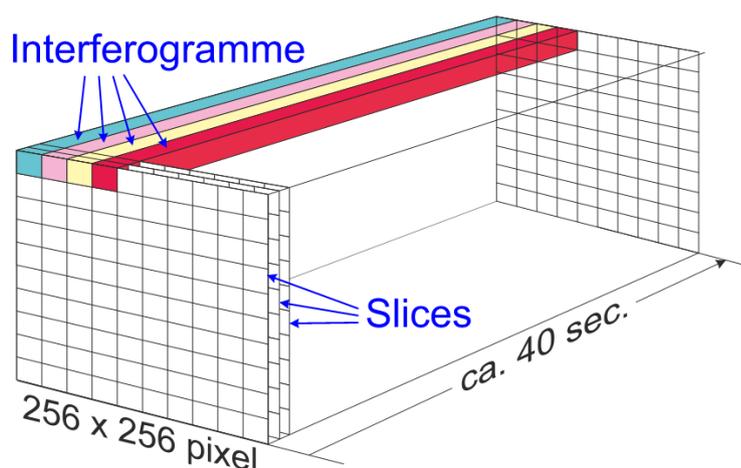


Abb. 45: GLORIA-Datensatz, Strukturelemente-Slice und Interferogramm

Die in Quaderform vorliegenden dreidimensionalen GLORIA-Daten können nun von allen drei Seiten interaktiv durchlaufen werden. Von Interesse sind dabei neben den Gesamtansichten der sichtbaren Slices (s. Abb. 45) die Funktionsverläufe der sich hinter der Cursorposition senkrecht zum Bildschirm befindlichen Daten (in Längsrichtung: Interferogramme bzw. Spektren). Die Anzeige und Aktualisierung der Funktionsverläufe findet in Echtzeit beim Bewegen des Cursors durch den Anwender statt.

Abb. 45 zeigt schematisch einen GLORIA-Datensatz. Ein Slice entspricht dabei einer Aufnahme des GLORIA-Detektors pro Zeiteinheit. Die Summe

der Werte eines Pixels für die gesamte Aufnahme ergibt einen Funktionsverlauf, welcher einem gemessenen Interferogramm entspricht. Abb. 46 zeigt die Frontseite eines Datensatzes, welcher mit 48x128 Pixel aufgenommen wurde.

Zur Optimierung der Visualisierung bietet der *CubViewer* zahlreiche interaktive Bedien- und Konfigurationsmöglichkeiten, u.a.: ein Begrenzen des Datensatzes in Breite und Tiefe mit entsprechender Anpassung der Wertebereiche für Extrem- und Mittelwertberechnungen, das automatisierte und manuelle Durchlaufen der Quader in alle drei Richtungen mit Anzeige der aktuellen Positionen, Zeit- (in Längsrichtung) und Extremwerte sowie das Begrenzen (Filtern) der Minimal- und Maximalwerte für den jeweils angezeigten Slice, für den gewählten Teilbereich des Datensatzes oder den kompletten Datensatz.

Zurzeit können unterschiedliche Datenformate eingelesen werden: mehrere IMK-eigene Datenformate sowie das neutrale netCDF-Format. Der *CubViewer* wurde streng komponentenbasiert in der Programmiersprache Java entwickelt.

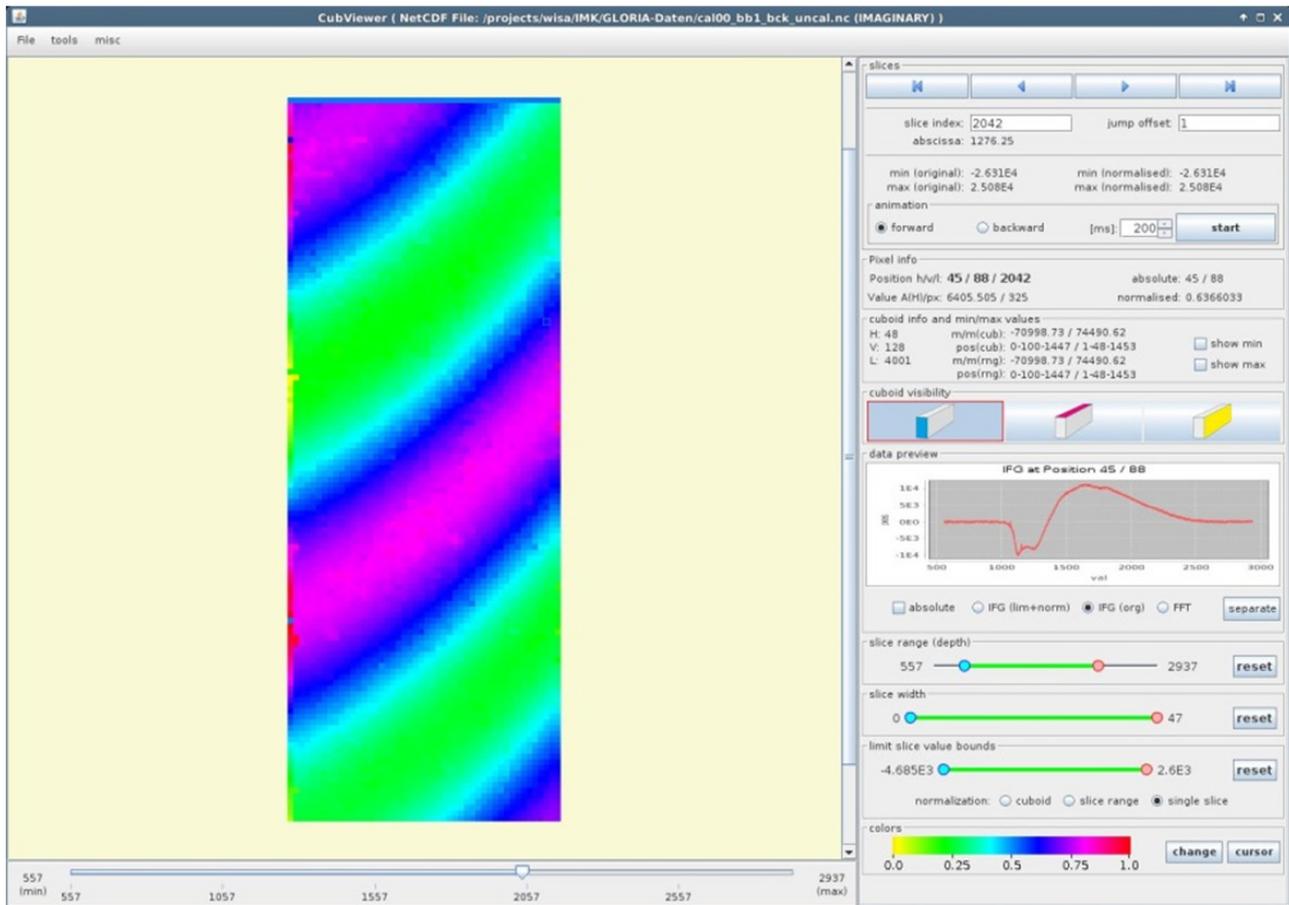


Abb. 46: GLORIA-Datensatz, Screenshot des CubViewers

Programm BIFTM: BioInterfaces in Technology and Medicine

Biologische Netzwerke und Synthetische Regulatoren

Automatisierte Bild- und Datenanalyse

Im Life Science Bereich beruhen viele moderne Hochdurchsatzexperimente auf der Anwendung von hochauflösenden Messverfahren. Eine manuelle Versuchsdurchführung und Datenanalyse ist wegen der großen Anzahl an Untersuchungen und der entstehenden großen Datenmengen nicht mehr sinnvoll. Eine besonders große Herausforderung sind mehrdimensionale *in vivo* Daten von Zebrafischlarven. Am KIT werden im Rahmen des Imaging Hubs und des Screening Hubs zahlreiche neue Technologien zur automatisierten Durchführung und Analyse solcher Hochdurchsatzexperimente entwickelt und eingesetzt. Ein wesentliches Ziel besteht darin, modulare Lösungen zu entwickeln, die dann mit geringem Aufwand auf ähnliche Experimente übertragbar sind.

Ein Beispiel für ein solches automatisiertes Hochdurchsatzexperiment zeigt Abb. 47 (Kooperation mit dem Institut für Toxikologie und Genetik). In einem Screen mit Zebrafischembryonen wurde die mögliche Wirkung von 1120 Substanzen auf das Immunsystem getestet. Dabei gelang es, 63 Substanzen mit einer potenziell entzündungshemmenden Wirkung zu identifizieren. Die dazu notwendigen Bild- und Datenanalysealgorithmen wurden am IAI entwickelt. Ähnliche Methoden kamen u.a. für die Analyse von Photomotor Response Screens zum Einsatz, die auf am IAI entwickelten Zebrafischsortierern basieren.

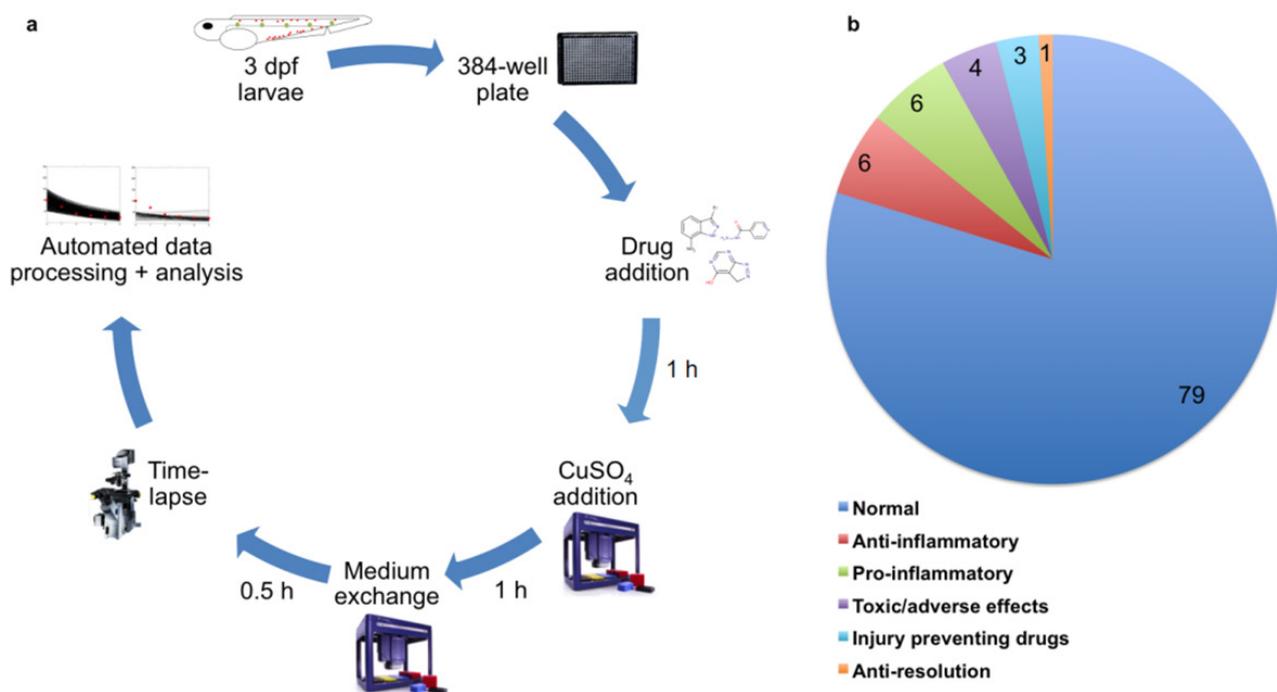


Abb. 47: Beispiel für ein automatisiertes Hochdurchsatzexperiment

- Automatisierter Versuchsablauf zur Bestimmung von Wirkungen und Toxizität verschiedener Testsubstanzen auf das Immunsystem von Zebrafischembryonen
- Prozentuale Einteilung der untersuchten Substanzen: 63 von 1120 (ca. 6%) sind potenziell entzündungshemmend

(Bildquelle: Wittmann et al. 2015, PLoS One, DOI: 10.1371/journal.pone.0137286)

Noch größere Datenmengen im Terabytebereich treten bei Aufnahmen von Lichtscheibenmikroskopen auf (Kooperation mit dem Institut für Toxikologie und Genetik, dem Institut für Angewandte Physik, dem Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik und dem Steinbuch Centre for Computing). Hier wurde die Datenanalyse verbessert, so dass bereits in sehr frühen Stadien der Embryonalentwicklung entwicklungsbiologische Unterschiede sichtbar gemacht werden können (siehe Abb. 48).

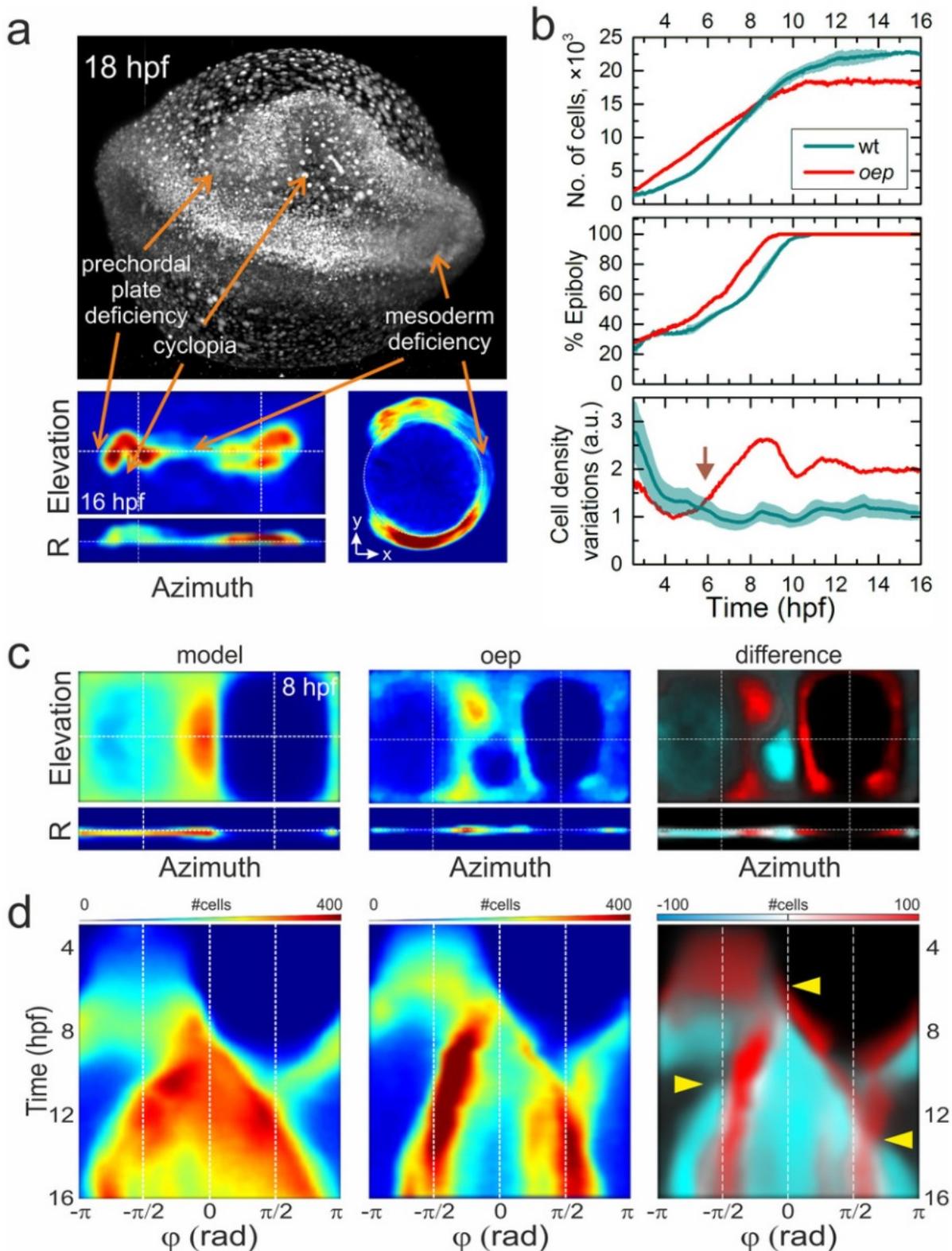


Abb. 48: Beispiel für die Datenanalyse bei Aufnahmen von Lichtscheibenmikroskopen

- Bild eines Zebrafähringembryos (*oep*-Mutant) - 18 Stunden nach der Befruchtung und zugehörige Zelldichteprojektion 16 Stunden nach der Befruchtung
- Quantitativer Vergleich zwischen Wildtypen (*wt*) und *oep*-Mutanten für die Anzahl der Zellen (oben), der Entwicklungsgeschwindigkeit gemessen durch die Zellabdeckung über dem Dotter (Mitte) und die Zelldichte (unten)
- Zweidimensionale Projektionen der Zelldichte nach 8 Stunden (Modell des normalen Wildtypverhaltens, *oep*-Mutanten und Differenz)
- Zeitliche Projektion der Azimuthprojektion der Zelldichte

(Bildquelle: Kobitski et al. 2016, Scientific Reports, DOI: 10.1371/journal.pone.0137286)

Auch für das Handling und die Analyse von Metall-organischen Gerüsten (engl. metal-organic frameworks, MOF) werden automatisierte Experimente benötigt. Hier entwickelte das IAI eine robotergestützte Lösung, die mit Labview betrieben wird. Diese Lösung wurde im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG) verwendet.

Außerdem wurden Methoden zu grundlegenden Forschungsfragen verbessert. Ein generelles Problem bei der Analyse biologischer Bilder ist die Anpassung der Parameter an Bilder mit wechselnden Beleuchtungsverhältnissen. Hierfür wurden Methoden zur quantitativen Bestimmung der Robustheit solcher Bildanalysen vorgestellt und auf einen eigens erstellten Benchmarkdatensatz angewandt. Außerdem wurden Methoden zum interaktiven Clustern von Zelltrackingergebnissen nach der Extraktion von Zellkerntrajektorien aus dreidimensionalen Videos entwickelt.

Im Jahr 2015 wurden mehrere Drittmittelprojekte erfolgreich abgeschlossen. Im von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Projekt „Lastprognose und Betriebsführung in Verteilnetzen mit anreizbasierter Verbraucherbeeinflussung und fluktuierender Einspeisung“ (Kooperation mit AG Westermann / TU Ilmenau und AG Bretschneider / Fraunhofer Anwendungszentrum Systemtechnik Ilmenau) gelang es, menschliches Verbraucherverhalten mit Data-Mining-Methoden zu modellieren. Das BMBF-Projekt „TELMYOS“ zu Ansteuerungskonzepten von Rollstühlen durch Muskelsignale der oberen Ohrmuskulatur (gemeinsam mit AG Rupp/Universität Heidelberg und AG Liebetanz/Universität Göttingen) wurde mit der Entwicklung nutzerindividueller Kalibrierkonzepte vollendet. Für das von der HEiKA (Heidelberg Karlsruhe Research Partnership) geförderte Projekt „Neue Methode zur Feedback-basierten Segmentierung und Visualisierung von komplexen 3D-Bilddatensätzen“ wurde eine neue Softwarelösung zur interaktiven Segmentierung entwickelt und erfolgreich auf elektronenmikroskopische Aufnahmen angewandt.

2015 wurden zwei neue DFG-Projekte „3D+t Terabyte Bildanalyse“ (gemeinsam mit AG Sanders/KIT, assoziiert zu DFG-Schwerpunktprogramm 1736 „Algorithms for Big Data“) und „Automatisiertes Verfahren zur großflächigen Abbildung des subbasalen Nervenplexus der Kornea als Grundlage für einen zuverlässigen Biomarker zur Beurteilung der diabetischen Neuropathie“ (gemeinsam mit AG Köhler/IAI und AG Stachs / Universität Rostock) eingeworben.

Außerdem wurden unsere Kooperationspartner mit Methoden zur Datenanalyse und Versuchsautomatisierung bei der Analyse antibakterieller Peptide (u.a. zusammen mit der AG Hilpert/London University und der AG Hoffmann/Universität Leipzig) mit einem Schwerpunkt auf der Interaktion von Peptiden und Blutbestandteilen sowie in der Tumordiagnostik (AG Perner, Universitäten Bonn und Lübeck) unterstützt.

Programm STN: Science and Technology of Nanosystems

Systemintegration

Im Programm Science and Technology of Nanosystems widmet sich das IAI in Topic 2.3 „Printed materials and systems“, in Topic 3.2 „X-Ray-Optics“ und in Topic 3.3 „Teratronics“ der Systemintegration. Das IAI verfolgt in der Systemintegration einen ganzheitlichen Ansatz ausgehend vom Design von Bauteilen und Systemen über die Entwicklung und Optimierung von Prozessen und Fertigungsgeräten bis zur Inspektion und Qualitätssicherung. Zur Umsetzung dieses Ansatzes kommt themenübergreifend ein einheitlicher Satz von Methoden zum Einsatz:

- Systematische Produktgestaltung und -entwicklung
- Modellbildung und Simulation
- Prozessoptimierung und Entscheidungsunterstützung
- Handhabungs- und Dosiertechnik
- Optische Inspektion und Bildverarbeitung.

Auf der Grundlage der Methoden und unter Anwendung von Verfahren der angewandten Informatik werden mechatronische Nanosysteme sowie Verfahren und Fertigungsmittel für die Nanotechnologie entwickelt. Neben den Arbeiten in der programmorientierten Forschungsförderung werden auf denselben Grundlagen auch Drittmittelprojekte zu komplementären Themen bearbeitet.

Systemintegration – Modellbildung, Simulation

Der Fokus der Arbeiten im Schwerpunkt „Systemintegration: Modellbildung, Simulation“ liegt auf der Konzeption und Umsetzung einer optischen Modellierungsumgebung, welche eine durchgängige und realitätsnahe Simulation nicht nur der optischen Funktionalität, sondern der Gesamtheit des optischen Subsystems ermöglicht. Die bewährte Modellierungsumgebung wird hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf mehrlagige gedruckte optische Systeme weiterentwickelt.

Im laufenden Jahr wurde hierfür im ersten Schritt die Anpassung und Anwendung der Umgebung auf mehrlagige laminierte Subsysteme durchgeführt. Ziel der Entwicklungen war die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technologien, zum Einsatz kommenden Materialien und der Entwurfsauslegung. Diese Untersuchungen wurden anhand eines LED-Anwendungsdemonstrators durchgeführt (s. Abb. 49 links oben). Die Aufgabe der optischen Einheit ist die homogene Lichtausleuchtung des Operationsbereichs als integrierter Bestandteil eines druckbaren veterinärmedizinischen Operationswerkzeugs. Um Simulationen der obengenannten Wechselwirkungen durchführen zu können, wurden konzeptionelle Anpassungen der Simulationssoftware vorgenommen. Insbesondere wurde für die Auswertung der Simulationsläufe Datenaustausch und Weiterverarbeitung mit dem mathematischen Softwarewerkzeug Mathematica implementiert sowie eine Anpassung des optischen Modells bezüglich der Simulation thermischer Effekte durchgeführt. Erste Simulationsreihen wurden durchgeführt zur Berechnung der Bestrahlungsstärkeverteilung und der Abhängigkeiten der Auskoppelleffizienz und der Uniformität der Strahlung in Abhängigkeit von der Strukturtiefe der Folie (s. Abb. 49 von oben rechts nach unten rechts).

Systemintegration – Optimierung, Interfaces und Entscheidungsunterstützungssysteme

Im aktuellen POF-Programm STN ist die Gruppe „Prozesse, Informationen und Anwendungen (PIA)“ mit ihren Arbeiten im Subtopic „Printed materials and systems“ vertreten. Die Arbeitsgebiete reichen dabei von Modellierung, Design und Bewertung von Nano-/Mikrosystemen und Prozessketten bis zu Prozessoptimierung und Forschungen auf dem Gebiet der Nanosicherheit. Viele der in der POF 3 vertretenen Entwicklungsgebiete werden zusätzlich im Rahmen nationaler und europäischer Verbundprojekte vorangetrieben und weiterentwickelt.

Im EU-Projekt SMARTLAM, das im Januar 2016 erfolgreich beendet wurde, wurde ein Konzept zur „Systemintegration auf der Basis laminiertes funktionalisierter Folienstacks“ entwickelt und mit den Partnern realisiert. Diese Arbeiten sind im Kontext des Arbeitsschwerpunktes „Entwicklung von Methoden zur Systemintegration für Nano-Mikrotechnologien – Ganzheitliches Toolkit zur Entwicklung von layerbasierten Mikrosystemen – Vorarbeiten zu POF 3“ angesiedelt.

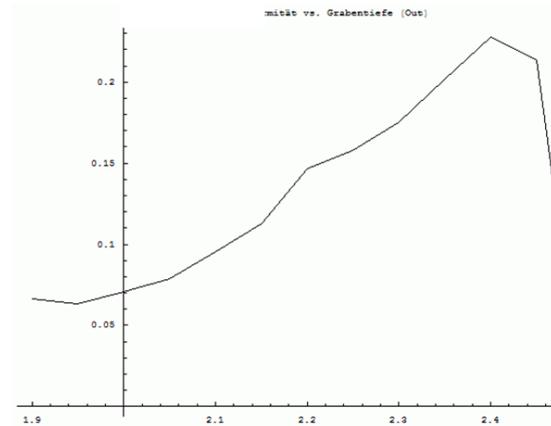
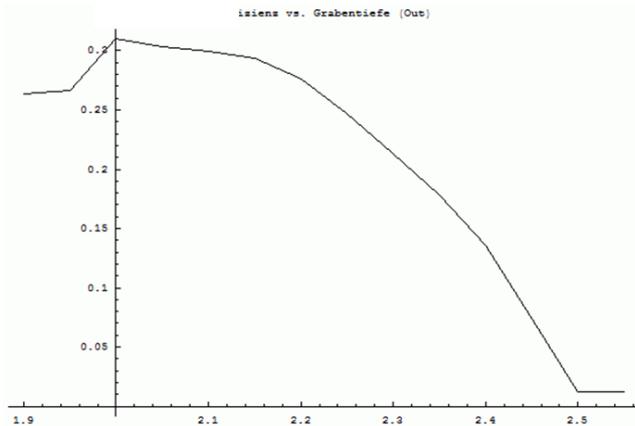
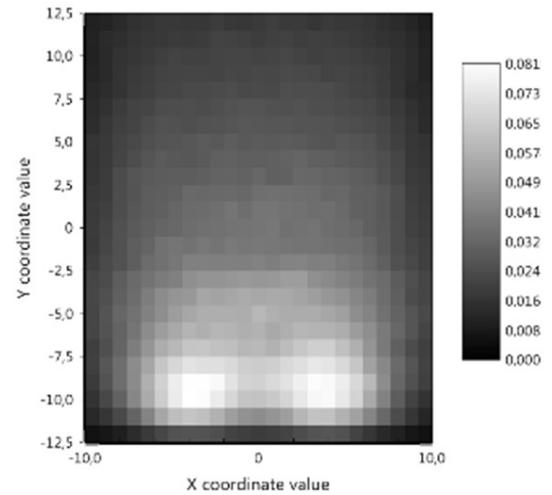
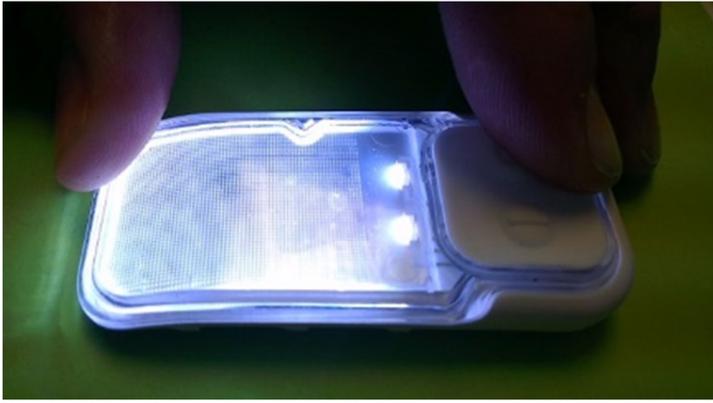


Abb. 49: Von oben links nach unten rechts:

- Beleuchtungseinheit eines veterinärmedizinischen Operationswerkzeugs;
- Simulationen der Bestrahlungsstärke;
- Ergebnisse der Simulation der Auskoppelleffizienz in Abhängigkeit von der Strukturtiefe;
- Ergebnisse der Simulation der Uniformität der Abstrahlung in Abhängigkeit von der Strukturtiefe

Das Ziel der Forschungen war, verschiedene Technologien zur Strukturierung (Lasertechnologien), Drucktechnologien (Aerosoljet-printing) sowie Laminations- und Inspektionsmethoden zu verbinden und so die Herstellung komplexer, mehrschichtiger Bauteile mit funktionalisierten Elementen zu ermöglichen und damit neue Anwendungsfelder für die Nano-/Mikrosystemtechnik zu erschließen.

Basierend auf einer Kundenanfrage wird dabei zunächst das Produktdesign geprüft und, wenn möglich, an die zur Verfügung stehenden Fertigungskompetenzen angepasst. Das dabei generierte Produktdatenmodell dient anschließend als Grundlage für die Erstellung einer optimierten Prozesskette, die mittels des Fertigungssteuerungs- und Maschinencode-Generierungswerkzeugs FORTE an die Steuerung der Einzelmodule übergeben wird (Abb. 50). Die Arbeiten des IAI umfassten dabei die Abstimmung der Demonstrator- und Fertigungszellendesigns.

Im Jahr 2015 wurden die Einzelmodule sowie die Integration der Softwarelösungen für den finalen Aufbau vorbereitet. Ende 2015 begannen planmäßig die Aufbauarbeiten der gesamten Prozesskette (Abb. 51), bestehend aus sechs Modulen, zur Fertigung der beiden Demonstratoren DLED (Abb. 52) und micruX.

Die Funktionalitäten der MinaBASE wurde im Rahmen von SMARTLAM verwendet, um aus der Funktionalität der Einzelmodule die Überarbeitung der CAD-Daten und die Prüfung der Herstellbarkeit zu ermöglichen. Eine Erweiterung erlaubt nun die Analyse der Produktdaten und die Integration der verfügbaren Module und deren Fertigungsparameter in Hinblick auf die Erstellung einer dem Produkt angepassten Fertigungsroutine.

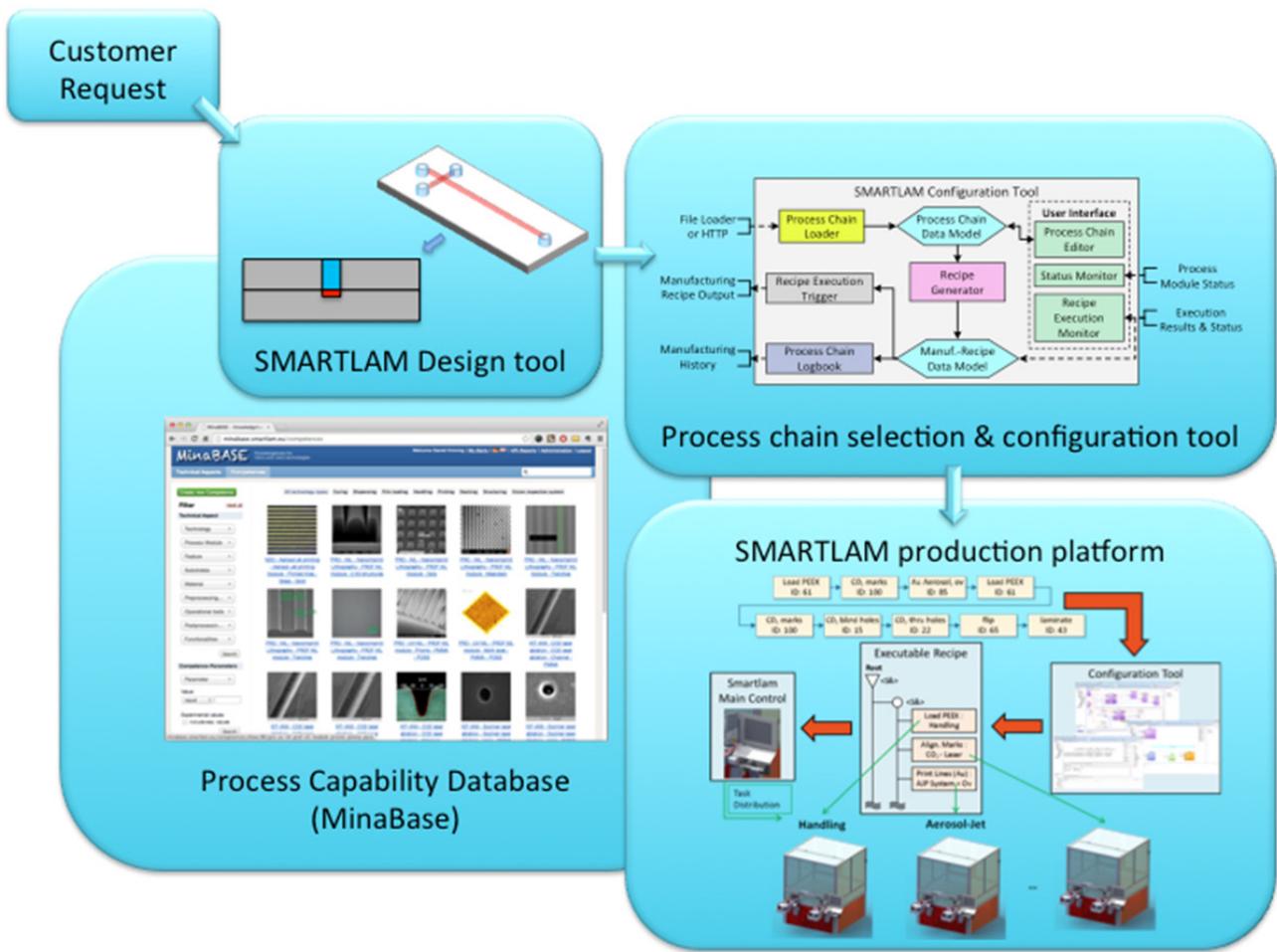


Abb. 50: Gesamtkonzept des SMARTLAM „3D-Integrated Manufacturing“ Ansatzes



Abb. 51: Gesamtaufbau der sechs SMARTLAM-Module am IAI

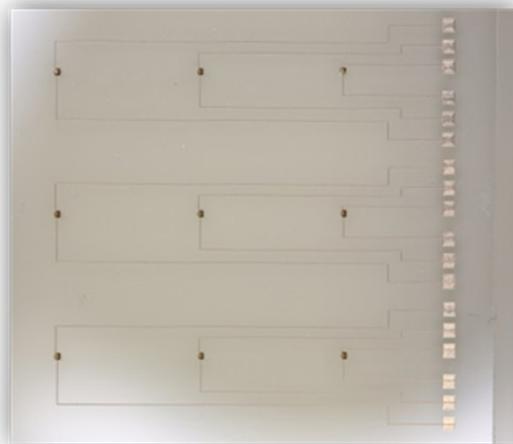


Abb. 52: Vorläufiger Demonstrator DLED im Laborformat

Das BMBF-geförderte Projekt DaNa2.0 (Daten und Wissen zu Nanomaterialien) hat zum Ziel, in einem interdisziplinären Ansatz mit Wissenschaftlern aus Humantoxikologie, Ökotoxikologie, Biologie, Physik, Chemie und Pharmazie Forschungsergebnisse zu Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt auf der Grundlage sorgfältiger wissenschaftlicher Vorgehensweise für interessierte Laien verständlich aufzubereiten. Diese Daten werden auf der Internetplattform www.nanopartikel.info und auch durch andere Medien der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Das IAI ist dabei für die informationstech-

nische Aufbereitung und zusammen mit der DECHEMA auch für die Koordination der inhaltlichen Arbeiten zuständig. Im Jahr 2015 konnte die Besuchermarke von über 100.000 Besuchern auf der DaNa-Webseite überschritten werden. Der genaue Verlauf der Besucher sowie der Seitenaufrufe innerhalb des Berichtszeitraums ist in Abb. 53 dargestellt.

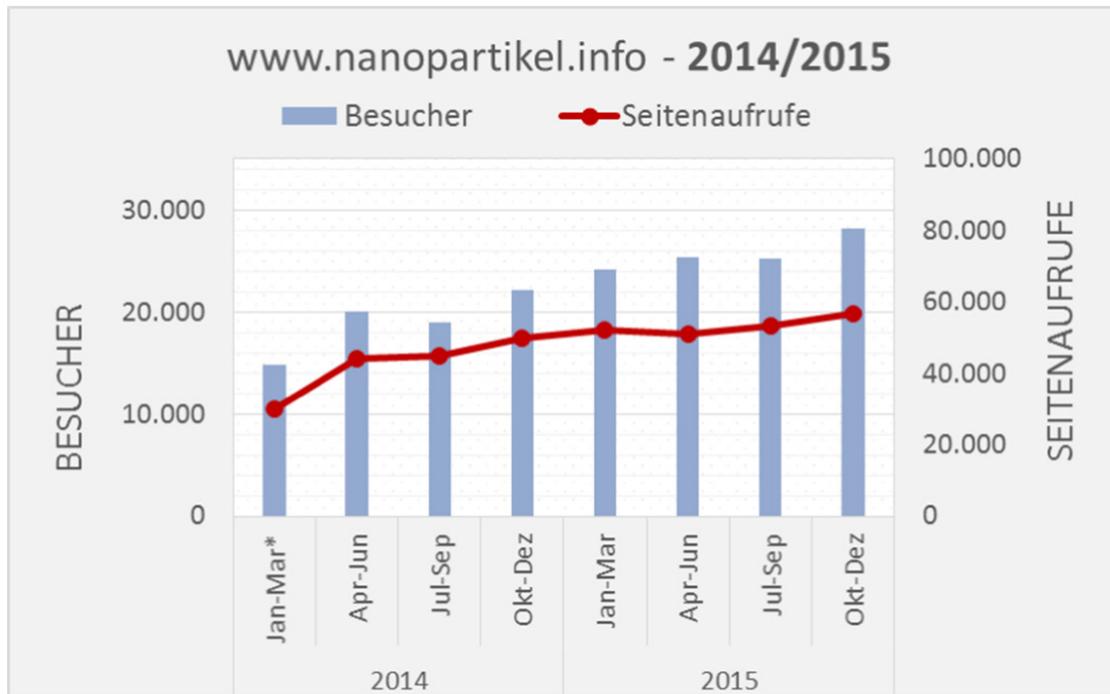


Abb. 53: Besucher und Seitenaufrufe der DaNa-Webseite - Jahresübersicht 2014/2015

Im Rahmen des EU-Projekts DIMAP (Novel nanoparticle enhanced Digital Materials for 3D Printing and their application shown for the robotic and electronic industry, Projektstart 10/2015) ist das IAI für die beiden Arbeitspakete 2 „Application requirements“ und 9 „Nano-Sicherheitsforschung“ verantwortlich. In Ersterem werden für die beiden im Arbeitspaket beschriebenen Anwendungsfälle (Robotik und Luminaire) die Anforderungen sowohl von kundenspezifischer, materialtechnischer als auch prozesstechnischer Seite definiert. Am IAI wird dabei der Input der involvierten Einzelschritte gesammelt, bezüglich ihrer Anwendbarkeit in der propagierten Prozesskette (s. Abb. 54) evaluiert und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern modifiziert. Die Ergebnisse bilden die Basis für die weiteren projektinternen Entwicklungsarbeiten. Innerhalb des Projekts begleiten die Arbeiten zur Nanosicherheitsforschung alle anderen Arbeitspakete in Fragen zu Sicherheitsaspekten bei der Entwicklung und Verwendung (neuer) Nanomaterialien, möglichen Expositionsszenarien am Arbeitsplatz, zum Arbeitsschutz und zu möglichen umweltrelevanten Aspekten (Lebenszyklus-Analysen). Mit dem Start der Projektarbeiten im Oktober wurde unverzüglich eine Vorlage für Sicherheitsdatenblätter erstellt, um von Beginn an eine sichere und verantwortungsvolle Handhabung mit Nanomaterialien in Bezug auf gefüllte druckbare Tinten zu gewährleisten. Im Rahmen eines Projekt-Workshops am KIT wurde auch ein stufenweises Vorgehen zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern präsentiert. Allen Projektpartnern stehen diese Dokumente zur Verfügung.

Das EU-Projekt HINMICO befasst sich mit der Herstellung mehrkomponentiger Bauteile durch das Kunststoffspritzgießen. Die Herausforderungen bestehen dabei in der Verknüpfung der Handlings- und Assemblierungsschritte mit den Replikationsschritten sowie der Entwicklung robuster Prozessketten zur Massenerstellung präzise gefertigter, hochqualitativer Mikrobauerteile. Dabei konnte im Jahr 2015 der Replikationsschritt für alle fünf Demonstratoren realisiert werden. Die Arbeiten des IAI umfassten dabei im Wesentlichen die prozessbegleitende Aufnahme von Fertigungsparametern und deren Optimierung durch Methoden der statistischen Versuchsplanung. Dabei werden den Prozess signifikant beeinflussende Faktoren identifiziert und gezielt verändert, um die Bauteilqualität positiv zu beeinflussen. Beispielhaft zeigt Abb. 55 die Evaluation des Außendurchmessers in Abhängigkeit der Fertigungsparameter an einem Dämpfungselement, hergestellt durch Mikro-Kunststoffspritzgießen.

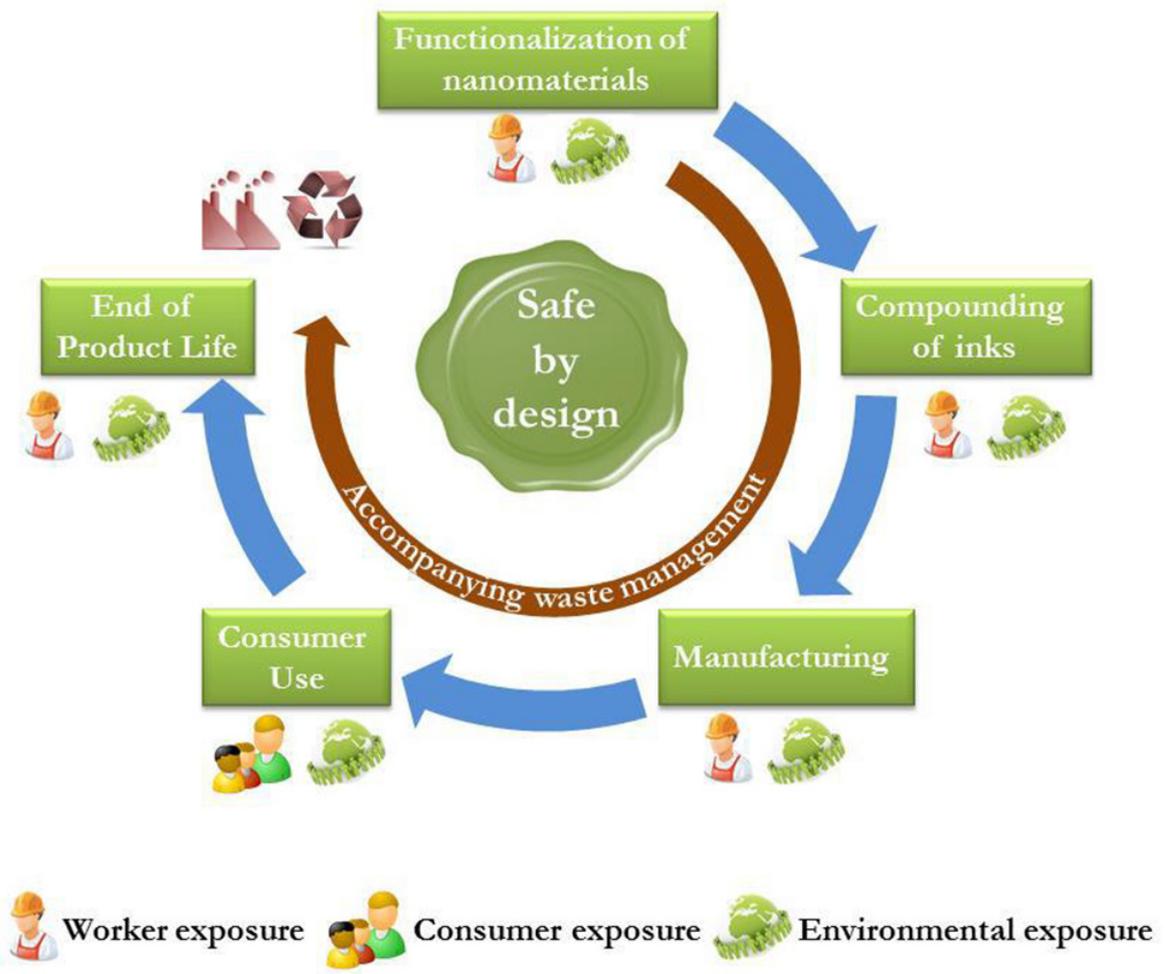


Abb. 54: Prozesskette von DIMAP einschließlich der Einstiegspunkte für Nanosicherheits-Ansätze

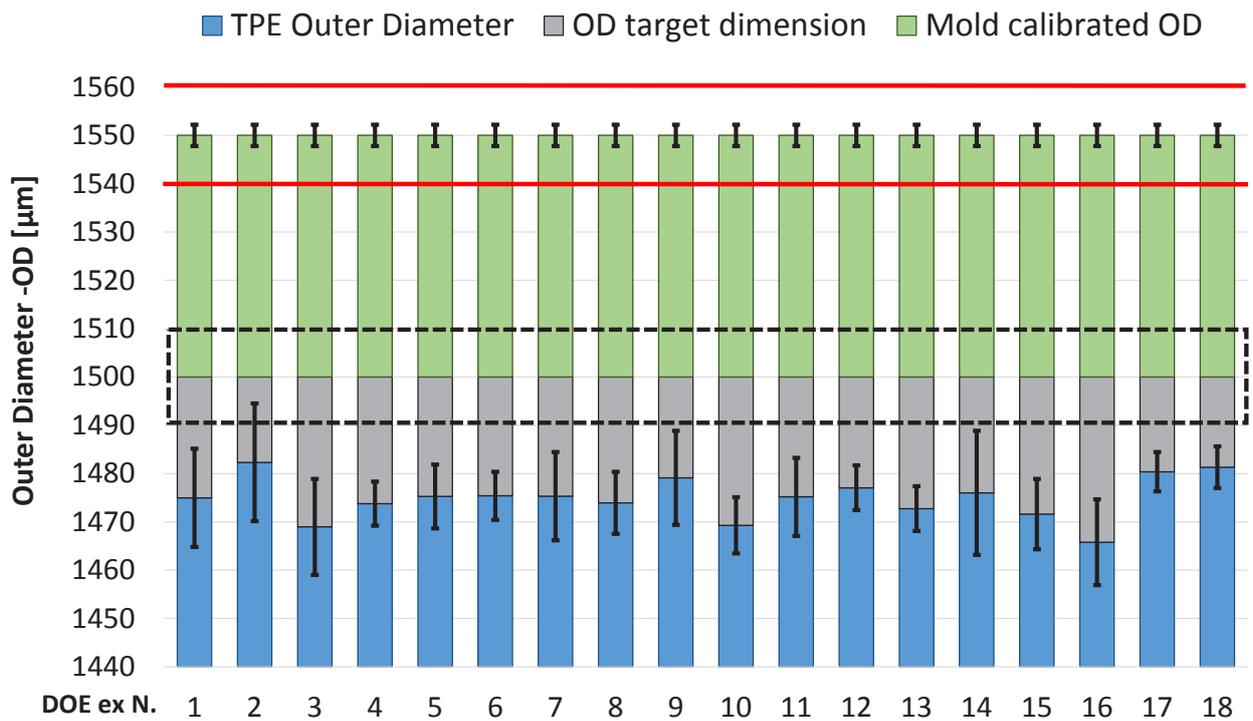


Abb. 55: Variation des Außendurchmessers eines Dämpfungsrings in Abhängigkeit der Herstellparameter

Im Rahmen der E-Learning-Plattform MIMAN-T („Micromanufacturing training system for SMEs“) wird zusammen mit fünf weiteren Partnern eine Möglichkeit für kleine und mittelständische Betriebe geschaffen, sich durch online verfügbare Präsentation im Bereich der Methoden zur Mikrofertigung weiterzubilden. Das IAI ist dabei in der Vorbereitung der Lernmaterialien zum Thema Moulded Interconnect Devices (MIDs) involviert. Parallel wird im Springer Verlag ein vorlesungsbegleitendes Buch erscheinen, für das am IAI entsprechende Kapitel erarbeitet wurden, sowie die Übersetzung in die deutsche Sprache koordiniert wird.

Zum Abschluss kam im Jahr 2015 das zusammen mit dem Institut für Angewandte Materialien (IAM) durchgeführte EU-Projekt Ecolaserfact, das sich mit dem Know-How-Transfer der beteiligten Institutionen an SMEs (Small and Medium-sized Enterprises) im Bereich der Lasertechnologien beschäftigt hat. Dort wurden in Zusammenarbeit mit dem IAM-AWP Fallstudien erarbeitet und in diesen Versuche mit den am IAM vorhandenen Laseranlagen gefahren und ausgewertet.

Durch die Ausrichtung zweier Workshops (4M-Conference in Mailand und Nanotech 2015 in Paris) konnte im EU-Projekt 4M2020 der Kontakt zu verschiedensten laufenden und abgeschlossenen EU-Projekten hergestellt werden. Dies ermöglicht die Erweiterung und Detaillierung der bisher erarbeiteten Übersicht zur Verteilung der Kompetenzen im Bereich Mikrofertigung in Europa.

Systemintegration – System-, Prozess- und Geräteentwicklung

Die Arbeiten zur Systemintegration für gedruckte Materialien und Systeme unterteilen sich in Verfahren zur Intralayer-Integration, d.h. Integration von Bauteilen auf einem gedruckten Layer, und zur Interlayer-Integration, d.h. Integration zwischen funktionalen Layern.

Zur Intralayer-Integration wurde ein Layout für ein Multiproject-Sheet ausgearbeitet. Dies basiert auf einem 150 x 150 mm² Substratformat, das mit einem umlaufenden Handhabungsrand zum Spannen und zur präzisen Ausrichtung in einem Drucksystem mit Justiermarken versehen ist. Darauf wurde als Referenzschaltung eine bistabile Kippstufe spezifiziert. Abb. 56 zeigt einen Ausschnitt des Layouts. Neben der Referenzschaltung sind Justiermarken zur Referenzierung des Sheets mittels Bildverarbeitung zu erkennen. Diese dienen sowohl zur Einzelsheetausrichtung bei mehrstufiger Intralayer-Integration als auch zur Ausrichtung mehrerer Sheets bei der Interlayer-Integration. Das Layout der Pads wurde an konventionelle SMD-Bausteine angepasst. Daneben wurden jedoch Freiflächen vorgesehen, um die diskreten Bauteile (z.B. Kondensatoren, Widerstände, Transistoren) Schritt für Schritt gemeinsam mit verschiedenen Partnern in anderen Instituten des KIT durch gedruckte Komponenten zu ersetzen und so Intralayer-Integration zu realisieren. In Abb. 57 ist diese Schaltung mit diskreten Bauteilen in Leiterplattentechnologie aufgebaut. Leuchtdiode 2 leuchtet, die in einer späteren Phase durch eine gedruckte Leuchtdiode auf der Freifläche links davon (siehe LED2 in Abb. 56) ersetzt werden soll

Die Entwicklung von Druckprozessen und -systemen für die Intralayer-Integration konzentrierte sich auf zwei Hauptbereiche. Die Handhabungsplattform Namose wurde mit einem modifizierten Piezo-Einzeldüsendruckkopf und mit einer Substratheizung ausgerüstet.

Ferner wurden Versuche zum Extrusionsdrucken mit hoher Strukturauflösung durchgeführt. Dazu wurde ein Prozess zum reproduzierbaren Ziehen von Dosiernadeln aus Glaskapillaren bis hinunter zu 10 µm Innendurchmesser etabliert. Diese Dosiernadeln wurden an einen Druck/Zeit-Dispenser angepasst und an einem Achssystem montiert. Damit wurden Dosierversuche mit einer hochviskosen Silbernanopartikelleitpaste durchgeführt. Es zeigt sich, dass mit diesem Verfahren feine Leiterbahnstrukturen gedruckt werden können (Abb. 58). Weiterhin konnten aufgrund der hohen Viskosität der Tinte (80000 mPas) auch 3D-Strukturen ähnlich Drahtbonds (Abb. 59) hergestellt werden. Ähnlich wie bei einem berührenden Dosierverfahren muss die Kapillare mit einem Abstand kleiner als 0.5 – 0.7 des Innendurchmessers über dem Substrat geführt werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Planarität des Substrats. Daher wurden Verfahren zur Abstandsmessung und zur Vermessung der Substratoberfläche (siehe Absatz „Systemintegration – Optische Inspektion und digitale Bildverarbeitung“) untersucht. Weiterhin wurden Versuchsstände zur Vierpunktmessung gedruckter Leiterbahnen und zur Vermessung der Tintenspreitung auf einem Substrat entwickelt und aufgebaut.

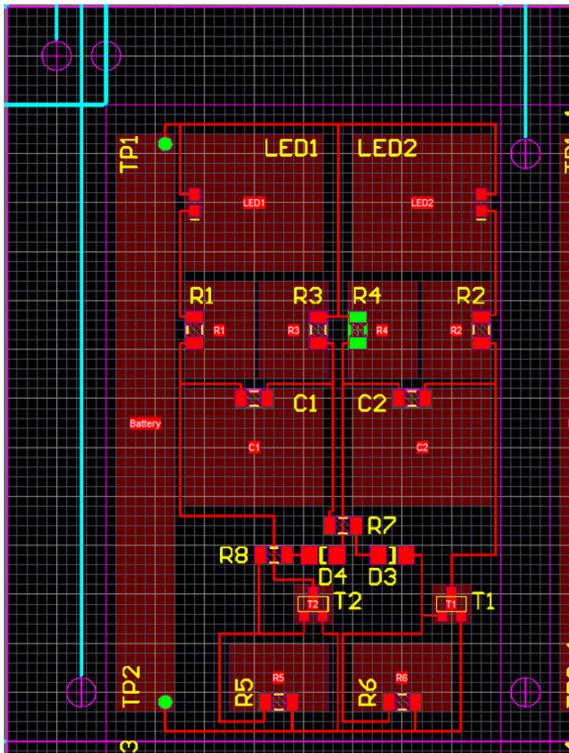


Abb. 56: Bistabile Kippstufe als Referenzschaltung im Layout des Multiproject-Sheet

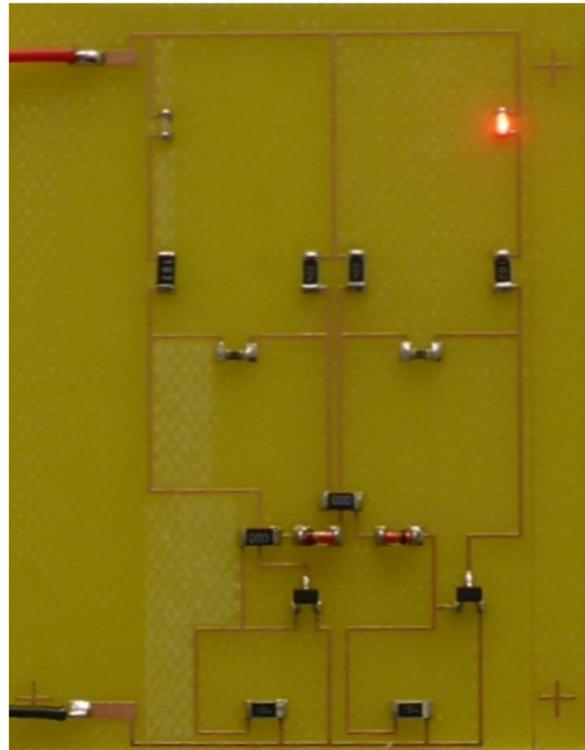


Abb. 57: Umsetzung der Referenzschaltung in konventioneller Leiterplattentechnologie

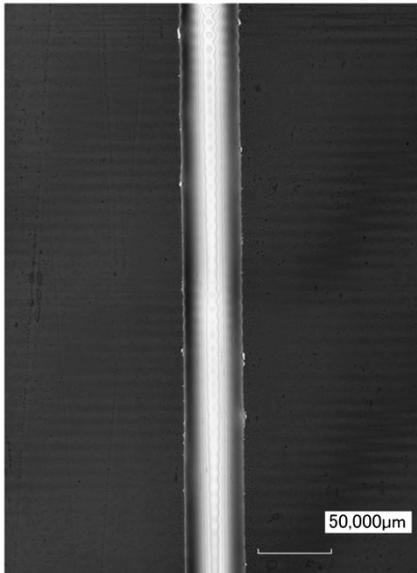


Abb. 58: Mit dem Extrusionsdruckverfahren gedruckte Leiterbahn

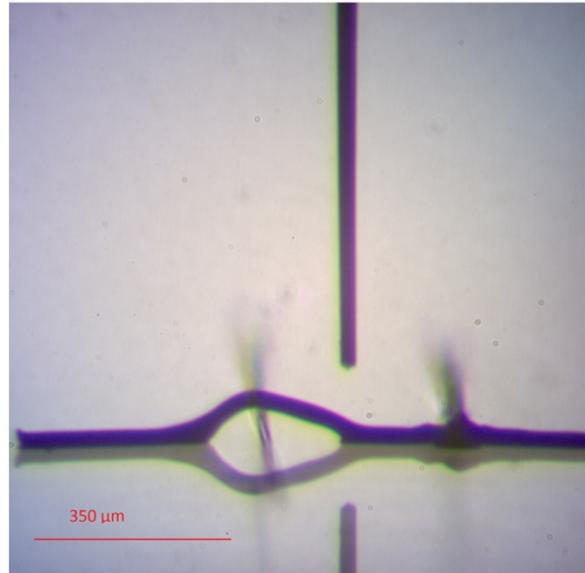


Abb. 59: Umsetzung der Referenzschaltung in konventioneller Leiterplattentechnologie

Für die Interlayer-Integration wurde das Laser-Schweißen von Folienlagen näher untersucht. Dazu wurde im EU-Projekt SMARTLAM (s.o.) gemeinsam mit dem IAM-AWP das Konzept einer Anlage zum automatisierten Justieren und Laser-Schweißen von Folienlagen entwickelt und im Jahr 2015 realisiert. Die IAI-Aktivitäten lagen dabei schwerpunktmäßig auf der Entwicklung des Systemkonzepts, dem Folienhandling, der Entwicklung der Steuerungssoftware und der hard- und softwaretechnischen Integration des Gesamtsystems.

Abb. 60 zeigt die Anlage während des Folienjustiervorgangs. Eine mit dem transparenten Greifer gegriffene Folie ist in die Justier- und Spannstation eingefahren, in die bereits eine Folie eingelegt ist. Beide Folien sind mit laserstrukturierten Justiermarken versehen. Nun wird die zweite Folie mit Achse 5 bis auf einen Abstand von 100 μm auf die erste Folie abgesenkt. Damit befinden sich die Justiermarken auf beiden Folien im

Fokusbereich der beiden Kameras. Mittels Bildverarbeitung wird die Positionsabweichung zwischen den beiden Folien durch Auswertung der Lage der Marken auf der oberen und auf der unteren Folie bestimmt und durch Verfahren der Achsen 3 (x) und 4 (y) sowie Achse 6 (Drehachse) korrigiert. Anschließend wird Folie 2 auf Folie 1 abgesenkt und mittels integrierter Pneumatikaktoren mit 400 N angepresst. In diesem Zustand fährt der Folienverbund nach hinten unter die Laserquelle und die beiden Folien werden durch Scannen mit dem Laserstrahl verschweißt. Nach Abschluss des Schweißvorgangs wird der Folienverbund wieder auf dem Podest vorne links abgelegt.

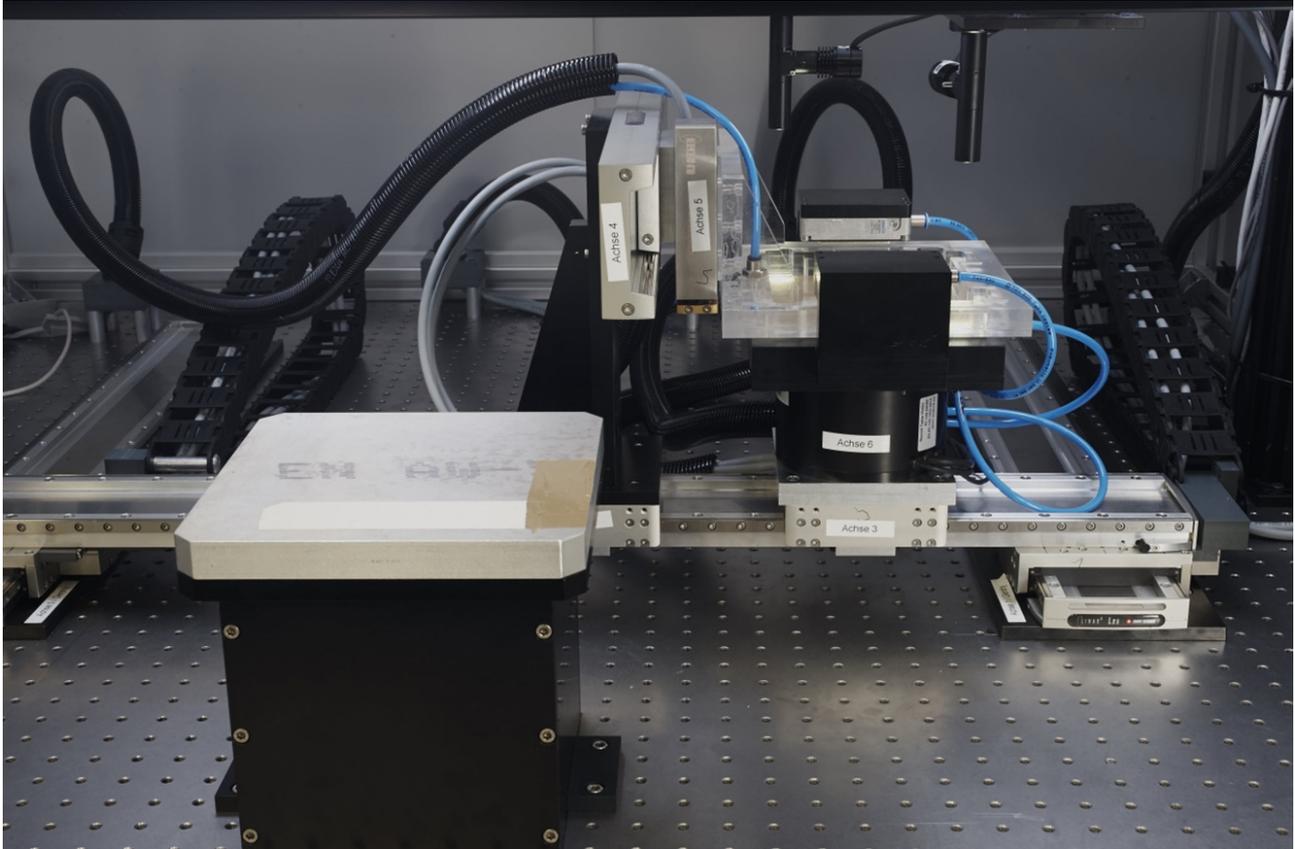


Abb. 60: Anlage zum Justieren und Laserschweißen von Folienlagen

Die Anlage bleibt nach Projektabschluss am IAM-AWP, so dass das IAI gemeinsam mit dem IAM-AWP weitere Arbeiten zur Interlayer-Integration mittels Folienschweißen durchführen kann.

Weiterhin wurden erste Konzepte zum Aufbau von flüssigkristallbasierten Lichtmanagementstrukturen mittels Drucktechniken entwickelt.

Im Rahmen der Aktivitäten zur Handhabung von flächigen Polymerstrukturen mit sub- μm Dicke für die Correlative Array Tomography sind drei Hauptaufgaben zu lösen: die Bestimmung der Schnittdicke, die Substrathandhabung und die Handhabung der Schnitte. Zur Bestimmung der Schnittdicke wurde ein Verfahren entwickelt, das auf der Auswertung der Interferenz in dünnen Schichten basiert. Die Vorrichtung zur Substrathandhabung wurde weiterentwickelt (Abb. 61). Damit wurde die reproduzierbare Herstellung von ca. 2500 Ultramikrotomschnitten mit 100 nm Dicke für die 3D-Rekonstruktion von Zebrafischimmunkzellen möglich. Abb. 62 zeigt eine dieser 3D-Rekonstruktionen auf dem Titel des Journal of Microscopy.

Aus den Veröffentlichungen dieser Arbeiten entstand ein Kontakt zu Fa. Boeckeler, an die schließlich ein Funktionsmuster des Substrathalters verkauft wurde. Fa. Boeckeler plant daraus ein Produkt zu entwickeln.

Zur Handhabung von einzelnen auf der Wasseroberfläche schwimmenden Schnitten bzw. von Schnittbändern wurden Machbarkeitsstudien durchgeführt und ein Lösungskatalog erstellt.

Diese Arbeiten flossen im Jahr 2015 in die HEiKA-Kooperation mit der Gruppe Prof. Schröder CellNetworks / BioQuant Universität Heidelberg ein.

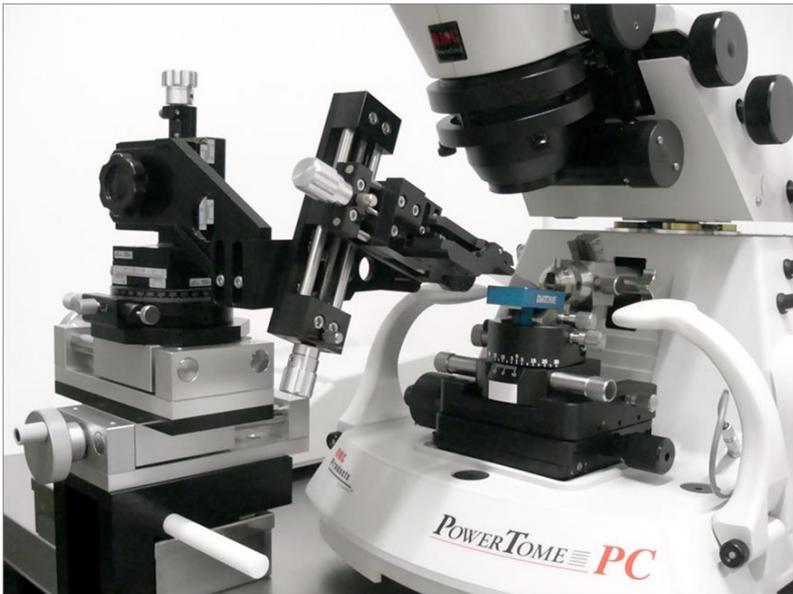


Abb. 61: Substrathalter montiert an einem Boeckeler/RMC Ultramikrotom

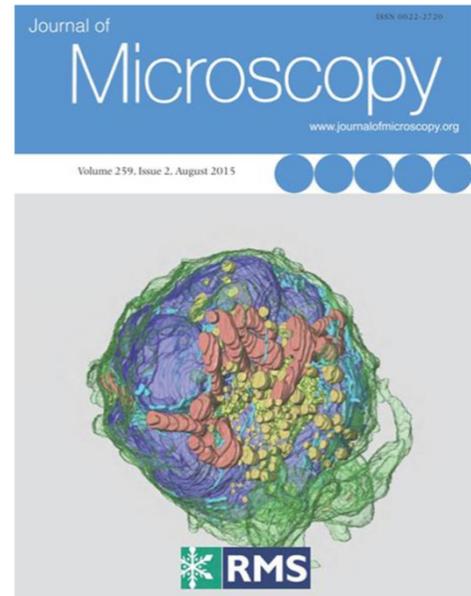


Abb. 62: 3D-Rekonstruktion einer Zebrafischimmunzelle

Im Jahr 2015 wurde das ZIM-Projekt (BMW) „Innovative metallurgische Pulvermaterialaufbereitungsanlage für Selective Laser Melting“ (Optimat) eingeworben. Das Partnerunternehmen Fa. Rosswag ist spezialisiert auf die Fertigung von hochbelasteten Bauteilen (z.B. Radreifen für Schienenfahrzeuge, Kraftwerkskomponenten, Flugzeugteile) mittels Schmiedeverfahren. Das Unternehmen ist neu in die Fertigung mittels Selective Laser Melting (SLM) eingestiegen und möchte auch dieses Fertigungsverfahren für die Herstellung von hochbeanspruchten Bauteilen nutzen. Erste Vorarbeiten zeigen jedoch, dass das derzeit für SLM zur Verfügung stehende Pulvermaterial für diese Anwendung nicht die erforderliche Qualität besitzt. Die wesentlichen qualitätsbestimmenden Parameter sind die Partikelgrößenverteilung und die Restfeuchte. Daher soll in diesem Projekt gemeinsam mit Fa. Rosswag eine Anlage zur Aufbereitung von Pulver entwickelt werden.

Im Rahmen des vom BMW geförderten ZIM-Projektes „Selbstlernende Supportsysteme“ (SELESUP) wurden für strukturierte Massendaten, wie sie insbesondere bei technischen Prozessen anfallen, entsprechende Ontologien in einer Wissensbasis generiert. Die generierten Konzepte und diese verbindende Relationen sollen mit einem semiautomatischen Lernprozess durch die strukturierten Daten evaluiert werden. Es wurden unterschiedliche Selbstlernmechanismen untersucht und evaluiert, welche für die semi-automatische Erweiterung der Wissensbasis geeignet scheinen. Neben Schulung der Mitarbeiter und Einarbeitung in neue Softwaretools wurden erste Anwendungserfahrungen im Rahmen von Lernen durch strukturierte Daten gesammelt.

Im Bereich „X-Ray Optics“ (Topic 3.2 in „Optics&Photonics“) wurde am IMT eine Plattform zur (teil-) automatisierten Montage großflächiger Röntgengitter aufgebaut und in den Probetrieb genommen. Die Flächenvergrößerung wird erzielt durch die Belegung eines Basissubstrats mit Einzelkacheln (mikrostrukturiertes Röntgengitter in Gold auf z.B. Siliziumwafer, 50 mm x 50 mm). Diese Einzelkacheln müssen sehr präzise zueinander positioniert werden, d.h. Minimierung der Verdrehung der Kacheln zueinander und Minimierung des Spaltabstands zweier benachbarter Kacheln (Vermeidung von Moiré-Effekten, etc.). Der Schwerpunkt der Arbeiten im IAI im Berichtszeitraum lag zum einen bei der Erstellung von Softwaremodulen zur lateralen Positionsdetektion der Einzelkacheln auf Basis des Bildverarbeitungssystems DIPLOM, zum anderen bei der Realisierung von Teilmodulen der Plattform: z.B. Greiferansteuerung; angepasstes, steuerbares Beleuchtungsmodul (siehe Absatz „Systemintegration – Optische Inspektion und digitale Bildverarbeitung“).

Diese Softwaremodule wurden in die Maschinensteuersoftware integriert. Die Herstellung erster Röntgengittermodule mit vier Einzelkacheln (100 mm x 100 mm) konnte am IMT gezeigt werden (Abb. 63).

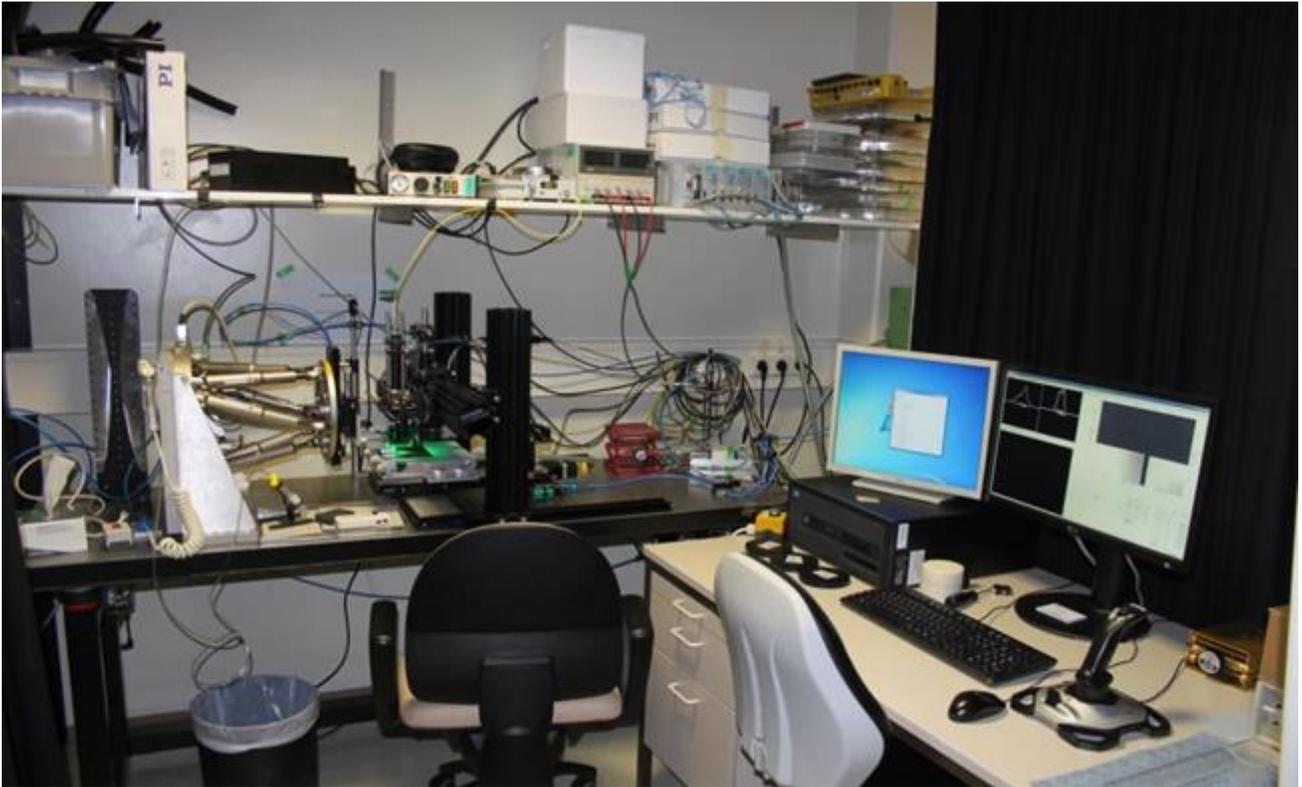


Abb. 63: Plattform zur Montage großflächiger Röntgengitter (Bildquelle: KIT-IMT)

Die Realisierung der Prozesskette zur Herstellung Photonischer Wirebonds in Stückzahlen ist ein Ziel der Arbeiten in Topic 3.2 „Teratronics“. Das im Vorjahr aufgebaute System zur hochpräzisen Dosierung von Fluiden auf Basis eines 6-Achs-Positioniersystems wurde optimiert und an die spezifischen Anforderungen, die bei der Überschichtung der Photonischen Wirebonds bestehen, angepasst. Hintergrund ist die Umhüllung der in Zweiphotonenlithografie hergestellten Lichtleiter mit einem brechzahlangepassten Medium. Hierdurch wird der Verlust bei Einkoppeln, bei Transport und bei Auskoppeln des Lichts im Photonischen Wirebond reduziert. Desweiteren dient diese Umhüllung (z.B. UV-härtbare Klebstoffe) als dauerhafter Schutz gegen die Umgebung. Dieser Prozessschritt ist etabliert (Abb. 64). Er basiert zurzeit noch auf einer manuellen Bedienung des Positioniersystems. Die Evaluierung des geeigneten Umschichtungsmaterials erfolgt in weiteren Arbeiten. Zukünftig wird dieses Konzept schrittweise in einer neu aufzubauenden Maschinenplattform teil- bzw. längerfristig vollautomatisiert. Für die zukünftige Herstellung von Photonischen Wirebonds in Stückzahlen ist es erforderlich, ein Schreibsystem bereitzustellen, das zum einen angepasst ist an die spezifischen Randbedingungen der Wirebonds und zum anderen die Fähigkeit zur Verkettung mit den Systemen zur Vor- und Nachbehandlung bietet. Hierzu wurde ein erstes allgemein definiertes Maschinenkonzept als 3D-Modell erstellt und hinsichtlich der Randbedingungen im Produktionsumfeld mit ANSYS schwingungstechnisch optimiert (Abb. 65).

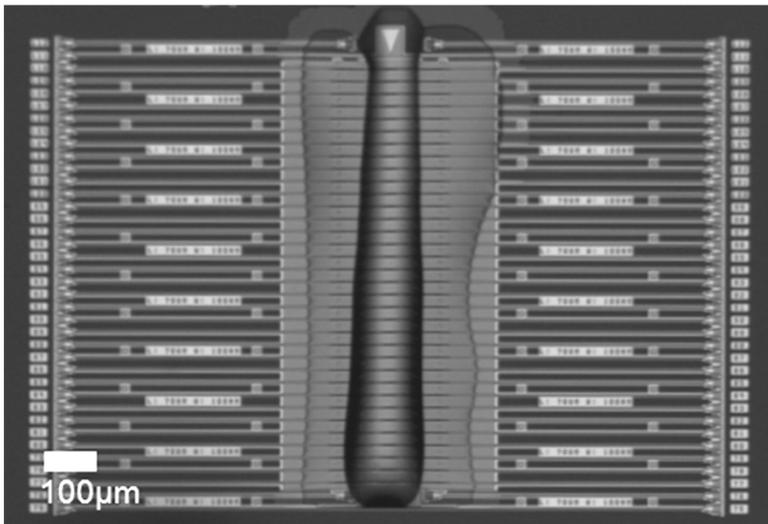


Abb. 64: Übersichtung von photonischen Wirebonds mit UV-Klebstoff

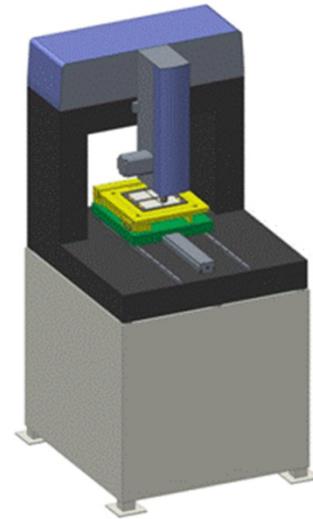


Abb. 65: Konzept einer verkettungsfähigen Anlage zum Schreiben von photonischen Wirebonds

Systemintegration – Optische Inspektion und digitale Bildverarbeitung

Zur Qualitätsprüfung von Röntgengitterstrukturen im Topic „X-Ray-Optics“ soll das Verhältnis Stegbreite/ Stegabstand anhand optischer Aufnahmen mit digitaler Bildverarbeitung automatisch bestimmt werden. Für eine erste grundlegende Untersuchung wurden optische Aufnahmen von den Röntgengitterstrukturen analysiert und mit vorliegenden REM-Aufnahmen verglichen. Zur Bestimmung der Stegkanten wurde in dem Helligkeitsprofil in jeder Zeile im Kantenbereich der maximale Gradient bestimmt (s. Abb. 66). Aus der Lage dieser Kantenpositionen kann dann das Verhältnis b/a (Stegbreite / Stegabstand) bestimmt werden. Der Referenzwert für das Verhältnis Breite / Abstand wurde aus vorliegenden REM-Aufnahmen bestimmt (b_{REM}/a_{REM} , s. Abb. 66). Die optischen Aufnahmen liefern einen systematisch zu kleinen Wert für das gesuchte Verhältnis b/a ; die Reduktion lag bei den analysierten Bildern bei ca. 8 %; die Standardabweichung der Streuung liegt bei ca. 1 %. Feine Störungen an der Gitterstruktur, wie sie in REM-Aufnahmen sichtbar sind, lassen sich in der optischen Aufnahme aufgrund der geringeren Auflösung nicht detektieren.

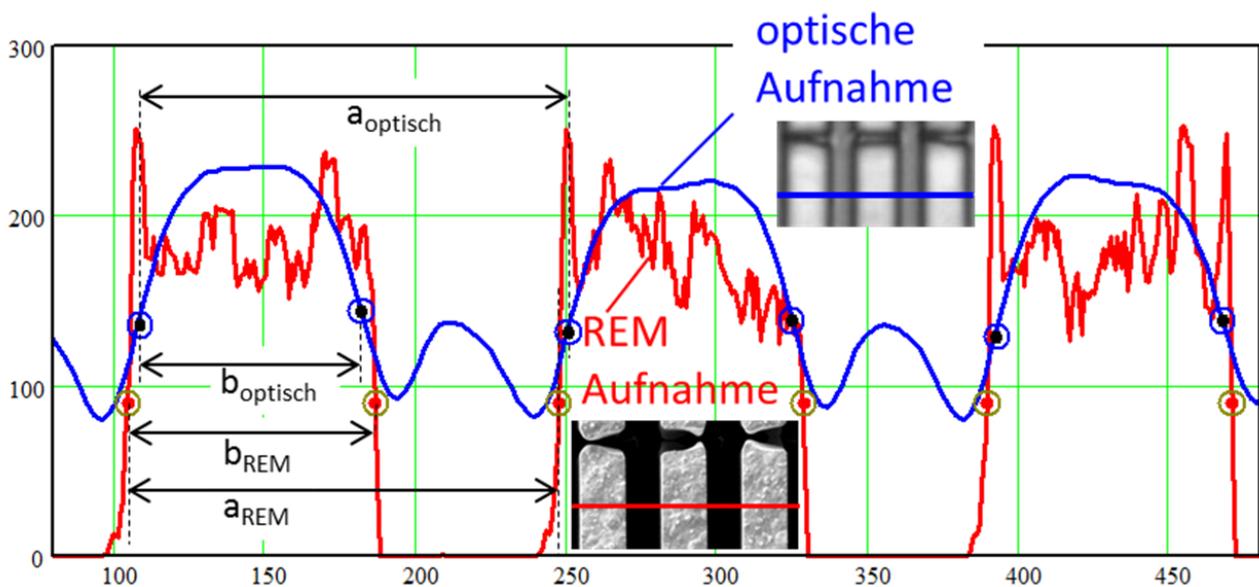


Abb. 66: Helligkeitsprofil entlang einer Bildzeile in einer optischen Aufnahme (blau) und in einer REM-Aufnahme (rot)

Für die hochpräzise drucktechnische Bearbeitung von Folien im Topic „Printed Materials and Systems“ ist es erforderlich, dass die Folien plan sind und keine Aufwölbungen aufweisen. Zur Prüfung der Planarität sollen digitale Bildverarbeitungstechnologien verwendet werden. Aufgrund der sehr glatten Folienoberfläche liefern aber Bilder, die mit Auf- oder Durchlichtbeleuchtung aufgenommen werden, kein auswertbares Signal an der Oberfläche. Es wurden deshalb grundlegende Untersuchungen mit projizierenden und deflektometrischen Verfahren durchgeführt. Bei den Versuchen wurden sowohl PEEK- als auch PET-Folien mit unterschiedlicher Foliendicke getestet. Zur Projektion auf die Oberfläche wurden Linienlaser mit unterschiedlicher Farbe getestet. Bei den semi-transparenten PEEK-Folien konnte mit einem blauen Laser eine erkennbare Linie auf die Oberfläche projiziert werden; die getesteten roten und grünen Laser konnten aber kein eindeutiges Signal an der Oberfläche erzeugen. Bei den transparenten PET-Folien konnte mit keinem der getesteten Laser eine eindeutige Linie auf die Oberfläche projiziert werden.

Die Deflektometrie analysiert Spiegelbilder mit bekanntem Muster. Für erste Versuche mit den Folien wurde ein Teststand aufgebaut (s. Abb. 67). Der Monitor, auf dem unterschiedliche Testmuster (Schachbrett-, Streifenmuster, ...) angezeigt werden können, ist gegenüber der Folienoberfläche um ca. 45° geneigt. Zur Aufnahme des an der Folienoberfläche gespiegelten Bildes wird eine Kamera eingesetzt, die spiegelsymmetrisch zum Monitor ausgerichtet ist. Sowohl bei den PEEK-Folien als auch bei den PET-Folien konnten kontrastreiche Spiegelbilder aufgenommen werden. Die ersten Vorversuche haben gezeigt, dass selbst kleine Wölbungen zu einer erkennbaren geometrischen Verzerrung im Kamerabild führen (s. Abb. 67).

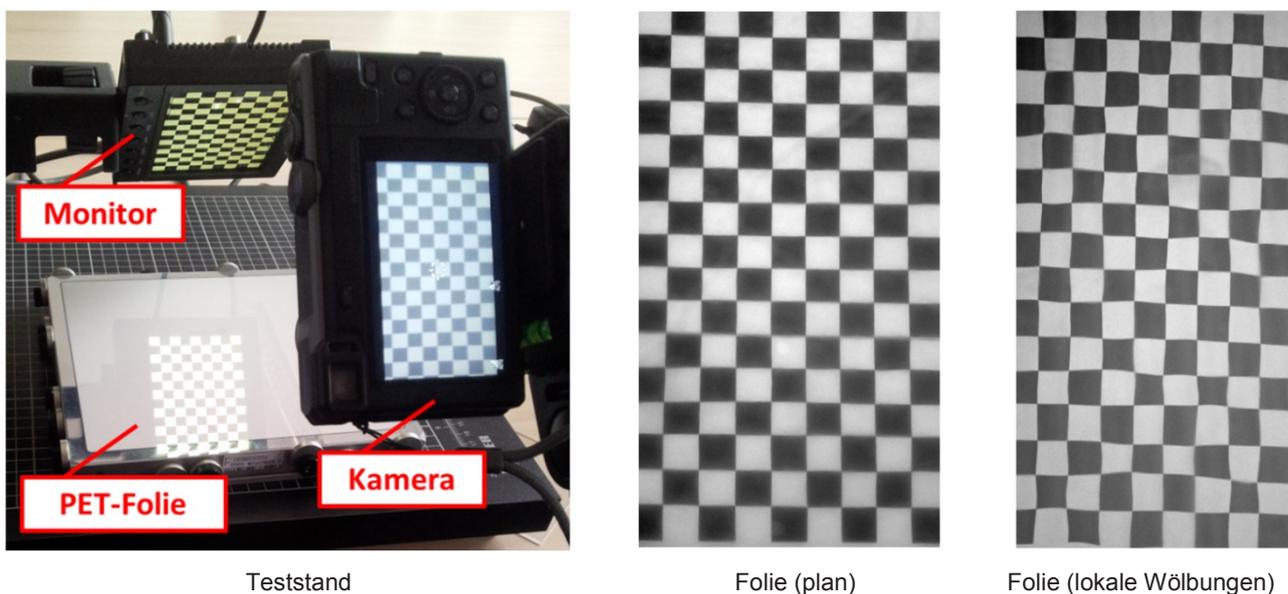


Abb. 67: Grundlegende Versuche zur deflektometrischen Prüfung der Planarität von Folien

Bei der Mosaikbildgenerierung auf Basis von Bildregistrierungen durch die Phasenkorrelation stellt der Registrierungsprozess den rechenaufwändigsten Prozess dar. Er benötigt etwa 80% der Gesamtlaufzeit des Bildgenerierungsprozesses. Hauptanteil an dieser Laufzeit ist die Berechnung der Fast Fourier Transformation (FFT) von den sich überlappenden Bildpaaren. Für die Registrierung müssen die Einzelbilder transformiert und komplex multipliziert werden. Es wurde untersucht, inwiefern eine Laufzeitoptimierung erfolgen kann, indem die Bilddaten vor der Registrierung auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Größe skaliert werden.

Bei der Untersuchung unterschiedlicher Skalierungsfaktoren hat sich gezeigt, dass die Korrelationswerte der einzelnen Bildregistrierungen stark von der Skalierung der Einzelbilder beeinflusst werden. Es wurde daher eine Methode ermittelt, mit Hilfe derer der Skalierungsfaktor der Einzelbilder auf die verringerten Korrelationswerte abgebildet werden kann. Somit ist es ohne weitere Veränderungen der bestehenden Algorithmen möglich, Bilddaten zu skalieren und bestehende Verfahren zur Klassifizierung von Registrierungen zu verwenden. Um eine möglichst genaue Auflösung bei der Registrierung zu erhalten, dürfen die Skalierungswerte aber nicht zu hoch gewählt werden. Analysen haben gezeigt, dass mit einer Verringerung der Bildgröße um Faktor 4 die Laufzeit des Mosaikbildgenerierungsprozesses um ca. 72 % reduziert werden kann und diese Reduktion die Qualität der Mosaikbilder nur unwesentlich verschlechtert.

Ein wichtiges Problem der korrelationsbasierten Bildregistrierung stellt die Klassifikation von Registrierungsergebnissen dar. Hierbei muss anhand eines Gütwertes der Korrelationsfunktion bestimmt werden, ob eine Registrierung als gültig klassifiziert und somit in das Mosaikbild aufgenommen wird. Als gültig klassifizierte Fehlregistrierungen können sich aber äußerst negativ auf die Qualität des entstehenden Mosaikbildes auswirken. Werden allerdings gültige Registrierungen verworfen, so verringert sich die Größe bzw. das Signal-/Rauschverhältnis der entstehenden Mosaikbilder.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Differenz zwischen den durch die paarweise Bildregistrierung ermittelten Versatzwerten und den aus der Lösung des überbestimmten Gleichungssystems berechneten Positionen der Einzelbilder im Mosaikbild ein geeigneter Indikator für Fehlregistrierungen ist. Dieser Restfehler ist bei Fehlregistrierungen deutlich höher als bei korrekten Registrierungen. Basierend auf diese Untersuchung wurde ein Nachverarbeitungsschritt implementiert, der auf Basis von Registrierungsergebnissen und der Verteilung der Restfehler im entstehenden Mosaikbild potenzielle Fehlregistrierungen ermittelt und ausschließt. Hierdurch konnte die Qualität der entstehenden Mosaikbilder deutlich erhöht werden (s. Abb. 68 und Abb. 69).

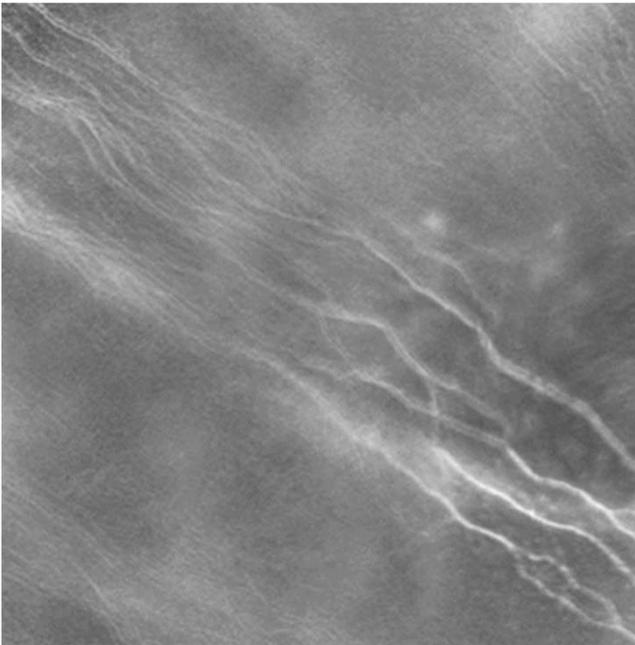


Abb. 68: Verbesserung der Bildqualität durch Verwendung der Restfehleranalyse - ohne Restfehleranalyse

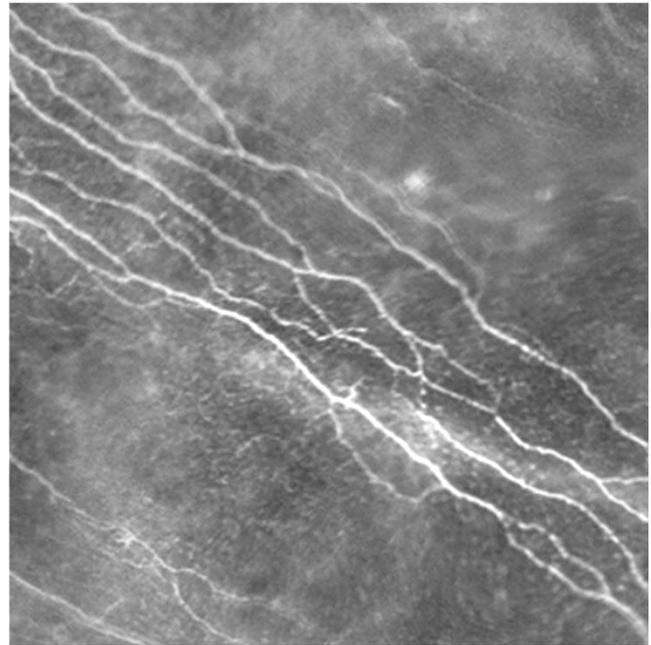


Abb. 69: Verbesserung der Bildqualität durch Verwendung der Restfehleranalyse - mit Restfehleranalyse

Programm SBD: Supercomputing & Big Data

Data Life Cycle Labs

Datenmanagement in der Energieinformatik

Mit Beginn der dritten Periode der Programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft (POF 3) startete die ehemalige Forschungsgruppe Distributed Computing (RGDC) am IAI als Teil des Data Life Cycle Labs Energy (DLCL Energy). Ziel der Forschungsarbeiten, die in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB, Prof. Hartmut Schmeck) durchgeführt werden, ist die Entwicklung eines Workflow- und Datenmanagementsystems für Energiedaten, aufbauend auf dem Konzept eines Systems Generischer Daten Services (GDS) und auf den Arbeiten im Portfolioprojekt LSDMA (Large Scale Data Management and Analysis) zum DLCL Energy.

Mit den GDS werden bisher Daten von Elektrischen Datenrecordern (EDR) verwaltet (Zusammenarbeit mit dem Programm SCI). Im Jahr 2015 erfolgte die Ausrichtung der Arbeiten auf das Energy Lab 2.0. Die Anforderungen an das Datenmanagement der einzelnen Partner dieses Projekts beinhalten vor allem die Speicherung von Zeitreihen aus Messungen und Simulationsläufen. Wesentlich sind die Daten aus dem Smart Energy System Control Laboratory im Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC) sowie Daten aus Power-Hardware-in-the-Loop (PhiL) Simulationsläufen im Institut für Technische Physik (ITEP) des KIT. Die Speicherung von EDR-Daten wird fortgeführt. Hier erfolgten weitere Anpassungen der Software. Ferner koordinierte das DLCL Energy erste Anforderungsanalysen aus dem Cluster Datenmanagement im Programm Speicher und vernetzte Infrastrukturen (SCI). Im Rahmen der Helmholtz-Initiative Energie System 2050 befasst sich seit Dezember 2015 eine Dissertation mit den Anforderungen von Echtzeit-Datenanalysen an Datenmanagement und Datenqualität und soll auch neue Services für die GDS liefern.

Die GDS werden auch in die Architektur des Control Visualization and Monitoring Center in SenSSiCC eingebracht (s. Abb. 43). Sie sollen dort die Verbindungsschicht zu kommerziellen Tools für das Datenmanagement, wie z.B. OpenTSDB für Zeitreihen, und zu den Speichertechnologien bilden, sowie ferner fehlende Managementservices liefern (Data Access Layer). Technische Metadaten sind ein weiterer Baustein in der Architektur, die unter Beteiligung des DLCL Energy entwickelt wurde.

Das Konzept einer Metadatenschicht, die aus den Objekten eines semantischen Datenmodells der Energienetze besteht, wurde weiterentwickelt. Die Evaluierung des Common Information Model (CIM) für Stromnetze und von Tools für die Instanziierung von Modellobjekten und die Transformation in verschiedene Datenformate ist abgeschlossen (s. Abb. 70). Das Werkzeug Cimphony der Firma Open Grid Systems Ltd. (<https://cimphony.com/content/>) erlaubt die Erstellung von Stromnetzplänen und daraus die Generierung von CIM-Objekten im RDF/XML-Format. Auch ein Bezug zur Geografie kann über einen Geospatial Editor hergestellt werden. Kleinere prototypische Modelle des Campus-Nord-Netzes wurden erstellt, u.a. auch in einem Google Maps überlagerten Netzplanlayer in Liferay.

Im Bereich Security konnte das in den GDS vorhandene Autorisierungskonzept verbessert werden. Für die Authentifizierung wurden mehrere Verfahren untersucht und nach verschiedenen Kriterien verglichen. Dabei schnitten Verfahren, die auf dem Password Authentication Protocol (PAP) basieren, am besten ab.

Weitere Arbeiten zu den GDS waren die Entwicklung von Zugriffsservices für MySQL und MongoDB, die Entwicklung eines Objekt-ID-Generators sowie prototypische Implementierungen zur generischen Erzeugung von Oberflächen (GUI und WebUI) und zur Programmierung von verteilten Objekten.

Als Vorarbeit für die Entwicklung einer Optimierungstoolbox für Stromsystemanwendungen erfolgte die Untersuchung von Metaheuristiken für die wichtigen Optimierungen in den Bereichen Kraftwerkseinsatzplanung, Reactive Power Management und Erweiterung des Stromnetzes. Betrachtet wurden Evolutionäre und Memetische Algorithmen, Algorithmen aus dem Gebiet Schwarmintelligenz und ein von Myxomyceten inspiriertes Modell.

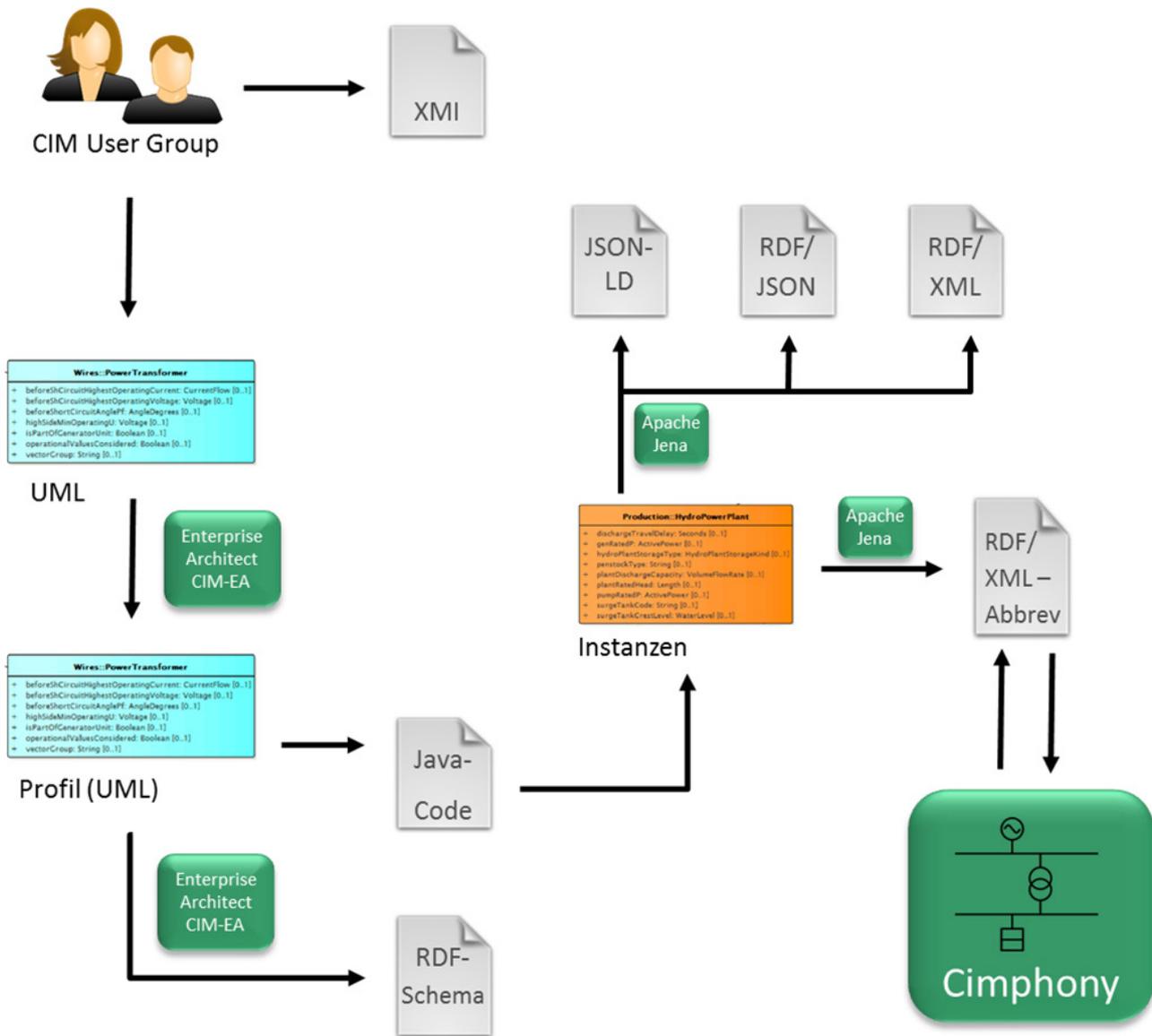


Abb. 70: Common Information Model: Aus dem UML-Modell können Profile für die Instanziierung der Objekte eines Stromnetzes abgeleitet werden. Konvertierungen in verschiedene Datenformate sind mittels Apache Jena möglich. In Cymphony können aus Stromnetzplänen CIM-konforme Objekte in einem RDF/XML-Format generiert werden.

Literaturverzeichnis

Publikationen, die in Web of Science oder Scopus verzeichnet sind

Badian, R.; Utheim, T.; Allgeier, S.; Köhler, B.; Ruggeri, A.; Poletti, E.; Guimarães, P. S.; Lagali, N.
Quantitative analysis of corneal sub-basal nerve plexus and inflammatory cells in large-area mosaics obtained by in vivo confocal microscopy.

2015. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 56 (7), 1637

Cakmak, H. K.; Maass, H.; Bach, F.; Kühnapfel, U.; Hagenmeyer, V.
Ein Ansatz zur automatisierten Erstellung umfangreicher und komplexer Simulationsmodelle für elektrische Übertragungsnetze aus OpenStreetMap-Daten.

2015. *at - Automatisierungstechnik*, 63, 911-925.

DOI:10.1515/auto-2015-0046

Diers, M.; Kamping, S.; Kirsch, P.; Rance, M.; Bekrater-Bodmann, R.; Foell, J.; Trojan, J.; Fuchs, X.; Bach, F.; Maaß, H.; Cakmak, H.; Flor, H.

Illusion-related brain activations: A new virtual reality mirror box system for use during functional magnetic resonance imaging.

2015. *Brain Research*, 1594, 173-182.

DOI:10.1016/j.brainres.2014.11.001

Doneit, W.; Tuga, M. R.; Mikut, R.; Liebetanz, D.; Rupp, R.; Reischl, M.

Kalibrierungs- und Trainingsstrategien zur individuellen Signalgenerierung für die myoelektrische Steuerung technischer Hilfsmittel.

2015. *tm - Technisches Messen*, 82, 411-421.

DOI:10.1515/teme-2015-0023

Gu, Z. G.; Pfriem, A.; Hamsch, S.; Breitwieser, H.; Wohlgemuth, J.; Heinke, L.; Gliemann, H.; Wöll, C.
Transparent films of metal-organic frameworks for optical applications.

2015. *Microporous and Mesoporous Materials*,

DOI:10.1016/j.micromeso.2015.02.04, 211, 82-87. DOI:10.1016/j.micromeso.2015.02.048

Guthoff, R. F.; Kowtharapu, B. S.; Hovakimyan, M.; Allgeier, S.; Köhler, B.; Winter, K.; Stahnke, T.; Marfurt, C. F.; Stachs, O.

Comparative quantitative assessment of the human corneal sub-basal nerve plexus by histologic staining and in vivo confocal microscopy.

2015. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 56 (7), 3071

Jakob, W.; Kramer, A.; Maaß, H.; Süß, W.

Security issues in distributed data acquisition and management of large data volumes.

2015. *Communications in Computer and Information Science*, Helfert, M. [Hrsg.] *Data Management Technology and Applications Berlin [u.a.]* : Springer, 2015 (; 178), 16-27.

DOI:10.1007/978-3-319-25936-9

Khan, A. M.; Mikut, R.; Reischl, M.

A benchmark data set to evaluate the illumination robustness of image processing algorithms for object segmentation and classification.

2015. *PLoS ONE*, 10 (7), e0131098.

DOI:10.1371/journal.pone.0131098

Knöll, D.; Rieder, C.; Atzmueller, M.; Scherer, K. P.

Subgroup discovery as a method for generating test ontologies.

2015. *Proceedings of the LWA 2015 Workshops: KDML, FGWM, IR, FGDB*. Trier, October 7-9, 2015. Ed.: R. Bergmann, 239-246, CEUR-WS, s.l.

Kobitski, A. Y.; Otte, J. C.; Takamiya, M.; Schäfer, B.; Mertes, J.; Stegmaier, J.; Rastegar, S.; Rindone, F.; Hartmann, V.; Stotzka, R.; Garcia, A.; van Wezel, J.; Mikut, R.; Strähle, U.; Nienhaus, G. U.

An ensemble-averaged, cell density-based digital model of zebrafish embryo development derived from light-sheet microscopy data with single-cell resolution.

2015. *Scientific Reports*, 5 (8601), 1-10.

DOI:10.1038/srep08601

- Kretschmer, E.; Bachner, M.; Blank, J.; Dapp, R.; Ebersoldt, A.; Friedl-Vallon, F.; Guggenmoser, T.; Gulde, T.; Hartmann, V.; Lutz, R.; Maucher, G.; Neubert, T.; Oelhaf, H.; Preusse, P.; Schardt, G.; Schmitt, C.; Schönfeld, A.; Tan, V.
In-flight control and communication architecture of the GLORIA imaging limb sounder on atmospheric research aircraft.
2015. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8 (6), 2543-2553.
DOI:10.5194/amt-8-2543-2015
- Lens, D.; Faulwasser, T.; Kellett, C. M.
Ansätze zur modellprädiktiven Regelung der longitudinalen Strahldynamik in Synchrotronen.
2015. *at - Automatisierungstechnik*, 63, 621-632.
DOI:10.1515/auto-2015-0020
- Lindenmann, N.; Dottermusch, S.; Goedecke, M. L.; Hoose, T.; Billah, M. R.; Onanuga, T. P.; Hofmann, A.; Freude, W.; Koos, C.
Connecting silicon photonic circuits to multicore fibers by photonic wire bonding.
2015. *Journal of Lightwave Technology*, 33 (4), 755-760.
DOI:10.1109/JLT.2014.2373051
- Maaß, H.; Cakmak, H. K.; Bach, F.; Mikut, R.; Harrabi, A.; Süß, W.; Jakob, W.; Stucky, K.-U.; Kühnapfel, U. G.; Hagemeyer, V.
Data processing of high-rate low-voltage distribution grid recordings for smart grid monitoring and analysis.
2015. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2015 (1), 1-21.
DOI:10.1186/s13634-015-0203-4
- Norajitra, P.; Basuki, W. W.; Giniyatulin, R.; Hernandez, C.; Kuznetsov, V.; Mazoul, I. V.; Richou, M.; Spatafora, L.
Recent progress in the development of helium-cooled divertor for DEMO.
2015. *Fusion Science and Technology*, 67, 732-744.
DOI:10.13182/FST14-832
- Norajitra, P.; Basuki, W. W.; Gonzalez, M.; Rapisarda, D.; Rohde, M.; Spatafora, L.
Development of sandwich flow channel inserts for an EU DEMO dual coolant blanket concept.
2015. *Fusion Science and Technology*, 68, 501-506.
DOI:10.13182/FST14-932
- Scherer, K. P.; Rieder, C.; Henninger, C.; Knoell, D.; Baumeister, J.; Furth, S.
Selbstlernende Wissensbasen in der Kataraktchirurgie.
2015. *Spektrum der Augenheilkunde*, 29, 75-76
- Seifert, R.; Keller, H. B.; Illyaskutty, N.; Knoblauch, J.; Kohler, H.
Numerical signal analysis of thermo-cyclically operated MOG gas sensor arrays for early identification of emissions from overloaded electric cables.
2015. *Sensors and Transducers*, 193, 74-79
- Seifert, R.; Keller, H. B.; Kohler, H.
SimSens - a new mathematical procedure for simultaneous analysis of gases with resistive gas sensors.
2015. *Sensors and Actuators B*, 209, 203-207.
DOI:10.1016/j.snb.2014.10.133
- Seifert, R.; Keller, H.; Matthes, J.
A review on innovative procedures for the analysis of data from gas sensor systems and networks.
2015. *Sensors and Transducers*, 184, 1-10
- Shaikhibrahim, Z.; Offermann, A.; Halbach, R.; Vogel, W.; Braun, M.; Kristiansen, G.; Bootz, F.; Wenzel, J.; Mikut, R.; Lengerke, C.; Reischl, M.; Schröck, A.; Perner, S.
Clinical and molecular implications of MED15 in head and neck squamous cell carcinoma.
2015. *Journal of Pathology, American*, 185, 1114-1122.
DOI:10.1016/j.ajpath.2014.12.010
- Spomer, W.; Hofmann, A.; Wacker, I.; Ness, L.; Brey, P.; Schröder, R. R.; Gengenbach, U.
Advanced substrate holder and multi-axis manipulation tool for ultramicrotomy.
2015. *Microscopy and Microanalysis*, 21, 1277-1278.
DOI:10.1017/S1431927615007175

- Stachs, O.; Winter, K.; Scheibe, P.; Köhler, B.; Allgeier, S.; Guthoff, R. F.
Local variability of parameters for characterization of the corneal sub-basal nerve plexus.
2015. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 56 (7), 1636
- Stumper, J. F.; Hagenmeyer, V.; Kuehl, S.; Kennel, R.
Deadbeat control for electrical drives: A robust and performant design based on differential flatness.
2015. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30, 4585-4596.
DOI:10.1109/TPEL.2014.2359971
- Wacker, I.; Chockley, P.; Bartels, C.; Spomer, W.; Hofmann, A.; Gengenbach, U.; Singh, S.; Thaler, M.; Grabher, C.; Schröder, R. R.
Array tomography: Characterizing FAC-sorted populations of zebrafish immune cells by their 3D ultrastructure.
2015. *Journal of Microscopy*, 259, 105-113.
DOI:10.1111/jmi.12223
- Waibel, P.; Matthes, J.; Gröll, L.
Constrained ellipse fitting with center on a line.
2015. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 53, 364-382.
DOI:10.1007/s10851-015-0584-x
- Werling, M.; Gutjahr, B.; Galler, S.; Gröll, L.
Riccati-Trajektoptimierung für den aktiven Fußgängerschutz.
2015. *at - Automatisierungstechnik*, 63, 202-210.
DOI:10.1515/auto-2014-1143
- Werling, M.; Reinisch, P.; Gröll, L.
Robust power-slide control for a production vehicle.
2015. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 13, 27-42.
DOI:10.1504/IJVAS.2015.070727
- Wissmann, M.; Barie, N.; Guttmann, M.; Schneider, M.; Kolew, A.; Besser, H.; Pfleging, W.; Hofmann, A.; van Erps, J.; Beri, S.; Watte, J.
Mould insert fabrication of a single-mode fibre connector alignment structure optimized by justified partial metallization.
2015. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 25, 035008/1-13.
DOI:10.1088/0960-1317/25/3/035008
- Wittmann, C.; Reischl, M.; Shah, A. H.; Kronfuss, E.; Mikut, R.; Liebel, U.; Grabher, C.
A zebrafish drug-repurposing screen reveals sGC-dependent and sGC-independent pro-inflammatory activities of nitric oxide.
2015. *Plos One*, 10 (10), e0137286.
DOI:10.1371/journal.pone.0137286
- Yu, K.; Lai, B. F. L.; Gani, J.; Mikut, R.; Hilpert, K.; Kizhakkedathu, J. N.
Interaction of blood components with cathelicidins and their modified versions.
2015. *Biomaterials*, 69, 201-211.
DOI:10.1016/j.biomaterials.2015.08.003

Sonstige Publikationen, die in schriftlicher Form vorliegen

Bengel, G.; Baun, G.; Kunze, C.; Stucky, K. U.

Masterkurs Parallele und Verteilte Systeme : Grundlagen und Programmierung von Multicore-Prozessoren, Multiprozessoren, Cluster, Grid und Cloud.

2015. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015 e-ISBN 978-3-8348-2151-5

Dauer, J. C.; Faulwasser, T.; Lorenz, S.

Run-to-run disturbance rejection for feedforward path following of an adaptively controlled unmanned helicopter.

2015. Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications (CCA), Sydney, AUS, September 21-23, 2015 Piscataway, N.J. : IEEE, 2015, 1779-1785.

DOI:10.1109/CCA.2015.7320867

Dietrich, P. I.; Wondimu, S. F.; Wienhold, T.; Steidle, M.; Hofmann, A.; Lindenmann, N.; Billah, M.; Hoose, T.; Blaicher, M.; Freude, W.; Koos, C.

Herstellung mikrooptischer Komponenten durch Zwei-Photonen-Polymerisation.

2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015 Proceedings auf CD-ROM Berlin : VDE-Verlag, 2015, 187-189

Doneit, W.; Mikut, R.; Gröll, L.; Reischl, M.

Vorwissen in Funktionsapproximationen durch Support-Vektor-Regression bei schlechter Datenqualität.

2015. Proceedings. 25. Workshop Computational Intelligence, Dortmund, 26. - 27. November 2015. Hrsg.: F. Hoffmann, 163-182, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe

Düpmeyer, C.; Stucky, K. U.; Mikut, R.; Hagenmeyer, V.

A concept for the control, monitoring and visualization center in Energy Lab 2.0.

2015. Gottwalt, S. [Hrsg.] Energy Informatics : 4th D-A-CH Conference, Karlsruhe, November 12-13, 2015 Cham [u.a.] : Springer International Publishing Switzerland, 2015 (Lecture Notes in Computer Science ; 9424), 83-94

Ernst, C.; Schmidt, A.

IMMM 2015 : The 5th International Conference on Advances in Information Mining and Management, Bruxelles, June 21-26, 2015.

2015. Wilmington : IARIA, 2015

Faulwasser, T.; Bonvin, D.

On the design of economic NMPC based on an exact turnpike property.

2015. IFAC-PapersOnLine, 48 (8), 525-530.

DOI:10.1016/j.ifacol.2015.09.021

Faulwasser, T.; Bonvin, D.

On the design of economic NMPC based on approximate turnpike properties.

2015. Proceedings of the 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2015), Osaka, J, December 15-18, 2015 Piscataway, N.J. : IEEE, 2015, 4964-4970.

DOI:10.1109/CDC.2015.7402995

Gehrmann, H.-J.; Scherrmann, A.; Baumann, W.; Hauser, M.; Paur, H.-R.; Stapf, D.; Hock, J.; Waibel, P.; Matthes, J.; Keller, H.

Co-Combustion of Biomass in Pulverized Fuel Boilers.

2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015, Karlsruhe, Germany, Karlsruhe, KIT

Geiger, A.; Benner, J.; Häfele, K. H.

Generalization of 3D IFC building models.

2015. Breunig, M. [Hrsg.] 3D Geoinformation Science : Selected Papers of the 3DGeoInfo Conference 2014, Dubai, UAE, November 11-13, 2014 Cham [u.a.] : Springer, 2015 (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), 19-35

Geiger, A.; Häfele, K. H.

Validierung von IFC Instanzdokumenten.

2015. Real Ehrlich, C.M. [Hrsg.] Bauinformatik 2015 : Beiträge zum 27.Forum Bauinformatik, Aachen, 21.-23.September 2015 Berlin [u.a.] : Wichmann, 2015, 28-36

Gengenbach, U.; Beck, C.; Guth, H.; Hellmann, A.; Koker, L.; Krug, M.; Martin, T.; Nagel, J.; Sieber, I.; Scharnowell, R.; Stiller, P.; Guthoff, R.; Bretthauer, G.
 Systemintegration auf Hard- und Softwareebene am Beispiel des 2:1 Funktionsmodells eines künstlichen Akkommodationssystems.
 2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015. Proceedings auf CD-ROM, 234-237, VDE-Verl., Berlin

Gröll, L.
 Methodik zur Integration von Vorwissen in die Modellbildung. Habilitation.
 2015. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
 DOI:10.5445/KSP/1000044645

Hagenmeyer, V.; Çakmak, H. K.; Döpmeier, C.; Faulwasser, T.; Isele, J.; Keller, H. B.; Kohlhepp, P.; Kühnapfel, U.; Stucky, U.; Mikut, R.
 Information and communication technology in Energy Lab 2.0.
 2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015, Karlsruhe, Germany, 57, Karlsruhe, KIT

Haitz, D.; Geiger, A.
 Konvertierung von CityGML-Gebäudemodellen in gbXML für energetische Betrachtungen.
 2015. Real Ehrlich, C.M. [Hrsg.] Bauinformatik 2015 : Beiträge zum 27.Forum Bauinformatik, Aachen, 21.-23.September 2015 Berlin [u.a.] : Wichmann, 2015, 62-69

Hausknecht, K.; Liebich, T.; Weise, M.; Linhard, K.; Steinmann, R.; Geiger, A.; Häfele, K. H.
 BIB/IFC software certification process by buildingSMART.
 2015. Mahdavi, A. [Hrsg.] eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction : Proceedings of the 10th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2014), Wien, A, September 17-19, 2014 Boca Raton [u.a.] : CRC Press, 2015, 129-133

Hofmann, A.; Kröger, M.; Ungerer, M.; Wondimu, S.; Dietrich, P. I.; Wienhold, T.; Lauermann, M.; Koos, C.; Bretthauer, G.
 Dossierplattform zur Deposition von photoaktiven Fluiden für Anwendungen in der Photonik.
 2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015. Proceedings auf CD-ROM, 127-130, VDE-Verl., Berlin

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.
 Integrated cooling systems for an extended operation range of borehole tools.
 2015. 39th Geothermal Research Council Annual Meeting, Reno, Nev., September 20-23, 2015 Technical Session Papers GRC Transactions, 39(2015), 1073-1078

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.
 KIT test-hall for geothermal tools. Experimental results and consequent engineering solutions.
 2015. 40th Annual Stanford Geothermal Workshop, Stanford, Calif., January 26-28, 2015 Proceedings published online Paper SGP-TR-204

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.
 Status of the COBOLD-project. Cooling of borehole objects in large depths.
 2015. World Geothermal Congress (WGC 2015), Melbourne, AUS, April 19-24, 2015 Papers publ.online Paper 22156 International Geothermal Association (IGA), 2015

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.; Hagenmeyer, V.
 Quality management and improvement for geothermal energy projects using the platform based tool development technology - ZWERG.
 2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015, Karlsruhe, Germany, Karlsruhe, KIT

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.; Hagenmeyer, V.
 Update: Platform based development of down-hole tools.
 2015. Geothermiekongress 2015, Essen, 2.-4.November 2015 Tagungsband auf CD-ROM

Irle, P.; Gröll, L.
Observer-based determination of motion parameters using a series of lidar data.
2015. Far East Journal of Dynamical Systems, 27, 45-62.
DOI:10.17654/FJDSep2015_045_062

Isele, J.; Bauer, C.; Dietze, S.; Holbein, B.; Spatafora, L.
The ZWERG project: A platform for innovative logging tools.
2015. World Geothermal Congress (WGC 2015), Melbourne, AUS, April 19-24, 2015 Papers publ.online
Paper 22040 International Geothermal Association (IGA), 2015

Isele, J.; Hagenmeyer, V.
Design of a novel water sampler for deep geothermal boreholes.
2015. Geothermiekongress 2015, Essen, 2.-4.November 2015 Tagungsband auf CD-ROM

Klaiber, S.; Bretschneider, P.; Waczowicz, S.; Mikut, R.; Konotop, I.; Westermann, D.
A contribution to the load forecast of price elastic consumption behaviour.
2015. Proceedings of IEEE PowerTech 2015, Eindhoven, NL, June 29 - July 2, 2015 Piscataway, N.J. :
IEEE, 2015.
DOI:10.1109/PTC.2015.7232548

Klaiber, S.; Bretschneider, P.; Waczowicz, S.; Mikut, R.; Konotop, I.; Westermann, D.
Extended method to forecast price elastic consumption behaviour.
2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of
Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015,
Karlsruhe, Germany, Karlsruhe, KIT

Kretschmer, E.; Bachner, M.; Blank, J.; Dapp, R.; Ebersoldt, A.; Friedl-Vallon, F.; Guggenmoser, T.;
Gulde, T.; Hartmann, V.; Lutz, R.; Maucher, G.; Neubert, T.; Oelhaf, H.; Preusse, P.; Schardt, G.; Schmitt,
C.; Schönfeld, A.; Tan, V.
In-flight control and communication architecture of the GLORIA imaging limb-sounder on atmospheric
research aircraft.
2015. Atmospheric Measurement Techniques Discussions, 8 (2), 1697-1729.
DOI:10.5194/amtd-8-1697-2015

Krug, M.; Nuber, F.; Bretthauer, G.
Variable frequency digital PWM controller for low-power buck converters.
2015. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2015), Sevilla, E,
March 17-19, 2015 Piscataway, N.J. : IEEE, 2015, 1226-1231.
DOI:10.1109/ICIT.2015.7125265

Laux, F.; Schmidt, A.; Del Pilar Angeles, M.; Nitta, K.
DBKDA 2015 : The 7th International Conference on Advances in Databases, Knowledge and Data Applica-
tions, Roma, I, May 24-29, 2015.
2015. Wilmington : IARIA, 2015

Lutz, C.; Matthes, J.; Waibel, P.; Precht, U.; Garbev, K.; Schweike, U.; Beuchle, G.; Stemmermann, P.;
Keller, H. B.
Characterisation of the product quality of a novel environmentally friendly cementitious material by estimation
of auxiliary quantities with near-infrared-spectroscopy.
2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of
Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015,
Karlsruhe, Germany, Karlsruhe, KIT

Lutz, C.; Matthes, J.; Waibel, P.; Precht, U.; Schweike, U.; Beuchle, G.; Garbev, K.; Stemmermann, P.;
Keller, H. B.
Near-infrared spectroscopy for the prediction of auxiliary quantities to characterize the product quality of a
novel cementitious material.
2015. Brebbia, C.A. [Hrsg.] Materials Characterisation VII, Valencia, E, April 22-24, 2015 Southampton [u.a.]:
WIT Press, 2015 (WIT Transactions on Engineering Sciences ; 90), 183-194

Marcato, D.; Alshut, R.; Breitwieser, H.; Mikut, R.; Strähle, U.; Pylatiuk, C.; Peravali, R.
An automated and high-throughput photomotor response platform for chemical screens.
2015. Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and
Biology Society (EMBS), Milano, I, August 25-29, 2015 Piscataway, N.J. : IEEE, 2015, 7728-7731.
DOI:10.1109/EMBC.2015.7320183

Megnin, C.; Ossmer, H.; Gültig, M.; Hanemann, T.; Kohl, M.
 Form-Gedächtnis-Mikroventile für Fluidsysteme.
 2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015 Proceedings auf CD-ROM
 Berlin : VDE-Verlag, 2015, 781-784

Moewes, C.; Mikut, R.; Kruse, R.
 Fuzzy control.
 2015. Kacprzyk, J. [Hrsg.] Springer Handbook of Computational Intelligence Berlin [u.a.] : Springer, 2015

Nouvel, R.; Bahu, J. M.; Kaden, R.; Kaempfer, J.; Cipriano, P.; Lauster, M.; Häfele, K. H.; Munoz, E.;
 Tournaire, O.; Caser, E.
 Development of the CityGML application domain extension energy for urban energy simulations.
 2015. 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association,
 Hyderabad, IND, December 7-9, 2015 Proceedings published online, 559-564

Nouvel, R.; Kaden, R.; Bahu, J. M.; Kaempfer, J.; Cipriano, P.; Lauster, M.; Benner, J.; Munoz, E.;
 Tournaire, O.; Casper, E.
 Genesis of the CityGML energy ADE.
 2015. Future Buildings and Districts - Sustainability from Nano to Urban Scale : International Conference
 CISBAT 2015, Lausanne, CH, September 9-11, 2015 Proceedings published online, 931-936.
 DOI:10.5075/epfl-cisbat2015-931-936

Pestarino, A.; Kueck, H.; Qin, Y.; Matteazzi, P.; Azcarate, S.; Dickerhof, M.; Romero, P.; Qjan, J.
 EU FP7 'Factories of the Future'. Projects to advance micro manufacturing technology and applications.
 2015. Commercial Micro Manufacturing International, 8, 19-25

Philipp, A.; Mikut, R.; Li, H.; You, C.
 Bahnlaufsimulation in Verarbeitungsmaschinen, Ergebnisse und Optimierungsstrategien.
 2015. VVD 2015 Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik : 8. wissenschaftliche Fachtagung,
 Radebeul, 12.-13.März 2015 Proceedings published online

Schlachter, T.; Döpmeier, C.; Kusche, O.; Schmitt, C.; Schillinger, W.
 Towards a search driven system architecture for environmental information portals.
 2015. Denzer, R. [Hrsg.] Environmental Software Systems : Infrastructures, Services and Applications ; 11th
 IFIP WG 5.11 International Symposium, ISESS 2015, Melbourne, AUS, March 25-27, 2015 Cham [u.a.] :
 Springer, 2015 (IFIP AICT ; 448), 351-360

Schmidt, A.; Bühler, S.
 On the detection of nontrivial and cross-language plagiarisms.
 2015. Laux, F. [Hrsg.] DBKDA 2015 : 7th International Conference on Advances in Databases, Knowledge,
 and Data Applications, Roma, I, May 24-29, 2015 Wilmington, IARIA, 2015, 40-42

Schmidt, A.; Neumann, S.
 Hintergrundwissen - Embarcadero ER/Studio, ASG-Rochade und CA Erwin im Vergleich.
 2015. ix - Magazin für professionelle Informationstechnik, 9, 59-63

Scholz, S.; Mueller, T.; Plasch, M.; Limbeck, H.; Iseringhausen, T.; Dickerhof, M.; Schmidt, A.; Woegener, C.
 SMARTLAM - A modular, flexible, scalable, and reconfigurable system for manufacturing of microsystems.
 2015. Schwab, I. [Hrsg.] INTELLI 2015 : 4th International Conference on Intelligent Systems and Applica-
 tions, St.Julians, Malta, October 11-16, 2015 Wilmington, IARIA, 2015, 140-141

Schott, B.; Stegmaier, J.; Takamiya, M.; Mikut, R.
 Challenges of integrating a priori information efficiently in the discovery of spatio-temporal objects in large
 databases.
 2015. Proceedings. 25. Workshop Computational Intelligence, Dortmund, 26. - 27. November 2015.
 Hrsg.: F. Hoffmann, 1-22, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe

Seifert, R.; Keller, H. B.
 A new mathematical procedure for simultaneous analysis of gases with resistive gas sensors.
 2015. Sensor und Test 2015, Nürnberg, 19.-21.Mai 2015 Proceedings published online Wunstorf : AMA
 Service GmbH, 2015, 845-847.
 DOI:10.5162/sensor2015/P.8.6

- Seifert, R.; Keller, H. B.; Illyaskutty, N.; Knoblauch, J.; Kohler, H.
Early detection of emissions preceding fires from overloaded electric cables: Approach with thermo-cyclically operated MOG sensor arrays and numerical signal analysis.
2015. Yurish, S. [Hrsg.] SENSORDEVICES 2015 : The 6th International Conference on Sensor Device Technologies and Applications, Venezia, I, August 23-28, 2015 Wilmington : IARIA, 2015, 91-96
- Sieber, I.; Perner, G.; Gengenbach, U.
Concept and set-up of an IR-gas sensor construction kit.
2015. Cormier, E. [Hrsg.] Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2015, Bordeaux, F, June 29 - July 2, 2015 Bellingham, Wash. : SPIE, 2015 Paper 97931E (Proceedings of SPIE ; 9793)
- Spatafora, L.; Armbruster, P.; Basuki, W. W.; Bauer, C.; Dietze, S.; Hauser, P.; Holbein, B.; Isele, J.; Rizvanovic, A.
Video inspection probe for deep geothermal boreholes - GeoKam.
2015. World Geothermal Congress (WGC 2015), Melbourne, AUS, April 19-24, 2015 Papers publ.online Paper 22100 International Geothermal Association (IGA), 2015
- Spatafora, L.; Isele, J.; Holbein, B.
Forschungsergebnis: GeoKam - Mechanik, Elektronik und Design des Videoinspektionssystems.
2015. Geothermiekongress 2015, Essen, 2.-4.November 2015 Tagungsband auf CD-ROM
- Toso, L.; Allgeier, S.; Eberle, F.; Maier, S.; Reichert, K. M.; Köhler, B.
Iterative algorithms to generate large scale mosaic images.
2015. Handels, H. [Hrsg.] Bildverarbeitung für die Medizin 2015 : Algorithmen, Systeme, Anwendungen ; Proceedings des Workshops, Lübeck, 15.-17.März 2015 Berlin [u.a.] : Springer, 2015 (Informatik aktuell) 6223-2
- Ungerer, M.; Gengenbach, U.; Hofmann, A.; Bretthauer, G.
Vergleichende Untersuchung und systemische Betrachtung verschiedener digitaler Ein-Düsen-Druckverfahren zur Herstellung funktionaler Mikrostrukturen.
2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015 Proceedings auf CD-ROM Berlin : VDE-Verlag, 2015
- Waczowicz, S.; Reischl, M.; Hagenmeyer, V.; Mikut, R.; Klaiber, S.; Bretschneider, P.; Konotop, I.; Westermann, D.
Demand response clustering - How do dynamic prices affect household electricity consumption?.
2015. Proceedings of IEEE PowerTech 2015, Eindhoven, NL, June 29 - July 2, 2015 Piscataway, N.J. : IEEE, 2015.
DOI:10.1109/PTC.2015.7232493
- Waczowicz, S.; Reischl, M.; Klaiber, S.; Bretschneider, P.; Konotop, I.; Westermann, D.; Hagenmeyer, V.; Mikut, R.
Virtual storages as theoretically motivated demand response models for enhanced smart grid operations.
2015. Energy, Science and Technology 2015. The energy conference for scientists and researchers. Book of Abstracts, EST, Energy Science Technology, International Conference & Exhibition, 20-22 May 2015, Karlsruhe, Germany, Karlsruhe, KIT
- Weidemann, R. (Hrsg.).
Jahresbericht 2014 / Institut für Angewandte Informatik (KIT Scientific Reports ; 7697).
2015. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
DOI:10.5445/KSP/1000047464
- Wiegel, F.
Entwicklung eines Kommunikations- und Steuerrechners für eine Bohrlochsonde.
2015. Geothermiekongress 2015, Essen, 2.-4.November 2015 Tagungsband auf CD-ROM

Vorträge, die nicht in schriftlicher Form vorliegen

Badian, R. A.; Utheim, T. P.; Allgeier, S.; Köhler, B.; Ruggeri, A.; Poletti, E.; Guimares, P.; Lagali, N. S.
Quantitative analysis of corneal sub-basal nerve plexus and inflammatory cells in large-area mosaics obtained by in vivo confocal microscopy.

2015. ARVO Annual Meeting 2015, Denver, CO, May 3-7, 2015

Bittner, K.; Brenner, T.; Scholz, S.; Jordan, T.

H2FC sage framework - Crowdsourcing in the hydrogen and fuel cells community.

2015. European Technical School on Hydrogen and Fuel Cells, Heraklion, GR, June 22-26, 2015

Faulwasser, T.

Model predictive path following control.

2015. 1st Symposium on Robotics and Model Predictive Control: Path Following, Bremen, September 13-16, 2015

Faulwasser, T.

On the design of predictive controllers based on turnpike properties.

2015. Vortrag: Universität Bayreuth, 27. April 2015

Faulwasser, T.

On the relevance of turnpike properties for model predictive control.

2015. Vortrag: Technische Universität Shanghai, 11. Dezember 2015

Faulwasser, T.; Bonvin, D.

On the design of economic NMPC based on an exact turnpike property.

2015. International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes (ADCHEM), Whistler, CDN, June 7-10, 2015

Gröll, L.

Linearisierungen (Wege, um die lineare Theorie zu retten).

2015. 279. Dresdner Automatisierungstechnisches Kolloquium, Dresden, 19. Oktober 2015

Guthoff, R. F.; Kowtharapu, B. S.; Hovakimyan, M.; Allgeier, S.; Köhler, B.; Winter, K.; Stahnke, T.; Marfurt, C.; Stachs, O.

Comparative quantitative assessment of the human corneal sub-basal nerve plexus by histologic staining and in vivo confocal microscopy.

2015. ARVO Annual Meeting 2015, Denver, Colo., May 3-7, 2015

Hempel, S.; Benner, J.; Häfele, K. H.

Generating early design alternatives base on formalized requirements and geospatial data.

2015. 32nd CIB W78 Conference, Eindhoven, NL, October 27-29, 2015

Holbein, B.

Kühlschrank für Bohrlöcher - dauerhafte Kühlung von Elektronik bei Temperaturen über 200 °C.

2015. GeoTHERM Fachmesse, Offenburg, 5.-6. März 2015

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.

Extended tool operation range through integrated cooling concepts.

2015. Celle Drilling 2015, Celle, September 14-15, 2015

Holbein, B.; Isele, J.; Spatafora, L.; Hagenmeyer, V.

Why cooling and geothermal go together. Practical and advanced examples of concepts.

2015. European Geothermal Workshop (EGW 2015), Strasbourg, F, October 19-20, 2015

Isele, J.; Dietze, S.; Holbein, B.; Spatafora, L.

Verbesserte Qualität von Geothermieranlagen durch die ZWERG Plattformstrategie.

2015. HGF-Workshop Geothermie, Karlsruhe, 18. Mai 2015

Keller, H. B.

Zuverlässige, sichere und beherrschbare Software. Herausforderungen für hoch vernetzte Infrastrukturen.

2015. Vortrag: Büro Nationale und Europäische Digitale Agenda, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 9. September 2015

Keller, H. B.
Entwicklung von Echtzeitsystemen. Konzepte, Methoden und Nachweisverfahren.
2015. Vortrag: Hochschule Jena, 21.Mai 2015

Keller, H. B.
Entwicklung zuverlässiger Software für Embedded Systeme mit Ada.
2015. Vortrag: Endress und Hauser AG, Reinach, CH, 27. März 2015

Keller, H. B.
Sind Computer intelligent? Von Aristoteles bis Neurocomputing.
2015. Vortrag: Begegnungsstätte Waldstadt, Karlsruhe, 6.Juli 2015

Keller, H. B.; Lutz, C.; Matthes, J.; Schneider, O.; Seifert, R.; Vogelbacher, M.; Waibel, P.
Intelligente Sensorik und Quellenlokalisierung.
2015. Vortrag: Hefeverband Berlin, Berlin, 12. Februar 2015

Keller, H. B.; Schneider, O.
Entwicklung zuverlässiger Software-Systeme mit Ada.
2015. VDI-Arbeitskreis Informationstechnik, Berlin, 13. Februar 2015

Keller, H. B.; Schneider, O.; Matthes, J.; Hagenmeyer, V.
Zuverlässige, sichere und beherrschbare Software in der Automatisierung - Wunsch und Wirklichkeit.
2015. IMI 2015 - IT meets Industry, Frankenthal, 29.-30.September 2015

Knoblauch, J.; Illyaskutty, N.; Kohler, H.; Seifert, R.; Keller, H. B.
Thermally modulated noble metal decorated tin oxide based gas sensor arrays.
2015. 9th International Workshop on Semiconductor Gas Sensors, Zakopane, PL, December 13-16, 2015

Krug, H.; Kühnel, D.; Marquardt, C.; Nau, K.; Paul, F.; Steinbach, C.
The DaNa2.0 knowledge base nanomaterials. Communicating current nanosafety research based on evaluated literature data.
2015. 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2015), Singapore, SGP, June 28 - July 3, 2015

Kühnel, D.; Nau, K.; Marquardt, C.; Krug, H. F.; Paul, F.; Steinbach, C.
Providing comprehensive information on environmental impacts of nanomaterials. The DaNa2.0 knowledge base nanomaterials.
2015. 10th International Conference on the Environmental Effects of Nanoparticles and Nanomaterials (ICEENN), Wien, A, September 6-10, 2015

Legradi, J.; Ouyang, X.; Cenjin, P.; Kobayashi, K.; Pylatiuk, C.; Lamoree, M.; Legler, J.
'Toxicant discovery in the zebrafish': Using zebrafish to identify novel chemicals in environmental samples.
2015. SETAC Europe 25th Annual Meeting, Barcelona, E, May 3-7, 2015

Lutz, C.; Matthes, J.; Waibel, P.; Precht, U.; Schweike, U.; Beuchle, G.; Garbev, K.; Stemmermann, P.; Keller, H. B.
Near-infrared spectroscopy for the prediction of auxiliary quantities to characterize the product quality of a novel cementitious material.
2015. 7th International Conference on Computational Methods and Experiments in Materials Characterisation, Valencia, E, April 22-24, 2015

Marquardt, C.
What's nano got to do with it? The importance of material characterization for nanosafety.
2015. NanoVision 2015, Erlangen, November 17-18, 2015

Marquardt, C.; Krug, H. F.; Kuehnel, D.; Paul, F.; Steinbach, C.; Nau, K.
The DaN2.0 knowledge base nanomaterials. Quality-approved and easy-to-understand information on current nanosafety research.
2015. Nanotech France 2015 International Conference & Exhibition, Paris, F, June 15-17, 2015

Matthes, J.
Kamerabasierte Optimierung industrieller Hochtemperaturprozesse.
2015. Vortrag: Hochschule Jena, 21.Mai 2015

Matthes, J.; Hock, J.; Waibel, P.; Scherrmann, A.; Gehrmann, H. J.; Keller, H. B.
A high-speed camera based approach for the on-line analysis of particles in multi-fuel burner flames.
2015. 9th Mediterranean Combustion Symposium (MCS-2015), Rhodos, GR, June 7-11, 2015

Mikut, R.
 Computational intelligence in smart grids.
 2015. IEEE CIES Workshop, Cape Town, ZA, December 7-10, 2015

Mikut, R.
 Visual analytics for sequence-activity relationships of antimicrobial peptides.
 2015. 5th International Meeting on Antimicrobial Peptides (IMAP 2015), London, GB, September 7-8, 2015

Philipp, A.; Mikut, R.; Li, H.; You, C.
 Bahnlaufsimulation in Verarbeitungsmaschinen, Ergebnisse und Optimierungsstrategien.
 2015. VVD 2015 Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik : 8. wissenschaftliche Fachtagung, Radebeul, 12.-13.März 2015

Portl, J.; Stegmaier, J.; Mang, I. V.; Reischl, M.; Schröder, R.; Leitte, H.
 Visualization for error-controlled surface reconstruction from large electron microscopy image stacks.
 2015. Visualization in Practice, Chicago, Ill., October 25-30, 2015

Rupp, R.; Schmalfuß, L.; Tuga, M.; Kogut, A.; Hewitt, M.; Meincke, J.; Duttenhöfer, W.; Eck, U.; Mikut, R.; Reischl, M.; Liebetanz, D.
 TELMYOS - a telemetric wheelchair control interface based on the bilateral recording of myoelectric signals from ear muscles.
 2015. Technically Assisted Rehabilitation Conference (TAR 2015), Berlin, March 12-13, 2015

Scherer, K. P.; Germann, M.; Baumeister, J.; Furth, S.
 Decision support for ophthalmic applications.
 2015. 23rd International Conference on Multiple Criteria Decision Making (MCDM 2015), Hamburg, August 2-7, 2015

Schlachter, T.; Döpmeier, C.; Schmitt, C.; Schillinger, W.
 Suchmaschinen-getriebene Umweltportale. Nutzung einer Elastic-Suchmaschine.
 2015. 22.Workshop des Arbeitskreises Umweltinformationssysteme, Kassel, 7.-8.Mai 2015

Schmidt, A.; Nees, F.
 Big Data - Neue Herausforderungen für die Kapitalmarktanalyse.
 2015. Vortrag: M-Seminar der Deutschen Bundesbank, Frankfurt, 25. Februar 2015

Schmidt, A.; Savnik, I.
 Overview of regular path queries in graphs.
 2015. 2nd International Workshop on Large-scale Graph Storage and Management (GraphSM 2015), Roma, I, May 24-29, 2015

Scholz, S.
 SMARTLAM - ein hochgestecktes Ziel.
 2015. MicroTec Südwest, 8.Fachgruppensitzung Drucktechnologien, Freudenstadt, 24.November 2015

Scholz, S.
 SMARTLAM - ein modulares, flexibles, skalierbares und konfigurierbares System für die Herstellung von Mikrosystemen.
 2015. Vortrag: IHK Haus der Wirtschaft, Karlsruhe, 17.November 2015

Seifert, R.
 PROSA and embedded sequential test-procedures for NRTA.
 2015. 2nd Technical Meeting on Statistical Methodologies for Safeguards, Wien, A, October 14-16, 2015

Seifert, R.; Keller, H. B.
 AGaMon-Statusbericht Juli 2015.
 2015. AGaMon Projekttreffen, Karlsruhe, 23.Juli 2015

Seifert, R.; Keller, H. B.
 AGaMon-Statusbericht September 2015.
 2015. AGaMon Projekttreffen, Karlsruhe, 16.September 2015

Seifert, R.; Keller, H. B.
 AGaMon-Statusbericht Dezember 2015.
 2015. AGaMon Projekttreffen, Karlsruhe, 4.Dezember 2015

Seifert, R.; Keller, H. B.; Conrad, T.; Peter, J.
 Evaluation of measurement data from a sensor system for breath control.
 2015. Asian Conference on Chemical Sensors (ACCS), Penang, MAL, November 16-18, 2015

Seifert, R.; Schneider, O.; Keller, H. B.
 HySeP-Statusbericht Juni 2015.
 2015. HySeP-Projekttagung, Karlsruhe, 5. Juni 2015

Spomer, W.; Hofmann, A.; Wacker, I.; Ness, L.; Brey, P.; Schröder, R. R.; Gengenbach, U.
 Advanced substrate holder and multi-axis manipulation tool for ultramicroscopy.
 2015. Microscopy & Microanalysis 2015 Meeting, Portland, Oreg., August 2-6, 2015

Spomer, W.; Hofmann, A.; Wacker, I.; Ness, L.; Brey, P.; Schröder, R. R.; Gengenbach, U.
 Advanced tool for ultramicroscopy: Substrate holder and multi-axis manipulator.
 2015. Microscopy Conference 2015, Göttingen, September 6-11, 2015

Stachs, O.; Winter, K.; Scheibe, P.; Köhler, B.; Allgeier, S.; Guthoff, R. F.
 Local variability of parameters for characterization of the corneal sub-basal nerve plexus.
 2015. ARVO Annual Meeting 2015, Denver, Colo., May 3-7, 2015

Stegmaier, J.; Arz, J.; Mikut, R.; Sanders, P.
 3D+T terabyte image analysis.
 2015. Annual Meeting of the SPP 1736 (Algorithms for Big Data), Karlsruhe, September 30 - October 2, 2015

Stegmaier, J.; Mikut, R.
 Exploiting biological prior knowledge and uncertainty for large-scale image analysis.
 2015. Seeing is Believing - Imaging the Processes of Life, EMBO/EMBL Symposium, Heidelberg, October 6-10, 2015

Stegmaier, J.; Mikut, R.
 Enhancing image analysis pipelines with uncertainty treatment.
 2015. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, New York, N.Y., April 16-19, 2015

Tofighi, E.; Faulwasser, T.; Kellett, C. M.
 Nonlinear model predictive control approach for structural load mitigation of wind turbines in presence of wind measurement uncertainties.
 2015. Australian Control Conference (AUCC), Gold Coast, AUS, November 5-6, 2015

Poster und sonstige Publikationen

Düpmeier, C.; Kusche, O.; Greceanu, C.; Schmitt, C.
Soda4LCA-Software.
2015

Gengenbach, U.; Dickerhof, M.; Koker, L.; Nagel, J.; Sieber, I.; Schwartz, G.; Kuehner, T.; Torge, M.; Ungerer, M.; Bretthauer, G.
Ein Baukastensystem für multifunktionale, mehrlagige, gedruckte Systeme.
2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015

Kühnel, D.; Nau, K.; Marquardt, C.; Krug, H. F.; Paul, F.; Steinbach, C.
Providing comprehensive information on environmental impacts of nanomaterials. The DaNa2.0 knowledge base nanomaterials.
2015. 15th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE 2015), Leipzig, September 20-24, 2015

Kühnel, D.; Nau, K.; Marquardt, C.; Krug, H. F.; Paul, F.; Steinbach, C.
Providing comprehensive information on environmental impacts of nanomaterials. The DaNa2.0 knowledge base nanomaterials.
2015. SETAC Europe 25th Annual Meeting, Barcelona, E, May 3-7, 2015

Marquardt, C.; Duschl, A.; Krug, H. F.; Kuehnel, D.; Paul, F.; Steinbach, C.; Nau, K.
The DaNa2.0 knowledge base nanomaterials. Quality-approved and easy-to-understand information on current nanosafety research.
2015. EuroNanoForum 2015, Riga, LV, June 10-12, 2015

Megnin, C.; Ossmer, H.; Gültig, M.; Hanemann, T.; Kohl, M.
Form-Gedächtnis-Mikroventile für Fluidsysteme.
2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015

Oyama, L. B.; Girdwood, S. E.; Cookson, A.; Fernandez-Fuentes, N.; Edwards, J. E.; Golyshin, P.; Golyshina, O.; Prive, F.; Mikut, R.; Hilpert, K.; Creevey, C.; Huws, S. A.
Antimicrobial activity of two novel antimicrobial peptides identified in cow metagenome.
2015. 5th International Meeting on Antimicrobial Peptides (IMAP 2015), London, GB, September 7-8, 2015

Scherer, K. P.; Rieder, C.; Henninger, C.; Knoell, D.; Baumeister, J.; Furth, S.
Selbstlernende Wissensbasen in der Kataraktchirurgie.
2015. 56.Tagung der Österreichischen Ophthalmologischen Gesellschaft, Villach, A, 14.-16.Mai 2015

Spomer, W.; Hofmann, A.; Gengenbach, U.; Bretthauer, G.
Rechnergestützte Schichtdickenbestimmung in der Ultramikrotomie basierend auf Weißlichtinterferenz.
2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015

Staudt, K.; Fuchs, X.; Trojan, J.; Diers, M.; Milde, C.; Bekrater-Bodmann, R.; Foell, J.; Maas, H.; Bach, F.; Flor, H.
Ein Heimtrainingssystem mit Erweiterter Realität zur Therapie von Phantomschmerzen basierend auf dem Spiegel- und dem motorischen Vorstellungstraining.
2015. Deutscher Schmerzkongress, Mannheim, 14.-17.Oktober 2015

Steinbach, C.; Krug, H. F.; Kuehnel, D.; Nau, K.; Marquardt, C.; Paul, F.; Wick, P.
DaNa² - Wissensplattform Nanomaterialien.
2015. i-WING 2015 - Vom Material zur Innovation, Dresden, 27.-29.April 2015

Ungerer, M.; Gengenbach, U.; Hofmann, A.; Bretthauer, G.
Vergleichende Untersuchung und systemische Betrachtung verschiedener digitaler Ein-Düsen-Druckverfahren zur Herstellung funktionaler Mikrostrukturen.
2015. MikroSystemTechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26.-28.Oktober 2015

