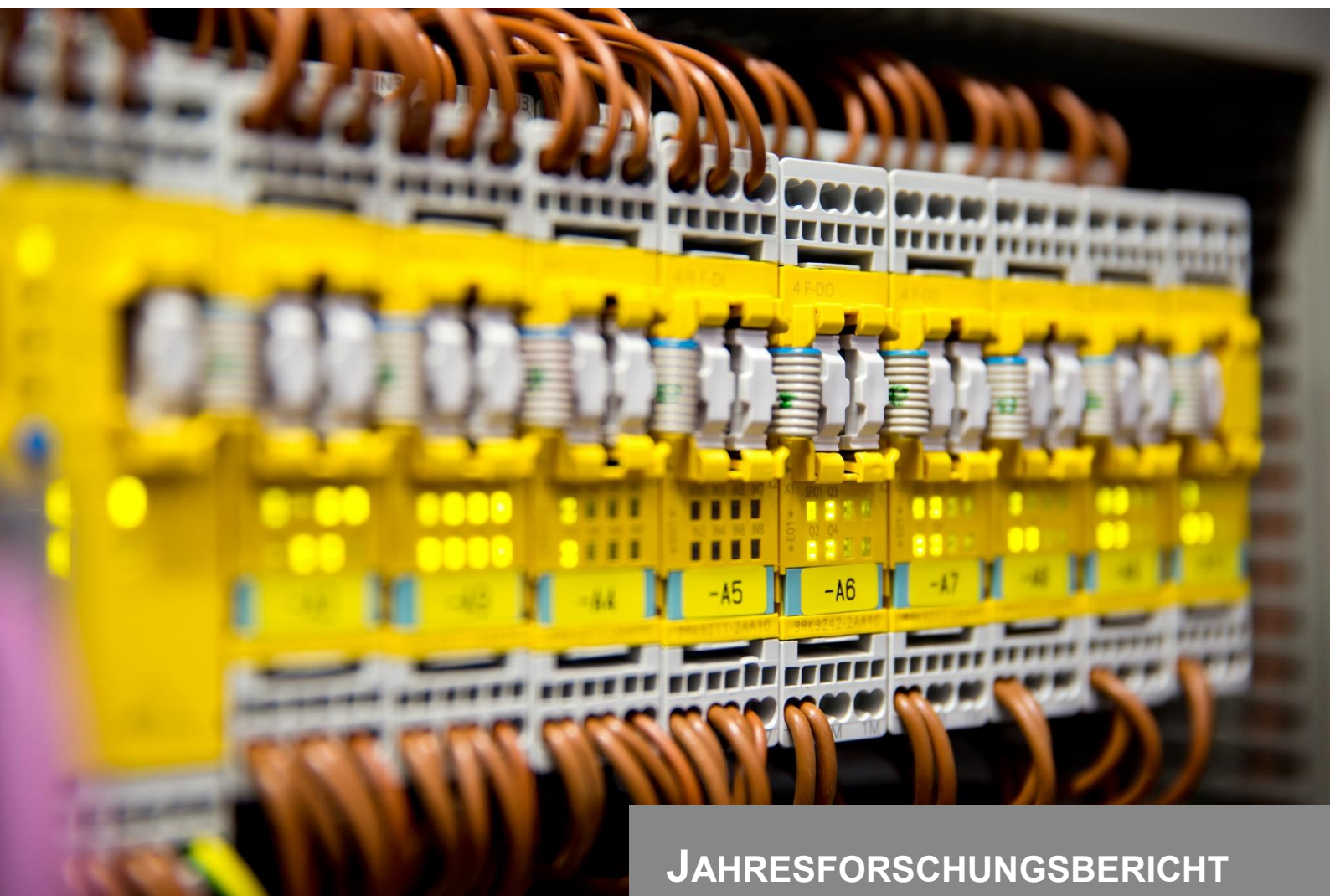




Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Institut für Prozesstechnik,
Prozessautomatisierung
und Messtechnik



JAHRESFORSCHUNGSBERICHT 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Statistische Angaben.....	2
2.1	Drittmittelverteilung	2
2.2	Entwicklung der Mitarbeiterzahlen.....	2
3	Struktur.....	3
3.1	Organigramm	3
3.2	Übersicht Professuren.....	3
3.2.1	Mitwirkung der Professoren in Gremien	3
3.2.2	Mitwirkung der Mitarbeiter in Gremien.....	4
3.2.3	Forschungsprofil	5
4	Forschungsaktivitäten des IPM.....	6
4.1	Messtechnik Prozessautomatisierung	6
4.1.1	Überblick.....	6
4.1.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte	8
4.1.3	Versuchsanlagen	19
4.1.4	Publikationen	25
4.1.5	Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden	27
4.1.6	Führungen im „Zittauer Kraftwerkslabor“	28
4.2	Kerntechnik / Soft Computing.....	29
4.2.1	Überblick.....	29
4.2.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte	30
4.2.3	Versuchsanlagen	33
4.2.4	Messtechnik.....	38
4.2.5	Publikationen	40
4.2.6	Betreuung von Promovenden.....	41
4.3	Mechatronische Systeme	41
4.3.1	Überblick.....	41
4.3.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte	42
4.3.3	Versuchsanlagen	49
4.3.4	Messtechnik.....	53
4.3.5	Publikationen	55
4.3.6	Betreuung von Promovenden.....	56
4.3.7	Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden	56
4.4	Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik	56
4.4.1	Überblick.....	56
4.4.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte	58
4.4.3	Versuchsanlagen	68
4.4.4	Publikationen	74
4.4.5	Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden	75
4.5	Messen und wissenschaftliche Veranstaltungen	75
4.6	Pressemitteilungen.....	76
4.6.1	Zittauer Know-how auf der Hannover Messe 2019.....	76
4.6.2	Das IPM auf der Jahrestagung Kerntechnik 2019	78
4.6.3	Zeigen, was die Forschung zu bieten hat	79
4.6.4	Eindrucksvoller Projektfortschritt	80
4.6.5	Noch 50 m bis zum Ziel.....	81

4.6.6	Siedekrise erfolgreich verhindert!	83
5	Bisherige Auftraggeber und Kooperationspartner	85

1 Einleitung

Das IPM ist als In-Institut eine „Zentrale Einrichtung“ der Hochschule Zittau/Görlitz. Derzeit fünf Professoren aus zwei Fakultäten leisten mit insgesamt ca. 40 Mitarbeitern gemeinsam anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den Gebieten Energietechnik und Mechatronik.

Zusätzlich arbeiten am Institut im Rahmen von studentischen Praktika und Abschlussarbeiten jährlich circa 20 Frauen und Männer aus dem In- und Ausland.

Die über viele Jahre konstante Anzahl von Projekten aus wettbewerblichen, wissenschaftsgeleiteten Verfahren des Bundes und der Europäischen Union sowie die aus der Wirtschaft finanzierten Projekte sind Resultat der engagierten und umsichtigen Arbeit der zum Teil langjährig erfahrenen und spezialisierten Männer und Frauen in Akquisition und Projektdurchführung, gemeinsam mit den ebenso engagierten Mitarbeitern der HSZG-Verwaltung, ohne die die Erfolge nicht denkbar sind. Die Stärke des IPM drückt sich in den im Jahr 2019 eingeworbenen Drittmitteln aus. Die Summe von 1,98 Millionen EURO ist ein wichtiger Pfeiler der Leistungserfüllung der HSZG.

Der Jahresforschungsbericht 2019 gibt einen Überblick über die durchgeführten Projekte und spiegelt außerdem einen Ausschnitt des wissenschaftlichen Lebens am IPM wider. Exemplarisch sei darauf verwiesen, dass es im Bereich Rückbau kerntechnischer Anlagen gelungen ist, weitere Projekte einzuwerben und die Forschungslinie „Zwischen-/Endlagerung hochradioaktiver Reststoffe“ weiter auszubauen.

Ein Höhepunkt des Wissenstransfers in die Gesellschaft und der zugehörigen Öffentlichkeitsarbeit war der Erfolg unseres Projektmanagers Dr. Clemens Schneider beim „2. Saxony⁵ Science Slam“ der Hochschule Mittweida. Mit der öffentlichkeitswirksamen Präsentation der Forschungsergebnisse seiner Dissertation zum Thema „Siedevorgänge in Druckwasserreaktoren“ in einem Pitch hat er das Publikum überzeugt und in der Abstimmung den Sieg errungen. Saxony⁵ ist der Transferverbund der sächsischen staatlichen Hochschulen für angewandte Wissenschaften.

Bei der Hannover Messe Industrie 2019 war das IPM gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) Zittau am Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“ vom 1. – 5. April vertreten. Bei der Science Lounge im Rahmen des Sommerfests der HSZG und dem 50 Jahrestag der Ingenieurhochschule Zittau am 5. Juni präsentierte das IPM neben multimedialen, interaktiven Präsentationen auch den Prototypen eines Bildverarbeitungssystems zur Überprüfung von Rietbleien in der Textilindustrie.

Unser Institutsdirektor Prof. Alexander Kratzsch wurde am 15. November zum Rektor der Hochschule Zittau/Görlitz für die Wahlperiode 2020 – 2025 gewählt. Im Februar 2020 erfolgte durch den Institutsrat die Wahl von Prof. Tobias Zschunke zum neuen Institutsdirektor für die Wahlperiode 2020 - 2023.

An dieser Stelle sei nochmals ganz ausdrücklich und herzlich allen Frauen und Männern der HSZG gedankt, die zusammen für die Erfolge des IPM gearbeitet haben.



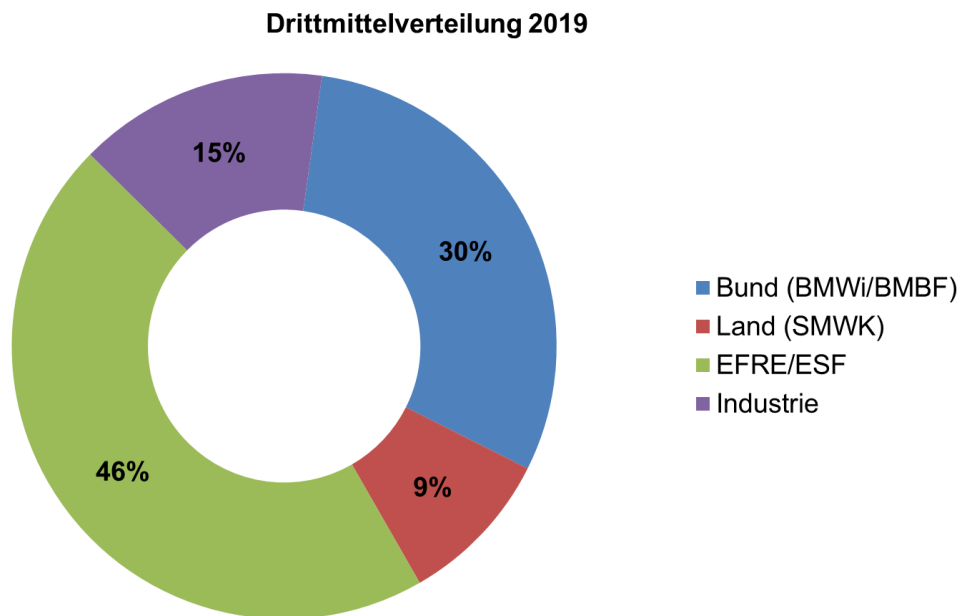
Zittau, im Mai 2020

Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Direktor IPM

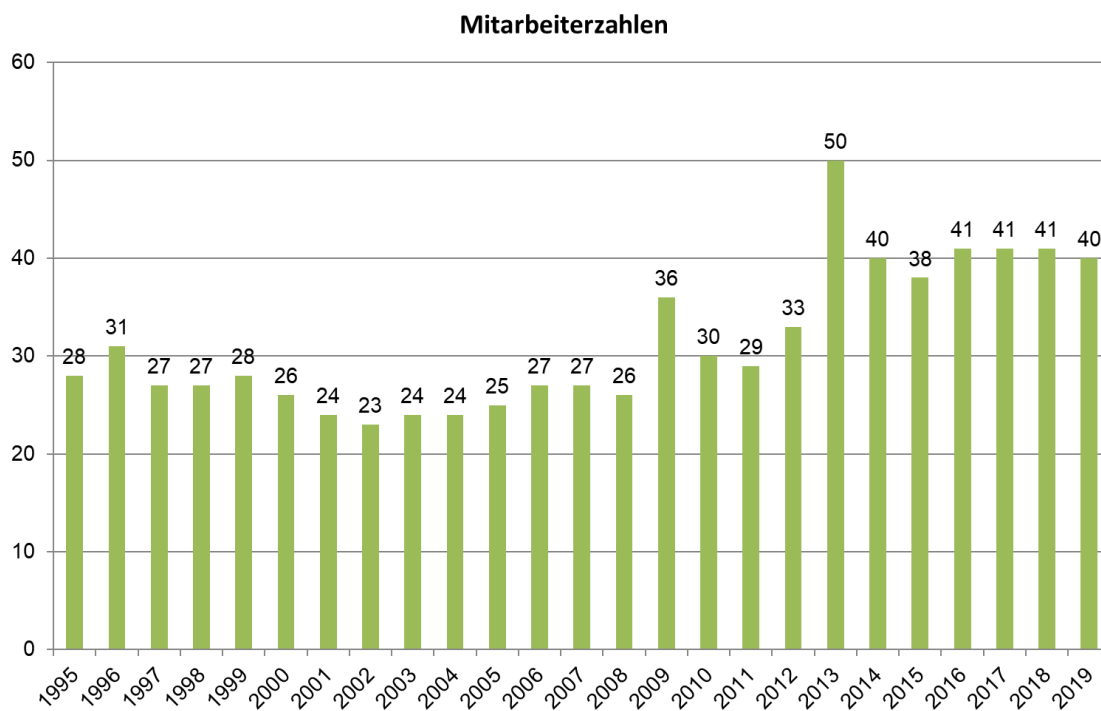
2 Statistische Angaben

Hochschullehrer: 5
Mitarbeiter: 41
Drittmittel 2019: 1,98 Millionen EUR

2.1 Drittmittelverteilung

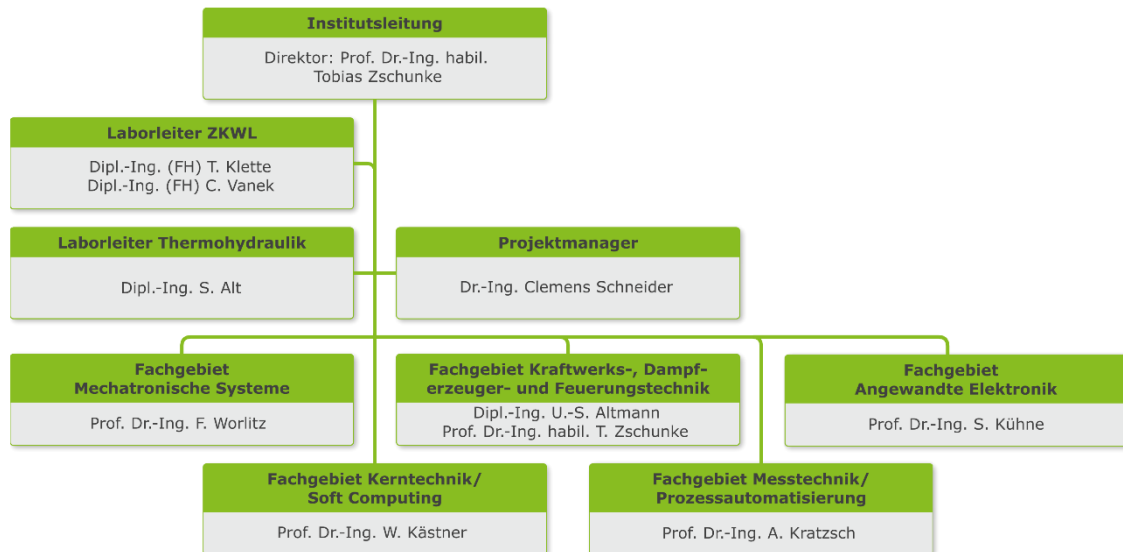


2.2 Entwicklung der Mitarbeiterzahlen



3 Struktur

3.1 Organigramm



Sekretariat: Bärbel Münzberg

3.2 Übersicht Professuren

- Messtechnik/Prozessautomatisierung (Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch)
- Steuerungs- und Regelungstechnik (Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner)
- Projektierung von Automatisierungs- und Mechatroniksystemen (Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz)
- Elektrotechnik/Schaltungstechnik (Prof. Dr.-Ing. Stephan Kühne)
- Kraftwerks- und Energietechnik (Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke)

3.2.1 Mitwirkung der Professoren in Gremien

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch:

- Studiengangsleiter Automatisierung und Mechatronik, Studienrichtungs-verantwortlicher Mechatronik und Mitglied der zugehörigen Studienkommission
- Fachlicher Kernteam-Berater für den Bereich Mechatronik der Deutsch-Mexikanischen-Hochschule im Deutschen Hochschulkonsortium für internationale Kooperationen (DIHK)
- Mitglied der ständigen Kommission Ingenieurwissenschaften des Rektors der HSZG
- Obmann VDI Bezirksgruppe Oberlausitz
- Gutachter AiF
- Gutachter Auswahlausschuss Jahrestagung Kerntechnik
- Gutachter International Conference on Nuclear Engineering ICONE
- GMA-Fachausschuss 7.11 „Leittechnik in Kernkraftwerken“

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner:

- GMA-Fachausschuss 5.14 “Computational Intelligence”
- Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC)
- Gastdozent an der Chinesisch-Deutschen Hochschule für Angewandte Wissenschaften (CDHAW) der Tongji Universität Schanghai
- Gutachter Auswahlausschuss Jahrestagung Kerntechnik

Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz:

- Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informatik
- Studienkommission Mechatronik
- Mitglied des Prüfungsausschusses des Studienganges Elektrotechnik und des Studienganges Mechatronik
- Gutachter DIN/ISO-Ausschuss NALS/VDI Schwingungen von Maschinen
- Gutachter des tschechischen Ministeriums für Ausbildung und Wissenschaft
- Mitglied im Arbeitskreis Mechatronik der CDHAW an der Tongji-Universität Schanghai
- Gastdozent Chinesisch-Deutsche Hochschule für Angewandte Wissenschaften (CDHAW) der Tongji Universität (Schanghai) und TU Liberec (Tschechische Republik)
- Fachkoordinator Mechatronik des Deutschen Hochschulkonsortiums (DHIK) für die CDHAW
- Gutachter IEEE und National Research Foundation (NRF) South Africa

Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke:

- Prorektor Forschung der HS Zittau/Görlitz in der Wahlperiode 2015 bis 2020 und in dieser Funktion Mitglied in mehreren Gremien
- Gutachter in den BMBF-Programmen „IngenieurNachwuchs“ und „FHInvest“
- Mitglied im VDI-AK zur VDI 3461 „Emissionsminderung Holzvergasungsanlagen“
- Berater der Arbeitsgruppe Vergasung von Biomasse der Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V. (FEE) und mitwirkend an deren jährlicher Einschätzung zum Stand der thermochemischen Vergasung von Biomasse in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung, im Zuge der Fachtagungen „Kleine und mittlere Holzvergasung“ während der RENEXPO® in Augsburg
- Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der „Internationalen Anwenderkonferenz für Biomassevergasung“, im Zuge der CEP – CLEAN ENERGY & PASSIVE HOUSE® in Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Hampel i. R.:

- Projektkomitee "Transienten und Unfallabläufe" bei Projektträger BMWi bis 2010
- Projektgutachter für Czech Science Foundation (bis 2012)
- Reaktorsicherheitskommission, Ausschuss Elektrische Einrichtungen 1991-2010
- Gutachter im aFuE-Programm des BMBF (Automatisierungstechnik)
- GMA-Fachausschuss 7.11 „Leittechnik in Kernkraftwerken“
- Gutachter für BMWi, BMBF - Forschungsprojekte

3.2.2 Mitwirkung der Mitarbeiter in Gremien**Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß:**

- GMA-Fachausschuss 7.11 "Leittechnik in Kernkraftwerken"
- GMA-Fachausschuss 5.14 "Computational Intelligence"
- ITG Informationstechnische Gesellschaft im VDE

Dr.-Ing. Clemens Schneider:

- Gutachter International Conference on Nuclear Engineering ICONE
- Gutachter International Conference on Power Science and Engineering ICPSE
- Mitwirkung im Energy Saxony e.V.
- Mitglied im Transferverbund „Innovative Hochschule“ Saxony⁵
- Mitglied im Senat der Hochschule Zittau/Görlitz

Dipl.-Ing (FH) Roman Schneider:

- Mitglied im VDI-AK zur VDI 3461 „Emissionsminderung Holzvergasungsanlagen“

3.2.3 Forschungsprofil

Das IPM leistet einen langjährigen und wesentlichen Beitrag bei der Einwerbung von wirtschaftlichen und öffentlichen Drittmitteln der HSZG. Die experimentelle Infrastruktur des IPM mit den Laboren

- Zittauer Kraftwerkslabor,
- Thermohydrauliklabor,
- Magnetlagerlabor und
- Verbrennungslabor

ist exzellent ausgebaut und stellt ein echtes Alleinstellungsmerkmal im Forschungsschwerpunkt Energie und Umwelt in der durch die Fachgebiete abgedeckten Breite dar. Die Forschungsaktivitäten des IPM konzentrieren sich auf die Bereiche:

- Grundlagenforschung
- öffentlich finanzierte Drittmittelforschung
- wirtschaftlich finanzierte Drittmittelforschung
- Forschungsk Kooperationen mit Grundeinheiten der HSZG und anderen Institutionen (Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft usw.)

Die Aktivitäten des Institutes werden in die folgenden fünf Fachgebiete eingeordnet:

- Messtechnik/Prozessautomatisierung
- Kerntechnik/Soft Computing
- Mechatronische Systeme
- Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik
- Angewandte Elektronik

4 Forschungsaktivitäten des IPM

4.1 Messtechnik Prozessautomatisierung

4.1.1 Überblick

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Hampel i.R.
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Braun
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gubsch
Steffen Härtelt
Dr.-Ing. Stefan Kittan
Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette
Dipl.-Ing (FH) Doreen Kratzsch
Dipl.-Ing. (FH) Vivien Müller-Seelig
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Reinicke
Dipl.-Übers. (FH) Elisa Rudolph
Dr.-Ing. Sebastian Schmidt
M.Eng. Christian Vogel
Dipl.-Ing. Thomas Schäfer
Dipl.-Ing. Martin Tschofen

Arbeitsfelder:

- Energiespeicher für thermische Prozesse mit den Schwerpunkten Dampfspeicher, Verdrängungsspeicher, Sektorkopplung
 - Entwicklung, Design und Projektierung von Speicherkonzepten
 - Prozess- und leittechnische Integration
 - Flexibilisierung und prozesstechnische Optimierung
 - Messtechnik- und Automatisierungskonzepte
 - Modellierung und Simulation
 - Modellentwicklung
 - Simulation des statischen und dynamischen Verhaltens von Speicherprozessen in Verbindung mit dem Anlagenverhalten sowie der Mess- und Leittechnik
 - Verwendete Software: DynStar, EBSILON, ATHLET
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Konzept- und Komponententests an der Großversuchsanlage THERESA für Parameter bis 160 bar und 350 °C
 - Experimentelle Analyse von Messtechnik- und Automatisierungskonzepten
 - Modellvalidierung
- Nichtinvasive Messverfahren zur Zustandsdiagnose von Systemen

- Entwicklung von Messverfahren
- Analyse zum Aufbau und Verhalten der betrachteten Systeme
- Bestimmung von Messkonfigurationen bzw. -anordnungen
- Modellierung und Simulation
 - Modellentwicklung und Mustererkennung zur Lösung inverser Problemstellungen
 - Simulationsgestützte Analyse des statischen und dynamischen Verhaltens der entwickelten Messverfahren
 - Verwendete Software: DynStar, Matlab/Simulink, Python
- Experimentelle Untersuchungen
 - Experimentelle Analyse des statischen und dynamischen Verhaltens der entwickelten Messverfahren
 - Validierung der entwickelten Messverfahren
- Digitale Sicherheitsleittechnik
 - Strukturanalysen
 - Modellierung und Simulation
 - Modellentwicklung
 - Statische und dynamische Simulation des verfahrenstechnischen Prozesses in Verbindung mit der Mess- und Leittechnik
 - Verwendete Software: DynStar
 - Sicherheitstechnische Bewertungen der betrachteten Strukturen

Applikationsfelder:

- Thermische Energiespeicherung
- Sektorkopplung
- Power-to-X
- Flexibilisierung
- Industrie 4.0
- Digitalisierung von industrieller Produktion und energietechnischen Prozessen
- Prototyping
- Künstliche Intelligenz
- Bildverarbeitung zur Qualitätssicherung
- Autonome Produktion
- Zwischen-/Endlagerung hochradioaktiver Reststoffe, Rückbau kerntechnischer Anlagen

Applikationen:

- Versuchsanlagen
- Großtechnische Anlagen/Großversuchsanlagen
- Thermische Energiespeicher
- Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung
- Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zur Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns
- Virtual Reality und Augmented Reality
- Kollaborationsfähige Roboter
- Simulationswerkzeug DynStar

4.1.2 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

4.1.2.1 Entwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung der Nassdampfqualität in energietechnischen Anlagen – DAQUA

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Braun (2019 bis 2022)

Finanzierung: Richtlinie zur Förderung von Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt 2018)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FKZ: 13FH163PX8

Partnerunternehmen: HZDR-Innovation GmbH



Laufzeit: 01.07.2019 bis 31.06.2022

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Dampfqualitätsmessung im Hochdruckbereich. Dies ist mit heute am Markt befindlichen Sensoren sowie Messtechniken nicht direkt möglich. Gelöst werden soll das Problem durch die Entwicklung eines Hybrid-Messverfahrens, welches die Kombination eines thermodynamischen und eines elektrischen Messverfahrens beinhaltet. Das Hybrid-Messverfahren wird gemeinsam durch das Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik an der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) sowie der HZDR Innovation GmbH entwickelt. Die Erprobung und Charakterisierung des Hybrid-Messverfahrens erfolgt an der Versuchsanlage THERESA (Thermische Energiespeicheranlage). Das avisierte Vorhaben wird in wissenschaftlicher Zusammenarbeit mit dem Institut für Fluidodynamik des Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) durchgeführt, welches unikale Expertise im Bereich Mehrphasenströmungen in druckführenden Anlagen beiträgt. Die erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse werden zudem in die Lehre (ca. 2 SWS) der HSZG transferiert.

Zur Lösung des Gesamtproblems sind folgende Teilzielstellungen im Rahmen der angewandten Forschung zu erreichen:

Teilziel 1:

Entwicklung eines instrumentierten keramischen Absorbers

Teilziel 2:

Erarbeitung einer messtechnischen Lösung zur verteilten Kapazitätsmessung

Teilziel 3:

Ausarbeitung der thermodynamischen Bilanzen und Sensorsimulation

Teilziel 4:

Erarbeitung eines Konzepts zur kombinierten Durchfluss- und Dampfqualitäts-messung

Teilziel 5:

Aufbau eines Funktionsmusters und Test des Sensors in der THERESA-Versuchsanlage

4.1.2.2 Grundlagenanalyse zum Einsatz moderner Methoden der Kommunikationstechnologie im Bereich Industrie 4.0

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Braun (2018 bis 2019)
Dr.-Ing. Sebastian Schmidt (2019 bis 2020)
M.Eng. Christian Vogel (2018 bis 2020)

Finanzierung: *Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)*

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.



Laufzeit: 01.02.2018 bis 31.12.2020

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Rahmen des SMWK-Projektes wird die Kommunikationstechnologie, basierend auf den Protokollen RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0), OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) und Ethernet-TSN (Time Sensitive Networking), zur Schaffung einer Wissensbasis analysiert sowie dokumentiert. Im ersten Schritt wird eine Studie zum Thema angefertigt, die alle relevanten Modelle, Standards und Normungen beschreibt. Mit Hilfe geeigneter Hardware-Infrastruktur erfolgt im Anschluss ein geeigneter Funktionstest. Zielstellung ist die Veranschaulichung des Zusammenspiels der Kommunikation von Industrie 4.0-Komponenten, Cloudlösungen und Datenanalysesoftware. Die Ergebnisse in Form einer Wissensbasis werden in die Wirtschaft (KMU), Forschung und Lehre überführt.

Die zu erstellende Studie zum Aufbau der Wissensbasis ist in Bearbeitung. Für die Veranschaulichung des Zusammenspiels der Kommunikation ist ein kollaborationsfähiger Roboter der Firma Universal Robots (UR5e) mit sechs Bewegungsachsen beschafft worden. Die folgende Abbildung stellt das Konzept der Demonstration dar.

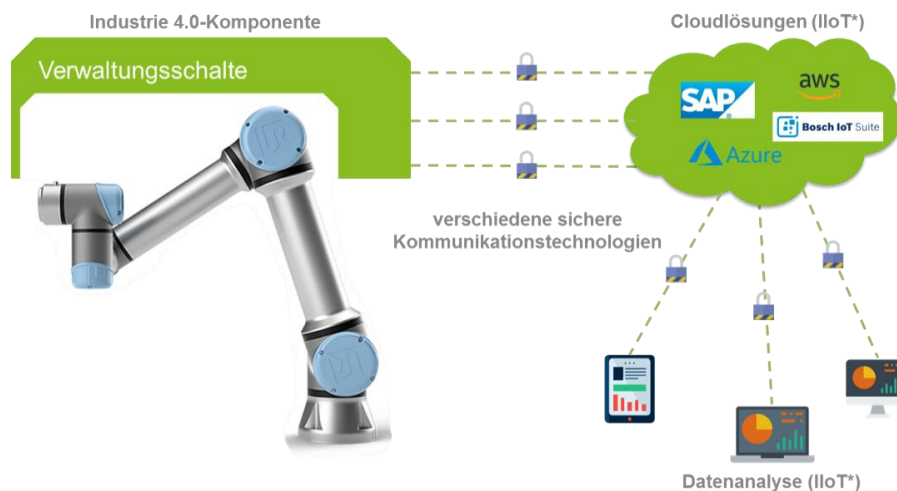


Abb. 4-1 Konzept zur Veranschaulichung des Zusammenspiels der Kommunikation

Mit dem Roboter wird ein realer Prozess in Form einer Mensch-Roboter-Interaktion vorgeführt. Somit können die verschiedensten Informations- und Kommunikationstechnologien praxisnah erprobt sowie demonstriert werden. Der kollaborationsfähige Roboter sowie ein adaptiver Bildverarbeitungsgreifer wird mit Hilfe von RAMI 4.0 beschrieben und daraus mit der jeweiligen Verwaltungsschale eine Industrie 4.0-Komponente entwickelt. Die Industrie 4.0-Komponente wird dann anschließend über eine sichere Kommunikationstechnologie mit einer Cloudlösung Daten austauschen, die wiederum zur Datenanalyse dienen.

4.1.2.3 Hochtransientes thermisches Energiespeichersystem für eine anlagenschonende und energieeffiziente Flexibilisierung thermischer Energieanlagen HOTHES - Modellentwicklung und experimentelle Validierung

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette, M.Eng. Christian Vogel, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gubsch, Dipl.-Ing. (FH) Doreen Kratzsch, Dipl.-Ing. Sebastian Braun, Dr.-Ing. Stefan Kittan, Steffen Härtelt

Finanzierung: Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Sächsische Aufbaubank (SAB), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Laufzeit: 01.12.2015 bis 30.06.2019

Ergebnisse:

Das Projekt ist Bestandteil des Zittauer Kraftwerkslabors. Es ordnet sich in die Forschung und Entwicklung innerhalb des Kompetenzfeldes „Energie und Umwelt“ der Hochschule Zittau/Görlitz ein.

Die globale Zielstellung des Gesamtvorhabens „HOTHES - Modellentwicklung und experimentelle Validierung“, ist die Entwicklung eines experimentell validierten und skalierbaren Simulationsmodells für die Auslegung hochtransienter thermischer

Energiespeichersysteme für industrielle Anlagen. Die Teilzielstellungen sind im Folgenden zur Erreichung der globalen Zielstellung aufgeführt:

- Erhebung einer Datenbasis und Ableitung von Kenngrößen,
- Modellierung und Validierung eines Speichersystem-Modells,
- Entwurf eines Schutz- und Regelungskonzeptes sowie
- Wissenstransfer in die sächsische Wirtschaft.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse, die im Vorhaben HOTHES – Modellentwicklung und experimentelle Validierung erzielt wurden, zusammengefasst.

Schaffung einer Datenbasis

Alle Daten der bisher 107 stattgefundenen Versuche, die an der VA THERESA und damit am Hochleistungsspeichersystem (HLSS) erfolgt sind, sind in einer zentralen Datenbanklösung erfasst und dokumentiert. Die Daten umfassen alle erfassbaren Größen in der VA THERESA. Die erfassten Daten stellen eine umfangreiche Datenbasis für die stattgefunden Validierung des Speichersystemmodells und für zukünftige Untersuchungen dar.

Experimentell ermittelte Kenngrößen

Das modulare HLSS in seiner skalierten Form besitzt statische Auslegungsgrößen sowie transiente, betriebsabhängige Kenngrößen. Die statischen Auslegungsgrößen umfassen beispielsweise Wandstärken, Abmessungen und Dämmungen. In Tabelle 1 sind die ermittelten transienten betriebsabhängigen Kenngrößen zusammengefasst.

Tabelle 1: Transiente betriebsabhängige Kenngrößen

Kenngrößen	Einheit	Wert	Bemerkung
Speicherdichte	kWh/m ³	88	bei $\Delta T = 123$ K
Speicherkapazität	kWh	53	bei $\Delta T = 123$ K
Leistungsdichte	kW/m ³	12.565	maximaler Betriebswert
Be- Entladeleistung	kW	± 240	maximaler Betriebswert
Temperaturniveau Wasser	°C	140 bis 265	
Temperaturdifferenz	K	123	maximaler Betriebswert
Leistungsgradient	kW/s	$\pm 4,0$	maximaler Betriebswert
Beladevolumenstrom	m ³ /h	1,72	maximaler Betriebswert
Entladevolumenstrom	m ³ /h	1,72	maximaler Betriebswert
Betriebsdruck	barü	51	maximaler Betriebswert
Wärmeverlustleistung	kW	2,6	maximaler Betriebswert, Wärmedämmung durch Messtechnik stark reduziert
Temperaturverlust	K/h	8	
Grädigkeit Mischvorwärmer	K	7	kleiner Sattwassertemperatur
Nutzungsgrad	%	85	gültig für Haltezeiten von maximal 2 Stunden

Für die Bestimmung der Kennwerte wurden Versuche mit stationären Start- und Endwerten verwendet. Es ist zu beachten, dass es sich um transiente Vorgänge handelt, welche im Ergebnis zu spezifischen Kennwerten führten (Tabelle 1). Die tatsächlichen Kenngrößen sind damit hochgradig betriebsabhängig.

Simulationsmodell eines transienten Speichersmodells

Um das modulare HLSS auf beliebige industrielle Anwendungen mit Clausius-Rankine-Prozess anzuwenden, wurde ein transientes und skalierbares Simulationsmodell entwickelt, umgesetzt und experimentell validiert. Bei der Entwicklung des Simulationsmodells wurde besonderes Augenmerk auf die transienten Vorgänge im

Wasser/Dampf-Kreislauf und die spätere Skalierbarkeit der einzelnen Module gelegt. Das entwickelte transiente, skalierbare und modulare Simulationsmodell wurde anschließend mit experimentellen Daten validiert. Im Ergebnis steht ein flexibles Auslegungswerkzeug zur Verfügung, dass die beliebige Skalierung der Speicherkapazität und Wärmeleistung des HLSS für beliebige industrielle Anwendungen mit Clausius-Rankine-Prozess ermöglicht und so einen entscheidenden Beitrag zur Flexibilisierung dieser Prozesse leistet.

Schutz- und Regelungskonzept

Im Rahmen des Projektes wurde ein mehrstufiges Sicherheits- bzw. Schutzkonzept für das HLSS entwickelt, umgesetzt und experimentell erprobt. Zur Erreichung der definierten Schutzziele wurden administrative Maßnahmen formuliert, Überwachungsfunktionen, aktive elektronische Sicherheitseinrichtungen und passive mechanische Sicherheitseinrichtungen in das HLSS und die VA THERESA implementiert. Die verbaute Sicherheitssensorik wurde nach Erfordernissen gemeinsam mit der zulässigen Überwachungsstelle an die experimentellen Anforderungen angepasst. Das entwickelte Sicherheits- und Schutzkonzept hat sich im realen Betrieb als praxistauglich erwiesen. Weiterhin wurde ein spezielles Regelungskonzept für das HLSS entwickelt, umgesetzt und experimentell erprobt. Hierfür wurden Funktionsgruppen gebildet, welche in Hinblick auf ihre regelungstechnische Aufgabe unterteilt wurden. Eine besondere Herausforderung stellte die Regelung des Füllstandes im Mischvorwärmer mit seiner extrem hohen Leistungsdichte dar. Das Regelungskonzept besteht im Wesentlichen aus der Steuerung von Ventilantrieben zur Umschaltung zwischen den Betriebsarten des HLSS und der Regelung von Füllstand und Pumpenmassenströmen.

Wissenstransfer

Im Rahmen des Projektes wurde eine Vielzahl an nationalen und internationalen Veröffentlichungen vorgenommen. Dadurch wurde der Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich thermischer Energiespeicher weiter verbessert. Weiterhin wurde eine Vielzahl an studentischen Arbeiten durchgeführt sowie für die Lehre praxisorientierte Seminar- und Belegaufgaben erarbeitet.

Regionale Energieversorger und Wirtschaftsunternehmen wurden in öffentlichen Veranstaltungen wie Tagungen, Konferenzen und Workshops unterstützt und beraten. Mit der Aufgabe des Wissenstransfers an Gesellschaft, Wirtschaft und Politik wurde eine Website (<https://theresa.ipm.hs-zg.de/>) für die VA THERESA und das HLSS erstellt, welche Dritten die Möglichkeit bietet Experimente online oder im Nachgang zu verfolgen.

4.1.2.4 Entwicklung einer intelligenten technologieübergreifenden Digitalisierungslösung für die Sektorkopplung

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette, M.Eng. Christian Vogel, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gubsch, Dipl.-Ing. (FH) Doreen Kratzsch, Dr.-Ing. Stefan Kittan, Steffen Härtelt
Finanzierung:	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Sächsische Aufbaubank (SAB), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Laufzeit: 01.07.2019 bis 30.06.2021

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Aus den bisherigen Arbeiten des Antragstellers ist abzuleiten, dass neben der maschinentechnischen Integration von TES in Energieumwandlungsanlagen bzw. in das Energiesystem, insbesondere der leitechnischen Integration eine besondere Bedeutung zukommt. Nur durch eine intelligente Vernetzung der Sektoren und der zugehörigen Technologien werden die Ziele der Dekarbonisierung der Wirtschaftskreisläufe erreicht und der Umbau des Energieversorgungssystems in Deutschland erfolgreich sein.

Daraus abgeleitet erfolgt die Formulierung der Zielstellung für das anvisierte Projekt:

Ziel ist die Entwicklung und experimentelle Erprobung einer intelligenten technologieübergreifenden Digitalisierungslösung für sektorenkoppelnde Energiespeichersysteme. Hierfür soll eine universelle Gateway-Lösung entwickelt werden, welche Automatisierungs- und energietechnisches Know-how verbindet. Es wird eine intelligente und vernetzbare Automatisierungskomponente für Energiespeichersysteme bereitgestellt, welche eine effiziente und technologieneutrale Sektorenkopplung ermöglicht. Neue Methoden der Digitalisierung und Automatisierung werden untersucht sowie umgesetzt. Die Umsetzung der Methoden hat das Ziel, einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und Versorgungssicherheit zu leisten.

Kern der Arbeiten sind Analysen sowie die Entwicklung, Umsetzung und Erprobung der intelligenten Digitalisierungslösung mit den folgenden Schwerpunkten:

- Analyse und Auswahl vielversprechender CO₂-armer und sektorkoppelnder Energiespeichersysteme
- Modellierung eines generischen Energiesystems (Erzeuger, Netze, Verbraucher) mit ausgewählten Energiespeichertechnologien
- Recherche und Analyse zur Digitalisierung, Automatisierung und Regelung von Energiespeichersystemen
- Entwicklung und Umsetzung ausgewählter Methoden der Digitalisierung für die Vernetzung des Energiesystems zur Steigerung der Energieeffizienz und der Versorgungssicherheit
- Entwicklung und Umsetzung einer Industrie 4.0-konformen Technologie-Lösung zur digitalen und automatisierten Integration von Energiespeichersystemen
- Entwicklung und Umsetzung von intelligenten Regelungsmethoden für Energiespeichersysteme
- Experimentelle Untersuchungen intelligenter Regelungssysteme
- Wissenstransfer in die sächsische Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Analyse vorhandener Energiesystemstudien mit den dazugehörigen Recherchen und Bewertungen ist abgeschlossen. Daraus sind Anforderungen an zukünftige Energiesysteme (beispielsweise Versorgungssicherheit und Sektorkopplung) sowie Anforderungen an eine energietechnische Vernetzung der Sektoren abgeleitet worden.

Die Kopplung der Simulationssoftware mit der VA THERESA ist weitestgehend abgeschlossen. Dazu wurden verschiedene Simulationssoftware analysiert und die Simulationssoftware „DynStar“ (<https://ipm.hszg.de/software/simulationstool-dynstar.html>) ausgewählt. Die modulare Erweiterbarkeit der hauseigenen Simulationssoftware „DynStar“ des IPM ist ideal für die Integration neuer Funktionen. Des Weiteren sind

verschiedene Möglichkeiten der standardisierten Kopplung zwischen Hard- und Software betrachtet worden. Als standardisierte Kommunikationstechnologie zur Kopplung wurde OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture), einen sicheren Standard für den Datenaustausch, der eine plattformunabhängig, service-orientierte Architektur bereitstellt, ausgewählt. Die Implementierung des OPC UA-Standards in „DynStar“ sowie eine Verifizierung und Validierung, anhand eines Testaufbaus, der Funktion ist erfolgt. In den nächsten Schritten wird die Leittechnik der VA THERESA für einen Kommunikationsaustausch vorbereitet und anschließend mit der Simulationssoftware „DynStar“ gekoppelt.

Mit der Modellierung repräsentativer Technologien in den Sektoren Strom und Wärme wurde begonnen, d. h. es sind geeignete Energieumwandlungs- und -speichertechnologien (beispielsweise PEM-Elektrolyseur) ausgewählt wurden und mit der Modellierung begonnen.

Für die Entwicklung einer intelligenten Gateway-Lösung für die Sektorenkopplung wurden grundlegende Analysen zum Stand von Wissenschaft und Technik zur Automatisierung im Bereich der Produktionstechnik weitestgehend abgeschlossen. Darüber hinaus wurde mit der Analyse mit der Übertragbarkeit für die Sektorenkopplung sowie Ableitung von Anforderungen an ein Automatisierungskonzept begonnen.

4.1.2.5 Entwicklung eines vollautomatisierten Schließsystem für Autoklavenverschlüsse (AUTO-KLAV)

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gubsch

Finanzierung: *Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Sächsische Aufbaubank (SAB), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)*



Laufzeit: 30.12.2019 bis 31.12.2021

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Vorhaben ordnet sich in die Richtlinie „EFRE-Technologieförderung 2014 bis 2020“ ein. Das FuE-Projekt beinhaltet die Entwicklung und Implementierung einer vollautomatischen Automatisierungslösung für den Öffnungs- und Schließvorgang der Autoklaventür unter den vorherrschenden Bedingungen in der Porenbetonindustrie. Das zu entwickelnde Automatisierungskonzept beinhaltet die Sensorik zur Detektion des Zustandes im Inneren des Autoklavs (Druck, Temperatur, Eigenschaften des Wasser-Dampf-Gemisches), die Verarbeitung der gemessenen Parameter und eine ausfallsichere Steuerung zur Automatisierung des Öffnungs- und Schließvorganges der Autoklaventür. Des Weiteren werden optische bzw. akustische Signale bereitgestellt, welche dem Bediener über den aktuellen Zustand (Überdruck, Temperatur, Dampfgehalt) des Autoklavs informieren. Die Freigabe und das Öffnen der Autoklaventür nach Druckabbau im Autoklaven erfolgt automatisiert, ohne Schalthandlungen durch das Bedienpersonal, und führt somit zu einer Minimierung der Risiken für das Bedienpersonal und gewährleistet einen zeitlich und wirtschaftlich optimalen Betrieb der Autoklaven. Aufgrund fehlender Automatisierung im Bereich des Verschlusssystems von Autoklaven besteht ein

erhöhtes Risiko für das Bedienpersonal während des Öffnungsvorgangs. Bedienfehler führen nicht selten zu Personenschäden und Produktionsausfall in Porenbetonwerken.



Abbildung 4-1 Autoklav mit geöffneter Tür

Ein sicheres Automatisierungskonzept umfasst neben der Ausrüstung mit geeigneter Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik auch konstruktive Maßnahmen am Verschlussystem des Autoklavs. Die Steuerung der vorhandenen mechanischen Antriebe auf Basis von unzureichend genauer Messsysteme und fehleranfälliger Sensordaten (Sensordrift, Alterungsprozesse der Sensoren) kann keine ausreichende Sicherheit beim Betrieb der Autoklaven gewährleisten.



Abbildung 4-2 Autoklaven in einem Betonwerk (Länge ca. 30m)

Teilziele des avisierten FuE-Projektes ist die Schaffung der notwendigen Voraussetzungen für die Ausführung der Verschlussmechanik, der Sensorik und Aktorik und der vollautomatischen Steuerung der Autoklaventür. Die entwickelten Teillösungen werden anschließend im Rahmen des avisierten FuE-Projektes in ein sicheres, effizientes und vollautomatisiertes Verschlussystem überführt. Im Anschluss daran im verkleinerten Maßstab getestet und final in einem Autoklaven der Porenbetonindustrie im Originalmaßstab implementiert.

Das avisierte Vorhaben gliedert sich deshalb in folgende drei Teilbereiche:

- Teilbereich 1: Entwicklung einer beweglichen Dichtung,
- Teilbereich 2: Entwicklung eines neuartigen Mess- und Steuerungssystems,
- Teilbereich 3: Entwicklung eines verfahrbaren Verschlussystems.

4.1.2.6 Entwicklung einer Auslegungsmethode für die Dimensionierung und Integration thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Dr.-Ing. Clemens Schneider, Dipl.-Ing. (FH) Vivien Müller-Seelig

Finanzierung: Europäischer Sozialfonds (ESF)



Laufzeit: 01.08.2015 – 31.07.2018

Verlängerung 01.08.2018 – 31.07.2020

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Die Kompensation des volatilen Anteils aus regenerativen Energiequellen im Netz ist für die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit notwendig. In der Nachwuchsforscherguppe „Neue Systeme zur Ressourcenschonung“ mit dem Thema „Zukunftssichere Stromerzeugung“ steht die Entwicklung einer allgemeingültigen Auslegungsmethode für die Dimensionierung und Integration von thermischen Energiespeichern (TES) im Mittelpunkt.

Die Auslegung und Prozessintegration thermischer Energiespeicher wurde im Hinblick auf sich ändernde netz- und marktspezifische Randbedingungen weiterentwickelt. Hierzu erfolgte eine genaue Betrachtung der verschiedenen Marktsegmente, wie bspw. Regenergie, Intraday oder Day Ahead. Weiterhin wurden betriebstechnische und kostenspezifische Faktoren hinterlegt. Das in DynStar entwickelte Modell gibt das Beladeverhalten eines thermischen Energiespeichers anhand der vorhandenen netzspezifischen Daten wieder. Mittels Residuallast wird somit ein Erlöspotential durch die Integration eines definierten Speichers ausgegeben. Durch Änderung des Speichervolumens können verschiedene Szenarien betrachtet werden. Durch den optimalen Einsatz thermischer Energiespeicher werden Wirkungsgrade bei Lastwechseln verbessert und tragen somit zu einer Schonung von Brennstoff- und Materialressourcen bei.

Mittels Implementierung großtechnischer, wirtschaftlicher Speicher im Stromnetz kann dieses entlastet und zusätzliche Regenergie bereitgestellt werden. Um den Einsatzplan eines solchen Speichers optimal und effizient zu gestalten, wird im weiteren Verlauf die Implementierung von Prognosedaten untersucht. Diese beziehen sich auf kurz- und mittelfristige Netzlast- und Preisentwicklungen. Die Auslegungsmethode soll auf Basis von Industrie 4.0 fortlaufend und intelligent weiterentwickelt werden, sodass die Nachhaltigkeit der Ergebnisse sichergestellt werden kann.

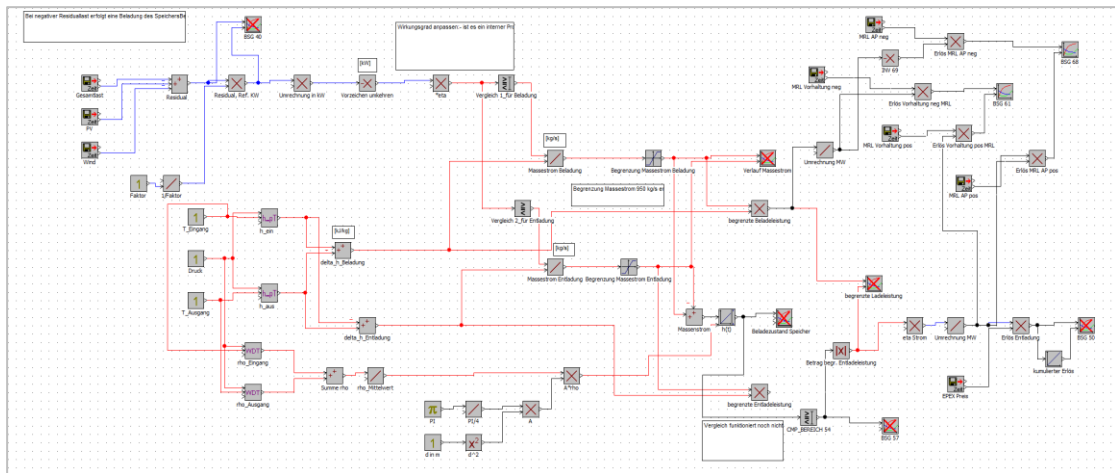


Abbildung 4-3: Modellierung des Beladeverhaltens eines thermischen Energiespeichers in DynStar

4.1.2.7 Modellversuch Fortluftkanal

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Mitarbeiter: Dr.-Ing. Clemens Schneider, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gubsch, Frank Zacharias

Finanzierung: VPC GmbH



Kooperationspartner: Bundesgesellschaft für Endlagerung BGE

Laufzeit: 01.12.2018 – 31.12.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Endlager Konrad wird für die Endlagerung von festen und verfestigten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung errichtet. Zur Sicherstellung, dass keine unzulässige Aktivität über die Luft an die Umgebung emittiert wird, muss die Fortluft aus den untertägigen Einrichtungen (Fortluftkanal Diffusor) und übertägigen Einrichtungen (Fortluftkanal Kamin) permanent beprobt werden. Für eine repräsentative Probenentnahme ist eine homogene Strömung an der Probenentnahmestelle gemäß DIN ISO 2889 notwendig.

Der Fortluftkanal „Kamin“ besitzt an der Stelle der geplanten Probenentnahme einen Querschnitt von 4,40 m x 2,20 m. Der Kanal ist vor und nach dem Probenentnahmeort in zwei Teilkanäle mit einem Querschnitt von je 2,20 m x 2,20 m aufgeteilt. Die relativ kurze Einlaufänge bis zur geplanten Probenentnahmestelle beträgt ca. 16 m was etwa dem 5,5-fachen hydraulischen Durchmesser entspricht.

Mit dem Ziel die Repräsentativität im Bereich der geplanten Probenahme und damit den sicheren Betrieb der Anlage nachzuweisen, wurde ein Modellkanal im Maßstab 1:5 am IPM errichtet. Mit diesem Modellkanal werden die Strömungsverhältnisse im Fortluftkanal Kamin des geplanten Endlagers Konrad nachgebildet. Alle wesentlichen Einbauten (Barrieregitter, Brandschutzklappen) durch (geometrisch) skalierte Dummy-Einbauten nachgebildet.

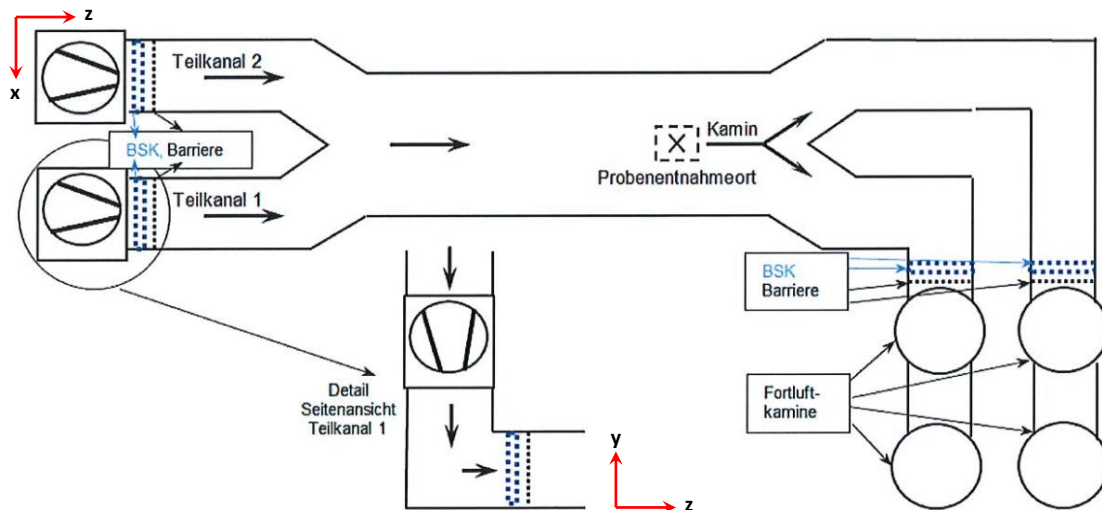


Abbildung 4-4: Schematische Darstellung des Fortluftkanals „Kamin“ (Draufsicht)

Die Messung der Geschwindigkeitsverteilung über den Kanalquerschnitt im Bereich der Probenahme wurde mit Hilfe eines Kugelanemometers an 15 Punkten durchgeführt. Für die experimentelle Bestimmung des Partikelverhaltens in diesem Bereich wurde die nicht-invasive Methode Particle Imaging Velocimetry (PIV) verwendet. Diese Methode ermöglicht die Bestimmung von Geschwindigkeitsprofilen und die Ableitung der Partikelverteilung bei einer vernachlässigbaren Beeinflussung der Strömungsverhältnisse.

Die Experimentaldaten werden in einer zweiten Phase zur Erstellung einer Simulation verwendet. Mit dem Simulationsmodell können konstruktive Änderungen am Kanal untersucht werden, um so die Strömung hinsichtlich der Homogenität am Probenahmeort zu optimieren. Die Ergebnisse der rechnergestützten Analyse können dann wiederum an dem entsprechend modifizierten Modellkanal experimentell validiert werden.

Im Rahmen der Versuche ohne Partikel wurde in x-Richtung eine Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit zur Mitte des Kanals hin festgestellt. Bei den Versuchen mit Partikeln, konnte diese Reduktion bei allen Partikeln und globalen Strömungsgeschwindigkeiten (mindestens ansatzweise) reproduziert werden. Außerdem konnten die lokalen Strömungsgeschwindigkeitsunterschiede in y-Richtung aus den Versuchen ohne Partikel verifiziert werden.

Entsprechend der Vorversuche ist der Variationskoeffizient der Strömungsgeschwindigkeit über den Kanalquerschnitt im Bereich von ca. 12% und somit unterhalb des Homogenitätskriteriums von 20%. Die festgestellten Minima im Strömungsgeschwindigkeitsprofil sind somit klein genug um das Homogenitätskriterium nicht zu verletzen.

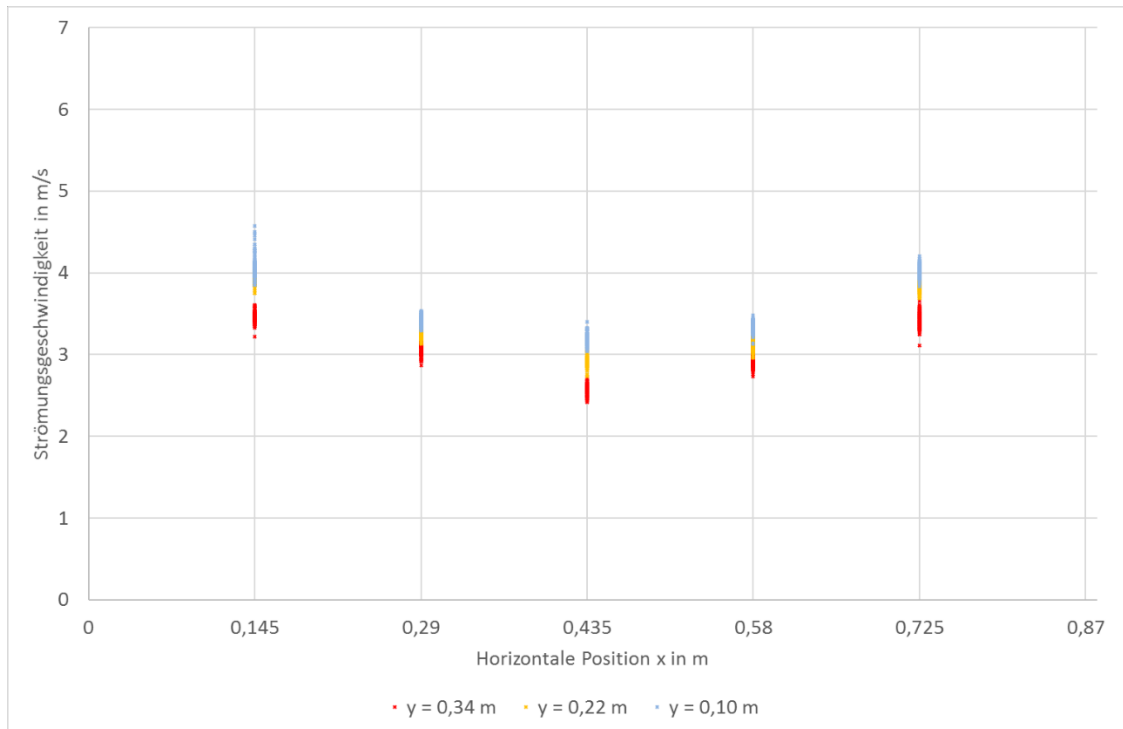


Abbildung 4-5: Horizontales Geschwindigkeitsprofil aus Messung mit Kugelanemometer mit jeweils 120 Messwerten pro Messpunkt

Bei den Partikelversuchen wurden ähnliche Variationskoeffizienten erreicht. Einzig bei den Versuchen mit den größten Partikeln (ca. 10 μm) wurden deutlich höhere Variationskoeffizienten der Strömungsgeschwindigkeit festgestellt, welche teilweise oberhalb des Homogenitätskriteriums von 20% lagen. Die Ursachen dessen werden im Rahmen von weiteren Untersuchungen noch genauer analysiert.

4.1.3 Versuchsanlagen

4.1.3.1 Versuchsanlage THERESA

Die Thermische Energiespeicheranlage THERESA besitzt im Rahmen der Maximalparameter von 160 bar und 350 °C die Möglichkeit, Sattedampf bis zu 0,1 kg/s bzw. Heißwasser bis zu 0,5 kg/s zu erzeugen. Des Weiteren ist die Erzeugung von 0,1 kg/s Heißdampf mit bis zu 60 bar und 350 °C möglich. inklusive Vorwärmer ist eine thermische Gesamtleistung von 620 kW verfügbar.

Medienberührende Komponenten der Versuchsanlage THERESA sind zur Verringerung der Korrosionsproblematik aus hochlegiertem Edelstahl gefertigt und erlauben somit Untersuchungen unter Einhaltung höchster Reinheit.

Der Druckbehälter/Dampferzeuger dient zum Aufbau des Dampfpolsters zur Druckhaltung und zur Produktion von Sattedampf. Zur möglichen Untersuchung von Einbauten sind die Deckel- und Bodenflansche wiederverschließbar ausgeführt. Zusammen mit dem Bodenflansch ist ein elektrischer Tauchheizkörper mit einer Heizleistung von 200 kW_{el} zur Dampferzeugung eingebracht. Für experimentelle Prozessuntersuchungen wurde der Druckbehälter mit einem Volumen von 1 m³ konzipiert und mit 12 universellen Messebenen ausgestattet.

Kern des Speichersystems ist ein sensibler Wärmespeicher in Form eines Verdrängungsspeichers mit integriertem Mischvorwärmer. Dieser ist für Prozessbedingungen bis max. 60 bar und 350 °C ausgelegt. Der Speicher wird mit Sattwasser oder Heißwasser

be- und entladen. Aufgrund der Verfügbarkeit in thermischen Industrieanlagen, der Zyklenstabilität und der Möglichkeit zur direkten Wärmespeicherung wird deionisiertes Wasser verwendet.

Zur optimalen Be- und Entladung wurde die geometrische Gestaltung des Verdrängungsspeichers unter Berücksichtigung theoretischer, strömungstechnischer Analysen entwickelt. Somit verfügt der Verdrängungsspeicher über spezielle Ein- und Ausströmgeometrien, welche unter den vorgesehenen Parametern den Aufbau einer thermischen Trennschicht mit einer möglichst kleinen Mischzone erlauben.

Der Mischvorwärmer wurde ebenfalls unter Berücksichtigung strömungstechnischer Analysen entwickelt, um eine bestmögliche Mischung von Wasser und Dampf innerhalb eines stark begrenzten Volumens umsetzen zu können. Weiterhin ist der Mischvorwärmer zur Entnahme eines Teilmassenstromes für die Bespeisung des Druckbehälters/Dampferzeugers dimensioniert worden, wodurch ein Aufbau realisiert wurde, der eine vorherige Phasentrennung von Wasser und Dampf ermöglicht. Eine weitere Anforderung war es, den Mischvorwärmer hinsichtlich der Realisierbarkeit einer Füllstandsregelung zu gestalten.

Als Wärmesenke wird ein Abblasebehälter mit Kühlsystem eingesetzt. Wesentliche Aufgaben sind die Kondensation von Dampf, das Auffangen von heißem Deionat sowie die aktive Kühlung bei Bedarf.

Die Bereitstellung des Deionates wird durch das Speisewassersystem gewährleistet. Auf diese Weise kann das Medium mit konstanter Temperatur über die gesamte Versuchsdauer bereitgestellt werden.

Die Errichtung der Versuchsanlage THERESA auf dem Gelände der Stadtwerke Zittau ist mit folgenden Vorteilen verbunden, welche zu einem effizienteren Versuchsbetrieb führen:

- Die Vorwärmung des Speisewassers erfolgt mit Heizdampf der Stadtwerke Zittau.
- Das Kühlsystem der Versuchsanlage THERESA ist mit dem Fernwärmenetz der Stadtwerke verbunden. Somit kann die Abwärme aus dem Versuchsbetrieb in das Fernwärmenetz eingespeist und effizient genutzt werden.
- Die direkte Nähe zum regionalen Energieversorger ermöglicht die Bereitstellung der benötigten elektrischen Anschlussleistung für den Versuchsbetrieb

Die Versuchsanlage THERESA verfügt zudem über eine Schnittstelle zum Magnet- und Fanglager-Prüfstand (MFLP). Dadurch ist die Bereitstellung von Dampf mit definierten Parametern für den MFLP aus der Versuchsanlage THERESA möglich.



Abb. 4-2 Versuchsanlage THERESA

4.1.3.2 Testfeld für Mensch-Roboter-Interaktion

Das Testfeld für Mensch-Roboter-Interaktionen umfasst zwei kollaborationsfähige Roboter von Universal Robots. Mit den Typen UR3e und UR5e können Mensch-Roboter-Interaktionen mit Objekten von bis zu 3 kg bzw. 5 kg untersucht werden. Dazu steht als Endeffektoren eine elektrische Vakuumpumpe (sogenannter Vakuumgreifer), zwei adaptive Zweibacken-Greifer, ein Bildverarbeitungssystem und unzählige mit den 3D-Druck (FDM, SLS) Adapter und Endeffektoren zur Verfügung. Des Weiteren besitzt das Testfeld einen stationären sowie mobilen Arbeitsplatz und einen Schulungsplattform, an der die Grundlagen des kollaborationsfähigen Roboters demonstriert bzw. nähergebracht werden können.

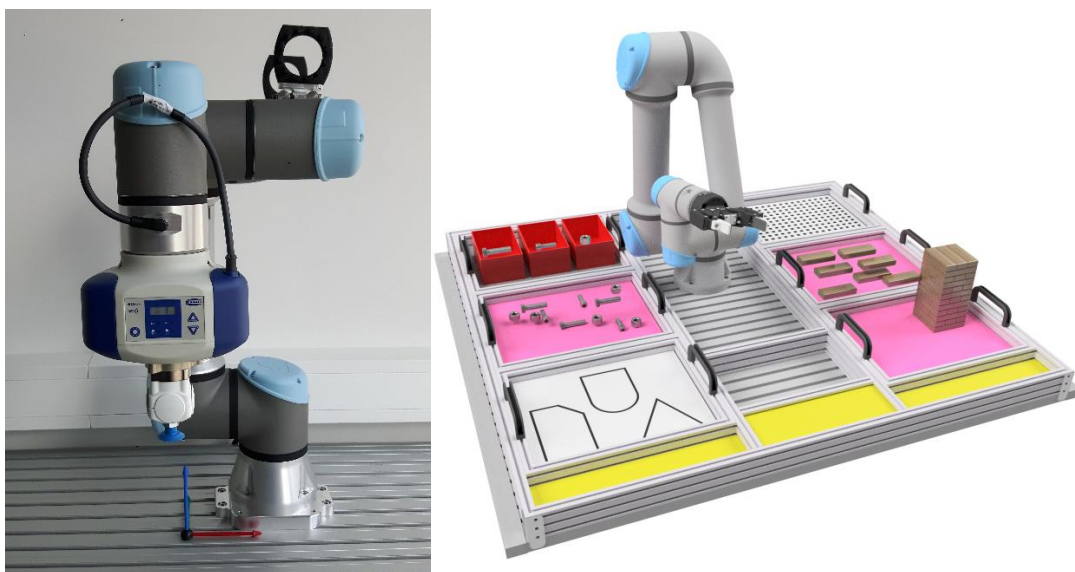


Abb. 4-3 Testfeld für Mensch-Roboter-Interaktionen (links ist UR5e und rechts die Schulungsplattform zu sehen)

4.1.3.3 Versuchsanlage Fortluftkanal

Zur Nachstellung der Strömungsverhältnisse im Fortluftkanal Kamin des geplanten Endlagers Konrad wurde ein Modellkanal im Maßstab 1:5 am IPM errichtet. Dieser bildet den geplanten Bereich der Probenentnahme sowie den relevanten Bereich davor und danach ab. Alle wesentlichen Einbauten (Barrieregitter, Brandschutzklappen) wurden durch (geometrisch) skalierte Dummy-Einbauten nachgebildet.

Die Ansaugleitung (DN500 Wickelfalzrohr) wird über ein T-Stück auf zwei Rohre aufgeteilt. Beide Rohre werden zu je einem Ventilator geführt (Saugseite) über welche der Volumenstrom durch die Versuchsanlage reguliert werden kann, welcher für die aktuellen Untersuchungen zwischen 1,3 und 2,9 m³/s liegt. Die Ventilatoren werden in den aktuellen Fahrweisen immer parallel betrieben. Die beiden druckseitigen Anschlusskanäle an den Ventilatoren werden über ein Hosensegment auf einen gemeinsamen Kanal geführt (rechteckig, 880 mm x 440 mm). Dieser stellt die eigentliche Versuchsstrecke dar. Im Bereich der Versuchsstrecke an dem die Probenentnahme geplant ist (z=3200 mm), ist ein optischer Zugang in Form von Acrylglasscheiben für die Durchführung optischer Messverfahren (wie PIV) ausgeführt.

Am Ende der Versuchsstrecke befindet sich wieder ein Hosenstück, welches den Hauptkanal in zwei Teilkanäle (rechteckig, 440 mm x 440 mm) aufteilt. Diese Teilkanäle werden seitlich um 90° umgelenkt und münden nach je einem Barrieregitter und einer Brandschutzklappe (als Dummy ausgeführt) in je einem rechteckigen Verteiler. An diesen Verteilern befinden sich die Übergänge zu den Kaminen, welche durch DN400 Wickelfalzrohre (verkürzt) nachgebildet sind. Die Rohre münden in ein zweistufiges Filtermodul (F7/H13), welches eine Rückhaltung aller vorgesehenen Partikelgrößen gewährleistet. Anschließend wird die Abluft in Richtung Decke der Versuchshalle ausgeblasen.



Abbildung 4-6: Versuchsanlage Fortluftkanal

4.1.3.4 Versuchsanlagen zur nichtinvasiven Zustandsmessung von TLB-Inventar

VERSUCHSANLAGE GAMMASTRAHLUNG

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhabens "Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung" wurde unter anderem der Versuchsstand „Gammastrahlung“ erfolgreich in Betrieb genommen. Das gemeinsame Verbundprojekt ist eine Zusammenarbeit zwischen dem IPM (Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch) und der TU Dresden (Projektleiter Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Hampel).

Die Aufgabe des Versuchsstands ist die experimentelle Ermittlung von Gammaflussverteilung zur Validierung der begleitenden Monte Carlo Simulationen zur Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken.

Abbildung 4-7 zeigt den aus den folgenden Teilsystemen bestehenden Versuchsstand:

1. Halbiertes CASTOR V/19-Modell
2. Tragkorb und befüllbaren Brennelement-Dummies
3. Quellenverfahrssystem
4. Messtechnikverfahrssystem
5. Verriegelbare Schutzumhausung
6. Bedien- und Beobachtungsschnittstelle
7. Mobiles VS-Gestell mit Elt.-Schaltschränken

Mit der Versuchsanlage ist es möglich, die Gammastrahlungsverteilung, nachgebildet mit acht in der Höhe verfahrbaren Cs137-Quellen (2.), die ein Modell eines Castors V/19 mit Tragekorb und individuell befüllbaren Brennelement-Dummies (1) durchdringt, an der Austrittsseite des Behälters zu messen. Das Strahlungsmesssystem besteht aus acht Szintillationszählern, welche radial gleichverteilt in auf einem vertikal verfahrbaren Blech angeordnet sind, um die Gammaflussverteilung messtechnisch zu erfassen.

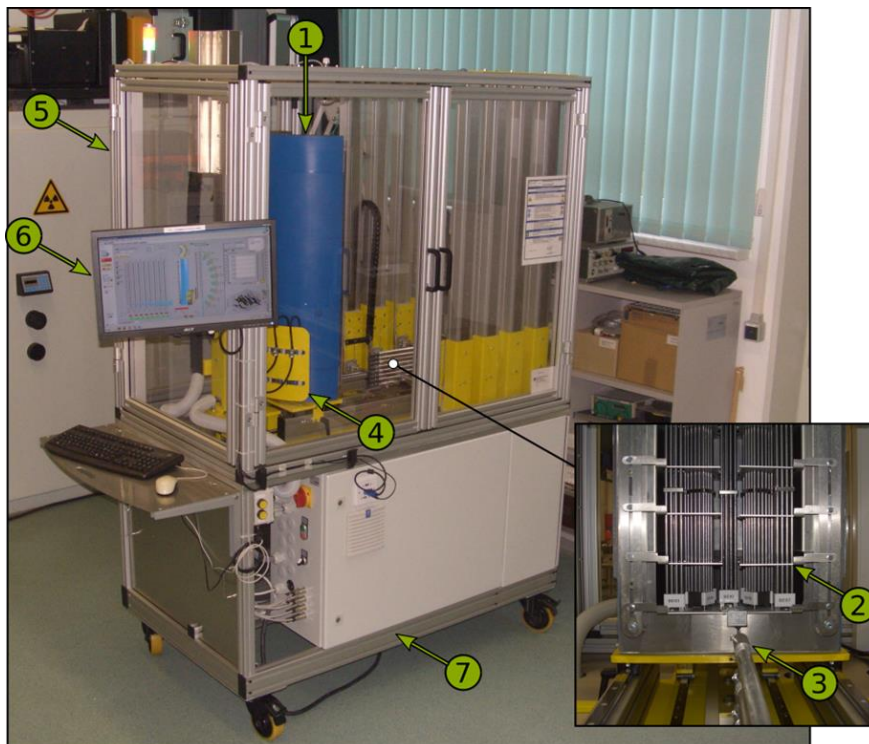


Abbildung 4-7: Versuchsanlage Gammastrahlung

VERSUCHSANLAGE TEMPERATURFELD UND SCHWINGUNGSANALYSE

Im Rahmen des o.g. Verbundprojektes wurde ebenso die Versuchsanlage Temperaturfeld und Schwingungsanalyse „TeSsa“ zur thermografischen und schwingungsdynamischen Analyse von Transport- und Lagerbehältern errichtet, welche ausfolgenden Teilsystemen besteht (siehe Abbildung 4-8):

1. CASTOR V/19-Modell mit Temperatur- und Schwingungsinstrumentierung
2. 19-schächtiges Tragkorb-Model
3. Heizaktorik / Thermo-Brennelemente
4. Elt.-Schaltschrank mit Prozessleittechnik
5. Elt.-Schaltschrank mit Leistungselektronik
6. Versuchsstandsgestell mit Hebetechnik

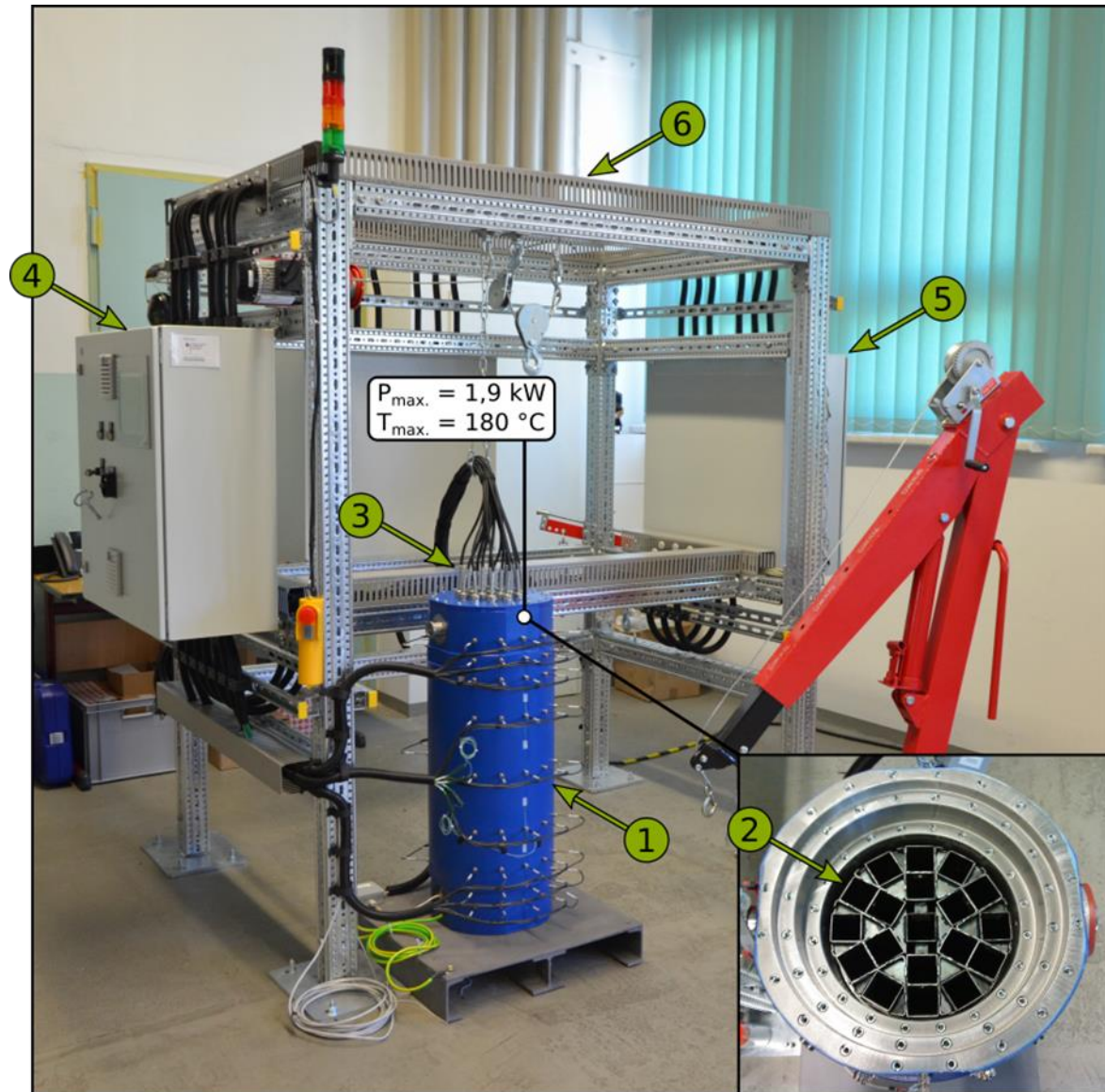


Abbildung 4-8: Versuchsanlage „TeSsa“

Die Versuchsanlage ermöglicht es, schachtnahe und Oberflächentemperverteilungen des skalierten Modells des CASTOR V/19 (u.a. mit Infrarot-Thermographie) für unterschiedliche Heizleistungsverteilungsszenarien aufzuzeichnen und zu visualisieren. Mit der derzeitigen Temperaturinstrumentierung kann für jedes der 19 Thermo-Brennelemente eine Wärmeleistung von 0 bis 100 W bis zu einem oberen Temperaturlimit von 180 °C gefahren werden.

Untersuchungsgegenstand der Schwingungsanalyse ist es intakte und unterschiedlich vorgeschädigten behälterinternen Komponenten (Tragkorb, Brennelement, Brennstäbe) in Eigenschwingung versetzen und das akustische Resonanzspektrum vermessen. Vorteilhaft ist die Tatsache, dass akustische Spektroskopie sehr sensitiv in Bezug auf geringfügige Änderungen der Geometrie und Materialeigenschaften ist.

VERSUCHSANLAGE BERSTEN / ROHRPRÜFSTAND

Für die passive Spektroskopie wurde die Versuchsanlage Bersten / Rohrprüfstand „Berta“ errichtet. Sie ermöglicht es den Körperschall von druckbeaufschlagten Hüllrohren innerhalb und außerhalb eines Berstcontainers aufzuzeichnen. Temperatur-, befüllungs- und vorschädigungsabhängige Schallspektren während des Berstens werden registriert und Signaturen zur Unterscheidung von anderen akustischen Ereignissen mittels klassischer und moderner (Soft Computing) Methoden der Signalverarbeitung ermittelt.

Die Versuchsanlage besteht aus folgenden Teilsystemen (siehe Abbildung 4-9):

1. Begehbare Berstcontainer (L x H x T = 1,9 m x 2,2 m x 1,8 m)
2. Prüfling / Berstrohr
3. Pyrometer
4. Kompressor
5. Ventilinsel mit Druckluftverrohrung
6. Elt.-Schaltschrank mit Prozessleittechnik



Abbildung 4-9: Versuchsanlage „Berta“

4.1.4 Publikationen

PROCEEDINGS UND JOURNALBEITRÄGE

Klette, T.; Gubsch, T.; Vogel, C.; Kratzsch, D.; Braun, S.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: ATH-LET simulation code: Model validation of a thermal high-performance storage system, International Journal of Smart Grid and Clean Energy Vol. 8, No. 1, January 2019, pp. 1-10, ISSN: 2315-4462

VORTRÄGE

Braun, S.; Kratzsch A.: „DAQUA - Conception of a test rig for the development of a hybrid measuring method for wet steam“, KOMPOST Doktorandenseminar, VKTA, Dresden-Rossendorf, 5.12.2019

Fiß, D.; Science Speech „Kann man in einen CASTOR schauen?“ 50 Jahre Ingenieurhochschule Zittau, Zittau, 05.06.2019

Hampel, U.; Wagner, M.; Schmidt, S.; Fiß, D.; Reinicke, S.; Kratzsch, A.: Investigations on potential methods for the long-term monitoring of the state of fuel elements in dry storage casks: recent results, 3rd Workshop on Safety of Extended Dry Storage of Spent Nuclear Fuel. Garching, 05. – 07.06.2019

Klette, T.; Gubsch, T.; Vogel, C.; Kratzsch, D.; Braun, S.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: Projektergebnisse zum Vorhaben HOTHES im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors. Workshop zum Zittauer Kraftwerkslabor, Zittau, 21.06.2019

T. Gubsch: Regenerative Fernwärme - Wärmewende 4.0, Workshop zum Projekt HOTHES im Zittauer Kraftwerkslabor, 21.06.2019, Zittau

Wagner M.; Fiß, D.; Schmidt, S.; Reinicke, S.; Kratzsch, A.; Hampel, U.: „Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde HAW bei verlängerter Zwischenlagerung – strahlungsbasierte, thermographische und akustische Messverfahren“, BGZ-Fachworkshop Zwischenlagerung, Berlin, 22.-23.10.2019

Vogel, C.: Kollaborationsfähige Roboter in der Praxis und Lehre. Werkstattgespräch bei RTT Robotertechnik-TRANSFER GmbH, Zittau, 06.11.2019

Anthofer, A.; Kratzsch, A.; Horlbeck, B.: Experimentelle Untersuchungen der Abluftströmung im Fortluftkanal Kamin des Endlagers Konrad, 51. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden am 23.10.2019

POSTER

Klette, T.; Gubsch, T.; Vogel, C.; Kratzsch, D.; Braun, S.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: Dynamic simulation of a displacement storage with the simulation code ATHLET for the flexibilization of thermal power plants, 6th Swiss Symposium Thermal Energy Storage, 25. January 2019, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Lucerne, Switzerland

Klette, T.; Gubsch, T.; Vogel, C.; Kratzsch, D.; Braun, S.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: Model validation of a thermal high performance system for the further expansion of renewable energies, 13th International Renewable Energy Storage Conference, March 2019, Düsseldorf

Fiß, D.; Kratzsch A.; Kühnel, S.; Kornhuber, S.: Development of a fuzzybased model for the evaluation of measurement uncertainties using high voltage arcs as an example, KOMPOST Doktorandenseminar, VKTA, Dresden-Rossendorf, 5.12.2019 (Posterpräsentation)

STUDENTISCHE ARBEITEN

Abuazizeh, M.; Härtelt, S.; Vogel, C.; Kratzsch, A.: Entwicklung einer mobilen „Augmented Reality“ für die VA THERESA, Studentische Hilfskraft, Zittau, 31.01.2019

4.1.5 Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden

Thema 1: **Entwicklung einer intelligenten Hardware zur adaptiven Kondensatstau-
regelung für einen Wärmeübertrager in der Versuchsanlage THERESA**

Bearbeiter: Moh´d Abuazizeh

Betreuer: *Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch*

Auftraggeber: IPM

Thema 2: **Develop a practical Application for VR Glasses for use in Research and
Teaching**

Bearbeiter: Dinmukhammed Mukashev

Betreuer: *Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß, Steffen Härtelt*

Auftraggeber: IPM

Thema 3: **Flaw Detection Based on Machine Vision**

Bearbeiter: Aijia Wei

Betreuer: *Dr.-Ing. A. Seeliger, Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß*

Auftraggeber: IPM

4.1.6 Führungen im „Zittauer Kraftwerkslabor“

Im Rahmen von internen und öffentlichen Veranstaltungen, Arbeitstreffen und Projektakquise wurden zahlreiche Führungen durch das „Zittauer Kraftwerkslabor“ durchgeführt. Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der durchgeführten Führungen.

Tabelle 2: Führungen "Zittauer Kraftwerkslabor" 2019

Führungen im Zittauer Kraftwerkslabor 2019				
Datum	Mitarbeiter IPM	Gäste	Anzahl der Gäste	Dauer
28.02.2019	Klette			11:30-...Uhr (...h)
03.04.2019	Klette	BTU Cb		11:00-...Uhr (...h)
15.04.2019	Klette			15:00-...Uhr (...h)
21.05.2019	Schneider			11:30-...Uhr (...h)
24.05.2019		GRS	3	08:00-10:00Uhr (2h)
25.05.2019	Kratzsch	DLR		
05.06.2019	Gubsch	Absolventen HSZG (50 Jahre HSZG)	ca. 25	16:30-18:00Uhr (1,5h)
06.06.2019	Gubsch	Absolventen HSZG (50 Jahre HSZG)	ca. 5	10:00-11:30Uhr (1,5h)
10.06.2019	Gubsch	Hr. Felgentreff	1	14:00-15:00Uhr (1h)
21.06.2019	FG MTPA	Gäste HOTHES Workshop	ca. 50	Nachmittag
05.09.2019	Klette	SIB	20	10:00-11Uhr (1h)
11.09.2019	Gubsch	Absolventen HSZG (1966-1969)	ca. 30	15:00-17:00Uhr (2h)
13.09.2019	Klette/Vanek	Vorkurs Studenten E-Technik	40	12:45-14Uhr (2,25h)
21.09.2019	Klette	Absolventen HSZG (Studienjahr 1985)	18	10:00-11Uhr (1h)
02.10.2019	Gubsch	VBH	2	10:30-12:00Uhr (1,5h)
11.10.2019	Klette/Vanek	HZDR	20	10:45-11:00Uhr (0,45h)
15.10.2019	Gubsch	IWU und Universität Opole	3	13:00 - 14:00 Uhr (1h)
28.10.2019	Gubsch	Bürger trifft Wissenschaft bzw. VHS	3	10:00 - 12:00 Uhr (2h)
07.11.2019	Gubsch/Vannek	Tschechische Studenten FB E/I (Gärtner)	12	10:00 - 11:30 Uhr (1,5h)
18.11.2019	Vogel, Klette, Vanek, Tietze, Härtelt, Kratzsch, Gubsch	Bürger trifft Wissenschaft bzw. VHS	20	18:00 - 20:00 Uhr (2h)

4.2 Kerntechnik / Soft Computing

4.2.1 Überblick

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: Dr.-Ing. André Seeliger
Dipl.-Ing. Sören Alt
M. Eng. Hassan Chahi
Dipl.-Math. (FH) Tom Förster
Dipl.-Inf. Jana Hänel
Dr.-Ing. Dipl. Wirtschaftsmath. (FH) Stefan Renger
Frank Zacharias
Matthias Pfeiffer

Aufgabenfelder:

- Nukleare Sicherheitsforschung
 - gesicherte Sumpfansaugung
 - Kühlmittelverluststörfälle (KMV) mit Partikelentstehung und -freisetzung
 - KMV mit Korrosionsprozessen und den daraus resultierenden physikochemischen Effekten im Reaktorkern
 - methodische und experimentelle Untersuchungen zu Partikelströmungen
- Anlagen- und Reaktorsicherheit
 - Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalysen zu Komponenten und Systemen
 - Modellierung/Simulation (modellgestützte Messverfahren, Soft Computing)
 - Thermohydraulik
- Soft Computing, Maschinelles Lernen
 - Fuzzy Systeme (Mamdani, Takagi-Sugeno-Kang)
 - Maschinelles Lernen: Künstliche Neuronale Netze (Multilayer Perceptron, Self-Organising Map...)
 - Support Vector Machines (SVM)
- Nichtlineare dynamische Systeme
 - Genetische Algorithmen
 - Fraktale Algorithmen
 - Multiagentensysteme
- Regelungstechnik, Prozessführung
 - Energie- und Verfahrenstechnik
- Digitale Bildverarbeitung
 - Objekterkennung, Tracking, Zählen und Vermessen, Klassifikation
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen
 - Zweiphasenströmungen Wasser/Dampf/Inertgase
- Simulationstechnik
 - Simulationscodes ATHLET, RELAP, ANSYS CFX, COCOSYS

Applikationsfelder:

- Anlagen- und Reaktorsicherheit
- Steuerungs- und Regelungstechnik
- Bildverarbeitung in Forschung und Industrie
- Innovative Messtechnik
- Qualitätssicherung
- Datenvisualisierung
- Modellentwicklung und -validierung
- Zustandsdiagnose und -prognose

Applikationen:

- Simulationssoftware
- Mess- und Inspektionssysteme
- Diagnosesysteme
- Thermohydraulische Versuchsanlagen in (halb-) technischem Maßstab

4.2.2 Forschungs- und Entwicklungsprojekte**4.2.2.1 Generische thermohydraulische und physikochemische Analysen zur Implementierung eines ATHLET-Moduls für die Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern (AZora)****Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner**Mitarbeiter:** Dr.-Ing. André Seeliger, Dipl.-Ing. Sören Alt, Dipl.-Math. (FH) Tom Förster, Frank Zacharias, Matthias Pfeiffer**Finanzierung:** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**Laufzeit:** 01.02.2019 – 31.01.2022**Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Die Beherrschbarkeit von Transienten, Stör- und Unfällen in Kernkraftwerken wird international durch Anwendung von Rechenprogrammen auf der Basis des Standes von Wissenschaft und Technik möglichst realistisch ("best estimate") nachgewiesen. Zur Simulation des Anlagenverhaltens bei Transienten und Störfällen wird in Deutschland das Systemrechenprogramm ATHLET (Analyse der THermohydraulik von LEcks und Transienten) kontinuierlich weiterentwickelt und validiert. Im Fokus des Vorhabens FKZ 150 1585 steht die Weiterentwicklung und Validierung von ATHLET auf Basis des aktuellen Forschungsstandes zu chemischen Langzeiteffekten nach KMV in DWR. Das Hauptziel besteht darin, die Simulation von ZnB-Abscheidungen und deren thermohydraulischen Folgen im DWR-Kern nach KMV in ATHLET zu ermöglichen. Das daraus resultierende Simulationswerkzeug, das ATHLET-Modul "Zinkborat", soll für belastbare deterministische Sicherheitsbewertungen von DWR-Anlagen eingesetzt werden. Am Beispiel des Zinkborats erfolgt somit eine verbesserte und realistischere Modellierung der Thermohydraulik für Auslegungsstörfälle bis hin zu Ablagerungsprozessen von Fremdstoffen im Reaktorkern. Das Modul soll ferner für Simulationen unter Berücksichtigung von Maßnahmen der Störfallfolgenbehandlung bis hin

zu Szenarien wie der Nichtverfügbarkeit von Maßnahmen der Störfallfolgenbehandlung einsetzbar sein.

4.2.2.2 *Verbundprojekt SINABEL: Sicherheit der Nasslager für abgebrannte Brennelemente: Experimentelle Analyse, Modellbildung und Validierung für System- und CFD-Codes Teilprojekt D: Dichtegetriebene vertikale Austauschbewegungen von Gasen in Stabbündelgeometrien und Untersuchungen zum radialen Strahlungsverhalten in ausgewählten beheizten Stabbündel-Konfigurationen*

(Kurztitel: SINABEL; Fkz 02NUK027D)

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: M. Eng. H. Chahi, Dipl.-Ing. S. Alt, Dr.-Ing. André Seeliger, Dr.-Ing. Stefan Renger, Dipl.-Math. (FH) Tom Förster, Dipl.-Inf. Jana Hänel

Finanzierung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

GEFÖRDERT VOM



Projekträger Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung
PTKA-WTE

Kooperationspartner: Technische Universität Dresden (TUD):
Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik
Institut für Strömungsmechanik
Professur für Bildgebende Messverfahren für die Energie- und Verfahrenstechnik
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR):
Institut für Fluidodynamik

Laufzeit: 01.10.2013 - 30.09.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Experimentelle Untersuchungen zur Vermischung von horizontalen und vertikal aufsteigenden Strömungen unter den Bedingungen eines Brennelement (BE)-Nasslagers wurden mit einer 3×1 BE-Dummy-Konfiguration am Versuchsstand ZiBra durchgeführt. Die Arbeiten enthielten Experimente mit isothermen Verhältnissen und Luft/Luft ohne Dichteunterschiede als Fluide sowie mit isothermen Verhältnissen mit Modellgas/Luft-Fluiden mit Dichteunterschieden.

Bei den Versuchen mit Modellgas/Luft wurde durch den Einsatz des Modellgases Argon für die horizontale Strömung ein Dichteverhältnis von ca. 1,6 zwischen den beiden Strömungspfaden (horizontal/vertikal) erzielt.

Reale geometrische Randbedingungen eines Druckwasserreaktors (DWR)-Lagerbeckens wurden berücksichtigt. Dabei steht jedes BE separat in einem Absorberschacht mit einem freien Spalt zwischen BE und Absorberschacht.

Unter diesen originalen Randbedingungen erfolgte eine Strömungsverlagerung der Vertikalströmung durch den erhöhten Strömungswiderstand der Einbauten im BE (BE-Fuß, AH und BE-Kopf) vom Inneren des BE in den freien Spalt. Dadurch dominiert die Strömung im Spalt zwischen dem BE und dem Absorberschacht die vertikale aufsteigende Strömung. Dieses Strömungsverhalten wurde messtechnisch erfasst und visuell bestätigt.

Bei den Versuchen mit Luft/Luft bildet sich nach dem Einschalten der horizontalen Strömung und je nach Impulsverhältnis der horizontalen und der vertikalen Strömung eine charakteristische Scherschicht aus. Bei höherer Geschwindigkeit der horizontalen Strömung wird die Scherschicht flacher. Für das BE bedeutet eine flache Scherschicht eine Erhöhung des Druckes im BE-Kopf und stellt eine Blockade für die vertikale Strömung dar, welche zur Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit im BE und zur Verschlechterung des Wärmetransportes aus dem BE führt. Die Versuche mit dem Modellgas Argon als strömendes Medium für die horizontale Strömung und Luft als strömendes Medium für die 3 BE wiesen durch den Dichteunterschied ein zusätzliches Phänomen auf: Durch den seitlichen Aufstieg der Luft im Spalt zwischen dem BE und dem Absorberschacht und die Querströmung der horizontalen Strömung fand eine starke Wirbelbildung im Kopfbereich des BE statt und das entstandene Gemisch sank im BE tiefer ein als ohne Dichteunterschiede.

4.2.2.3 *Entwicklung einer mobilen Anwendung zur Diagnose und Prognose von Maschinentransformatoren*

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: Dipl.-Inf. Jana Hänel

Finanzierung: Lausitz Energie Kraftwerke AG

Laufzeit: 01.12.2018 – 31.12.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Für die Überwachung ihrer Transformatoren nutzt die Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG) eine eigene Transformatordatenbank. Diese beinhaltet die Messdaten von Monitoring-Systemen und Laboranalysen vieler in der Firma vorhandener Maschinentransformatoren. Mit Hilfe einer Softwareapplikation kann der Benutzer der Transformatordatenbank Daten importieren, ändern bzw. löschen, sowie auswerten und grafisch darstellen lassen.

Die existierende Transformatordatenbank besteht aus den Messdaten und einer zugehörigen Standalone-Applikation, welche beide auf einem Dateiserver liegen. Der Zugriff auf die Transformatordatenbank setzt entsprechende Zugriffsrechte auf den Dateiserver voraus. Die Nutzung ist daher stark eingeschränkt.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Grundlagen geschaffen, die existierende Applikation, welche die Verwaltung und die Visualisierung der Daten für die Zustandsbewertung ermöglicht, als Webapplikation umzusetzen. Dabei wurde die Standalone-Anwendung für die Datenverwaltung als Server-Applikation umgesetzt. Die Visualisierung der Daten erfolgt in einer Browseroberfläche. Dadurch kann der Anwender der Transformatordatenbank plattformunabhängig auf die Auswertung der Daten zugreifen.

Das aus dem Projekt resultierende Produkt soll unterstützend zu Instandhaltung bzw. Wartung/Reparatur sowie zur Fehlerprävention bei Maschinentransformatoren eingesetzt werden.

4.2.2.4 Erstellung eines Skripts bzw. Dienstes zum automatisierten Auslesen von Transformator-daten von einem TESSA-Server und Abspeichern in Dateien (im Importformat für die Transformatordatenbank der LEAG)

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: Dipl.-Math. (FH) Tom Förster

Finanzierung: Lausitz Energie Kraftwerke AG

Laufzeit: 01.11.2019 – 31.12.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Für die Überwachung ihrer Transformatoren nutzt die Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG) eine eigene Transformatordatenbank. Diese beinhaltet die Messdaten von Monitoring-Systemen und Laboranalysen vieler in der Firma vorhandener Maschinentransformatoren.

Von Monitoring-Systemen werden unterschiedliche Transformatorparameter (z. B. Fehlergase, Spannung, Leistung, Temperaturen) überwacht und aufgezeichnet. Je nach Alter und Standort der Transformatoren sind unterschiedliche Monitoring-Systeme installiert worden. Jeder Hersteller solcher Systeme stellt seine Daten in einem unterschiedlichen Format zur Verfügung. Um die gemessenen Daten in die Transformatordatenbank zu überführen, müssen sie in ein für die Transformatordatenbank lesbares Format überführt werden.

Einige der Transformatoren der LEAG werden durch ein Monitoring der Firma Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR) aufgezeichnet. Die gemessenen Transformatordaten werden auf einem TESSA-Server abgelegt und können nicht direkt in die Transformatordatenbank importiert werden.

Um die Daten in die Transformatordatenbank der LEAG zu kopieren, wurde im Rahmen des Projektes wurde ein Windows-Dienst bzw. eine Applikation aus einem Python-Skript erstellt. Das Skript liest in regelmäßigen Abständen (festgelegt in einer Konfigurationsdatei) die Daten von mehreren Transformatoren von einem TESSA-Server aus, interpoliert sie und legt sie in Dateien ab, welche in die Transformatordatenbank importiert werden können. Die auszulesenden Messdaten sind in einer Sensorliste festgelegt.

4.2.3 Versuchsanlagen

4.2.3.1 Zittauer Strömungswanne (ZSW)

Die Zittauer Strömungswanne (ZSW) ist ein modular gestalteter Strömungskreislauf für flüssige Medien mit einem 6 m × 1 m × 3 m großem Wannenbehälter als Speicher (Abb. 4-4 links). Der Behälter verfügt über eine freie Fall- und Sprühsektion (Abb. 4-4 rechts). Die ZSW weist durch die Edelstahlausführung aller medienberührenden Komponenten eine hohe Korrosions-, Chemie- und Temperaturbeständigkeit bis 80 °C auf. Neben umfangreicher Messtechnik sind auch Komponenten für Medienheizung und -kühlung integriert.



Abb. 4-4 Der Wannenbehälter der Zittauer Strömungswanne (ZSW; links); Korrosionsuntersuchungen an verzinkten Metallteilen in einem simulierten Leckstrahl (rechts)

- Sprühbild des Freistrahls und Lage der Freien-Fall-Sektion variierbar
- maximale Füllhöhe im Wannenbehälter: 2,6 m
- Umwälzpumpe mit Förderleistung bis 180 m³/h
- Leittechnik mit umfangreicher Messtechnik für Drücke, Differenzdrücke, Temperaturen, Volumenströme, Leitfähigkeiten und vollautomatisierter Versuchsdurchführung
- Möglichkeit von Probenahme und -auswertung
- Beobachtbarkeit der Prozesse im Wannenbehälter über Sichtfenster mit digitaler Videotechnik

4.2.3.2 Druckhalter

Die Druckhalterversuchsanlage (DHVA) dient der Analyse von Phänomenen in thermohydraulischen Zweiphasenströmungen (Abblasen, Ausdampfen, Kondensation). Als Medien fungieren Wasser und Dampf. Die DHVA findet auch als Dampferzeuger für andere Versuchsanlagen Verwendung (z. B. Fragmentierungsanlage, Abschnitt 4.2.3.3).

Auslegungsparameter:

- Leistung: 32 kW (elektrische Heizung)
- Druck: ≤ 16 MPa
- Medientemperatur: ≤ 350 °C
- Volumen: 175 l
- Medien: Wasser, Dampf, nicht kondensierbare Gase

4.2.3.3 Fragmentierungsanlage

Bei der Fragmentierungsanlage handelt es sich um einen Edelstahl Druckbehälter mit 5,8 m³ Volumen, welcher mit der DHVA als Dampferzeuger koppelbar ist. Die Anlage dient Stabilitätsprüfungen und Materialfragmentierungen durch Beaufschlagung mit Dampf oder Wasser. Ein druckfestes Sichtfenster erlaubt die Prozessbeobachtung mit Hochgeschwindigkeitskamera und die Aufzeichnung des Fragmentierungsprozesses oder Aufprallvorgangs zu dokumentarischen Zwecken.

- Beaufschlagung mit gesättigtem Dampf bis 7 MPa / gesättigtem oder unterkühltem Wasser bis 12 MPa
- Einsatz von Berst-Scheiben möglich
- Analyse von High-Speed-Videos, z. B. Vermessung von Strahlaufweitungen
- separate Bilanzierung des dampfgetragenen Materials (Kleinstfragmente) durch Einleitung des Mediums in eine Auffangwanne

4.2.3.4 Versuchsstand DVABEG

DVABEG (Dichtegetriebene Vertikale AustauschBEwegungen von Gasen) ist eine Versuchsanlage zur Untersuchung thermohydraulischer Phänomene. Sein Basisaufbau besteht aus einem T-förmigen Strömungskanal mit 3 vertikal stehenden Brennelement-Dummies (Abb. 4-5) und einem horizontalen Überströmkanal, welcher gleichzeitige horizontale und vertikale Einstömungen von Gasen und Markierern erlaubt.

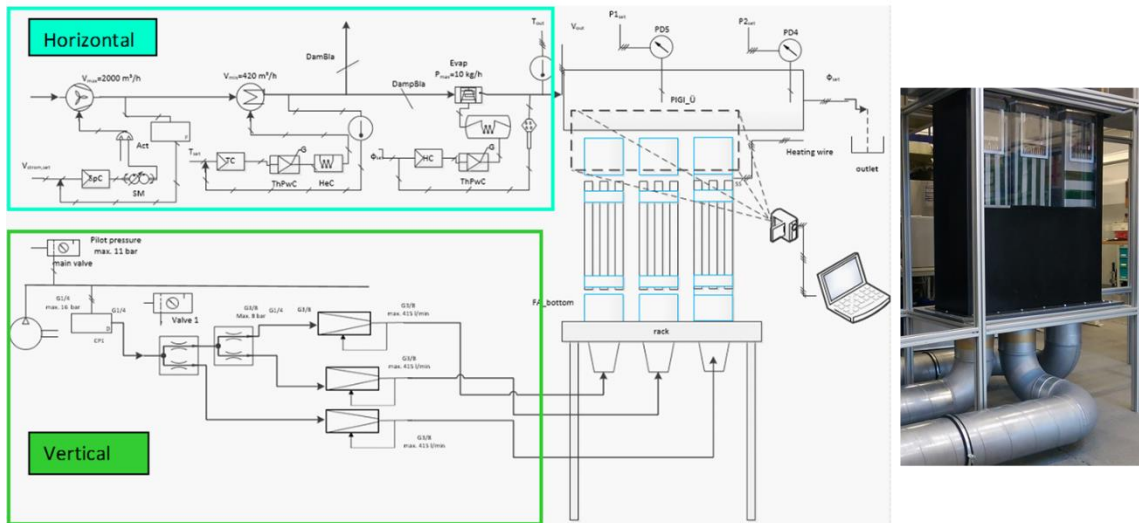


Abb. 4-5 Aufbau der 3 × 1-Konfiguration des Versuchsstands DVABEG

- Einsatz von homogenem Nebel zur Visualisierung und Vermessung der Strömungsformen (Strömungsmarkierer; Abb. 4-6)
- Gute Observierbarkeit, Einsatz von Digitaler Bildverarbeitung (DBV) und Particle Image Velocimetry (PIV) möglich
- Einsatz von Druckluft, Modellgasen und -gemischen (z. B. Argon/Helium), stellvertretend für Gase unterschiedlicher Dichte

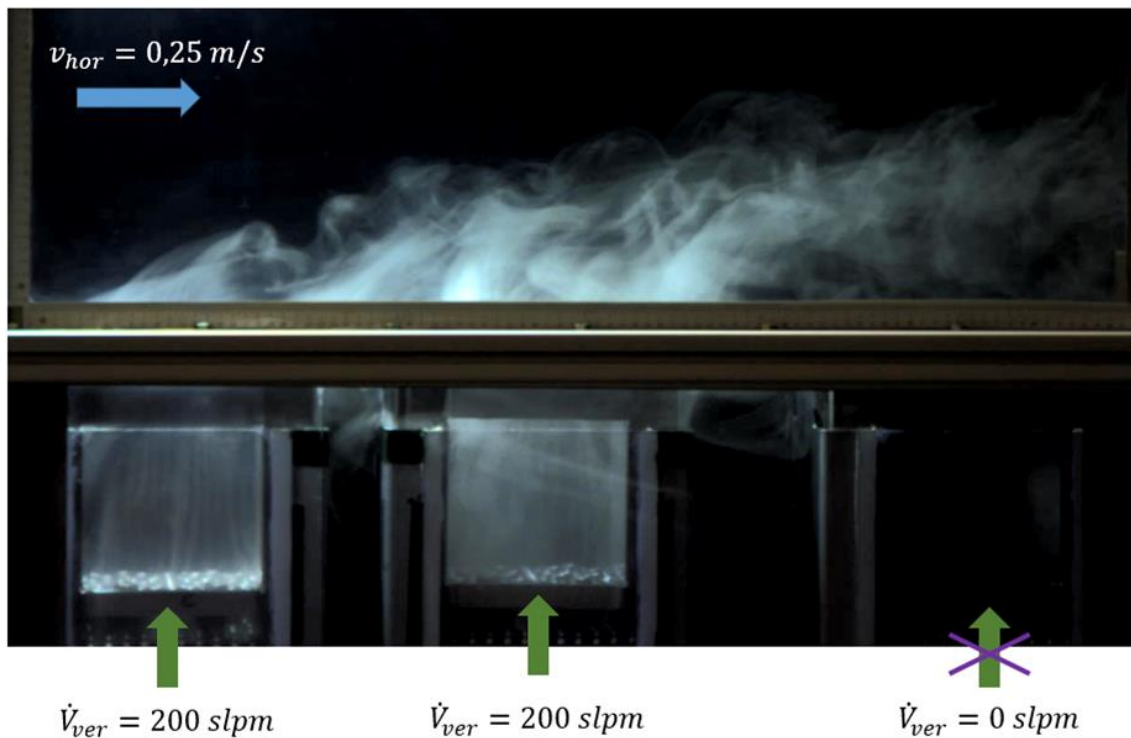


Abb. 4-6 Visualisierung horizontaler und vertikaler Luftströmungen in einer BE-Konfiguration des Versuchsstandes DVABEG

4.2.3.5 Kraftwerkskomponenten

TEILBEHEIZTER Brennelemente-DUMMY

Der teilbeheizte Brennelemente-Dummy repräsentiert in verkürzter Form das Brennelement eines Druckwasserreaktors. Es kann durch Kopplung mit der "Zittauer Strömungswanne" (ZSW) in einem Kühlmittelkreislauf integriert werden.



Abb. 4-7 Beheizbarer Brennelemente-Dummy

- Brennelemente (BE)-Dummy eines Druckwasserreaktors (DWR) mit 16×16 Brennstabsimulatoren (Abb. 4-7)
- 8×8 Brennstab (BS)-Simulatoren mit jeweils 1120 W max. elektrischer Heizleistung
- Heizleistung über mehrere BS-Gruppen variierbar
- Edelstahlgehäuse mit umfangreicher Befensterung
- umfangreiche Messtechnik, u.a. zur Erfassung von Differenzdrücken, Volumenströmen, Trübungen und Kühlmitteltemperaturen

CORVUS

Die 4,5 m hohe Versuchsstandskomponente CORVUS (Abb. 4-8) repräsentiert die Teilgeometrie eines Druckwasserreaktor-Brennelements vom Typ Vorkonvoi. Sie besteht aus einer eingehausten 3×3 Heizstabkonfiguration, welche Brennstäbe in originaler Länge simuliert. CORVUS kann durch Kopplung mit der „Zittauer Strömungswanne“ (siehe Abschnitt 4.2.3.1) in einen Kühlmittelkreislauf eingebunden werden.

- Zirkalloy-Hüllrohre sowie Abstandshaltersegmente (AH) Typ FOCUS™ an originalen Höhenpositionen
- 800 W elektrische Heizleistung je Stab, mit Nachbildung eines cosinusförmigen Leistungsprofils über der simulierten aktiven Länge
- Bestimmung von hüllrohrnahen Temperaturen und Kühlmitteltemperaturen
- variabel platzierbare Differenzdruckmessung
- umfangreiche Befensterung für die Observation der AH mit Achtfach-Digitalkamerasystem



Abb. 4-8 Versuchsstandskomponente CORVUS (links); Edelstahl-Gehäuse mit 3x3-Heizstabkonfiguration in originaler Brennstablänge (rechts)

WEITERE KOMPONENTEN

- Verkürztes Brennelement (BE)-Dummy eines Druckwasserreaktors (DWR): $\approx 1,6$ m Gesamtlänge mit BE-Kopf und BE-Fuß inkl. integriertem Debris Screen Filter (IDF), 16x16 Brennstabsimulatoren, 3 Abstandshalter
- 4 verkürzte DWR BE-Dummys: $\approx 1,1$ m Gesamtlänge mit BE-Kopf und BE-Fuß inkl. IDF, 16x16 Brennstabsimulatoren, 2 Abstandshalter; zu einem BE-Cluster kombinierbar
- Plexiglasgehäuse für BE-Cluster, konzipiert für die Einbindung des Clusters in einem Kühlmittelkreislauf, mit separater Regelung der Massenströme
- Versuchsstand "Zittauer Strömungswanne" (ZSW) als Modell eines Containmentsumpfes eines generischen DWR
- Versuchsstand DVABEG für die Untersuchung von Wärmetransportprozessen in einem teilweise bzw. vollständig ausgedampften Brennelement-Lagerbecken

4.2.4 Messtechnik

4.2.4.1 Hochgeschwindigkeitskamera

Diese Kamera dient der Bildaufnahme von schnellen dynamischen Prozessen und bewegten Objekten (z. B. Luftblasen, Freistrah, Partikeltransport in Strömungen)

- Bildrate: 5.000 fps bei maximaler Auflösung, bis zu 195.000 fps bei reduzierter Auflösung
- mobiler Einsatz möglich (interne Batterie)

4.2.4.2 Infrarotkamera

- Bildwiederholfrequenz: 60 Hz
- Temperatursensitivität: 50 mK
- Auflösung: 320 × 240
- 2 Temperaturbereiche: -20 bis 120 °C und 0 bis 350 °C
- Spektralbereich: 7,5 - 13 µm; Nahbereich: 100 µm/Pixel

4.2.4.3 Digitales Mikroskop

- 2,1 Megapixel CCD Sensor
- Teleobjektiv für Aufnahmen mit 20- bis 200-facher Vergrößerung
- Erweiterte Tiefenschärfe
- Echtzeit-Bildoptimierung

4.2.4.4 Particle Image Velocimetry (PIV)

Particle Image Velocimetry (PIV) ist ein optisches Verfahren zur Bestimmung von Geschwindigkeitsfeldern in Strömungen. Das PIV-System findet am Institut u. a. Verwendung für die Messung von

- lokalen Geschwindigkeiten in Kanalströmungen,
- Turbulenzen und Wirbelausprägungen,
- durch simulierte Leckstrahlen erzeugte Strömungsprofile.

4.2.4.5 Particle Analyzer

Auf Grundlage des Laserdiffraktionsverfahrens werden mit dem Messsystem (Abb. 4-9) Partikelgrößen und Größenverteilungen bestimmt. Die Berechnung erfolgt aus dem Beugungsmuster der gemessenen Intensität eines durch eine dispergierte Partikelprobe gestreuten Lichts eines Laserstrahls.

- Analyse von Pulvern und Suspensionen
- Partikelgrößenbestimmung mittels Laserdiffraktion
- erfassbares Partikelgrößenspektrum: 0,05...900 µm

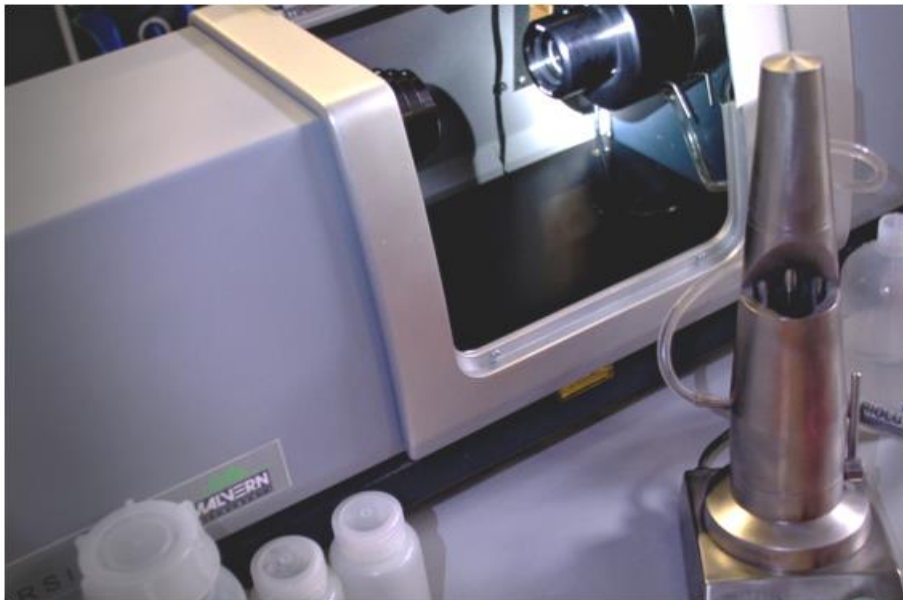


Abb. 4-9 Particle Analyzer

4.2.4.6 Weitere optische Messtechnik



Abb. 4-10 Kompaktes Mehrkamarasystem für den Einsatz in Forschung und Industrie (links), Lasersensoren für Trübungsmessung in flüssigen Medien und Objektvermessungen (rechts)

- Portables USB-Mehrkamarasystem (Abb. 4-10 links)
- Digitale Lasersensoren für Objektvermessungen und Bestimmung von Trübungsgraden in transparenten Medien (Abb. 4-10 rechts)

4.2.5 Publikationen

4.2.5.1 Proceedings, Berichte und Journalbeiträge

Alt, S.; Kästner, W.; Renger, S. & Seeliger, A.: LOCA Scenario-related Zinc Borate Precipitation Studies at Semi-technical Scale, Proceedings of the Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2019), Berlin, 2019

4.2.5.2 Vorträge und Präsentationen

Alt, S.; Kästner, W.; Renger, S. & Seeliger, A.: Generische thermohydraulische und physikochemische Analysen zur Implementierung eines ATHLET-Moduls für die Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern, Oberlausitzer Energiesymposium (OLES) 2019, Hochschule Zittau, 7.-8.11.2019 (Posterpräsentation)

Alt, S.; Kästner, W.; Renger, S. & Seeliger, A.: Generische thermohydraulische und physikochemische Analysen zur Implementierung eines ATHLET-Moduls für die Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern, KOMPOST Doktorandenseminar, VKTA, Dresden-Rossendorf, 5.12.2019 (Posterpräsentation)

Kästner, W.; Hampel, U.; Kryk, H.; Harm, U.; Seeliger, A.; Alt, S.; Renger, S.; Palazzo, S.: Vorstellung des Verbundvorhabens „ATHLET-Modul zur Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern“, Vortrag/Proceedings zum Kick Off-Meeting „ATHLET-Modul Zinkborat (AZora)“, Dresden, 10. Oktober 2019

Kästner, W.; Alt, S.; Seeliger, A. & Zacharias, F.: Experimente und Analysen zur Modellierung sowie Validierung der Zinkfreisetzung und thermohydraulischer Auswirkungen von Zinkboratablagerungen im DWR-Kern, Vortrag/Proceedings zum Kick Off-Meeting „ATHLET-Modul Zinkborat (AZora)“, Dresden, 10. Oktober 2019

4.2.6 Betreuung von Promovenden

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner:

Chahi, Hassan; Dichtegetriebene vertikale Austauschbewegungen von Gasen in Stab-bündelgeometrien (Sicherheit der Nasslager für abgebrannte Brennelemente)

4.3 Mechatronische Systeme

4.3.1 Überblick

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter:

- Dipl.-Ing. (FH) Stephan Düsterhaupt
- Dipl.-Ing. (FH) Hagen Hoffmann
- Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann
- Dipl.-Inf. (FH) Ivo Noack
- Dipl.-Ing. Torsten Rottenbach
- Dipl.-Wirtschaftsmath. (FH) Mikhail Shmachkov
- Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek

Arbeitsfelder:

- Entwurf, Auslegung/Optimierung/Funktionsintegration und Projektierung auto-matisierungstechnischer und mechatronischer Systeme
- Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme
 - nichtlineare Systeme (elektrisch, elektromagnetisch, mechanisch, thermisch) – ANSYS, Red-Cat, Quickfield, FEMM
 - dynamische Simulation technischer Systeme – MATLAB/ Simulink
- Rapid-Control-Prototyping, Hardware-in-the-loop (HIL) – dSpace
- Auslegung und Konstruktion mechatronischer Komponenten – NX, KiCad
- Mess- und Sensortechnik – Entwicklung und Anwendung moderner Algorithmen und Messverfahren
- Aufbau und Inbetriebnahme technischer Anlagen
 - experimentelle Arbeiten
 - Messwerterfassung, -verarbeitung, -auswertung
- Überwachung/Monitoring, Zustandsdiagnose und technische Diagnose
- Datenanalyse, Algorithmierung
- Regelungstechnik, Leistungselektronik
- Softwareentwicklung – C++, Java, MATLAB, SQL, R
- Projektentwicklung und Projektmanagement
- Design und Implementierung humanzentrierter Mensch-Maschine-Schnittstellen in Industrieanlagen, (Erweiterte) Virtuelle Realität (VR, AR) – Unreal IDE und Run-time Environment
- Entwicklung/Implementierung moderner Algorithmen für intelligente Datenanalysen und zum Design autonomer, selbstlernender cyber-physischer Systeme – Technologieentwicklung „AI at the Edge“

Applikationsfelder:

- Magnetlagertechnik
- Quelloffene Technologien für eingebettete Systeme
- Zustandsbewertung und individuelle zustandsbezogene Vitalisierung von Kulturpflanzen

Applikationen:

- Magnet-/Fanglager
- Leistungselektronik
- Sensorelektronik
- Großtechnische Anlagen/Großversuchsanlagen
- Kleinversuchsstände
- Kinetische Energiespeicher
- Turbomaschinen

4.3.2 Forschungs- und Entwicklungsprojekte*4.3.2.1 Energieeffiziente, ölfreie Lagerungen für Anwendungen in Turbomaschinen, Windrädern und Energiespeichern – Grundlagen, Modellierung und Simulation***Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Stephan Düsterhaupt, Dipl.-Ing. (FH) Hagen Hoffmann, Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann, Dipl.-Inf. (FH) Ivo Noack, Dipl.-Ing. Torsten Rottenbach, Dipl.-Wirtschaftsmath. (FH) Mikhail Shmachkov, Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek**Finanzierung:** SMWA, EFRE**Laufzeit:** 1.12.2015 – 30.11.2018

Verlängerung 1.12.2018 – 30.6.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Zu den Herausforderungen, die Energiewende in Deutschland zu meistern, gehört neben dem Energieträgerwechsel bei der Elektroenergieerzeugung und im Verkehrssektor auch, den Wirkungsgrad bestehender Kraftwerksanlagen zu steigern. Ein möglicher Weg zur Effizienzsteigerung von technischen Anlagen ist der Einsatz von Magnetlagern, wodurch der Wirkungsgrad der Maschinen erhöht wird und die bisher notwendigen Nebenanlagen zur Ölversorgung der Lagerung entfallen können. Besondere Herausforderungen stellen dabei die extremen Umgebungsbedingungen wie hohe Temperaturen oder aggressive Atmosphären dar, denen die Lagerung ausgesetzt ist. Neben den Magnetlagern müssen auch die zum Betrieb notwendigen Sensoren und Fanglager diesen Bedingungen standhalten.

Im Projekt wurde ein Simulationsmodell entwickelt mit dem es möglich ist, eine magnetgelagerte Maschine unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zu simulieren. Zur optimalen Gestaltung der Magnetlager wurde ein Programm zur multikriteriellen Optimierung auf Grundlage der Particle-Swarm-Optimization erstellt. Damit ist es möglich, innerhalb kürzester Zeit ein für den Anwendungszweck optimales Magnetlager auszugeben. Bei der Simulation kommt ein eigenentwickeltes Rotordynamikberechnungsprogramm zum Einsatz, welches den Einfluss unterschiedlicher Temperaturen des Rotors der Maschine berücksichtigen kann.

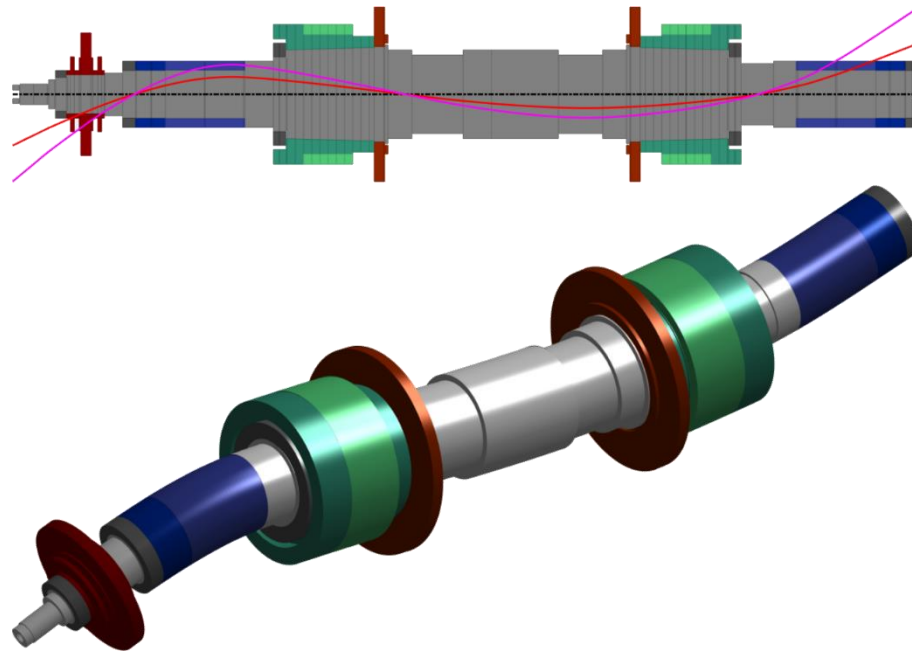


Abb. 4-11 Ergebnis der Simulationsrechnung: S-Schlag des Versuchsstandsrotors bei 285 Hz

Die für die Magnetlagerung erforderliche Lagesensorik ist auf Grund der räumlichen Nähe den gleichen Umgebungsbedingungen wie die Magnetlager ausgesetzt. Im Projekt wurde ein induktiver Axial-Radial-Lagesensor ausgelegt, gefertigt und getestet, welcher ohne zusätzliche Kühlung auskommt. Die für den Betrieb des Sensors notwendige Elektronik wurde ebenfalls entwickelt und gefertigt. Mit diesem Sensor steht ein System zur Verfügung, welches bei hohen Temperaturen an magnetgelagerten Maschinen zur Rotorlagemessung eingesetzt werden kann.

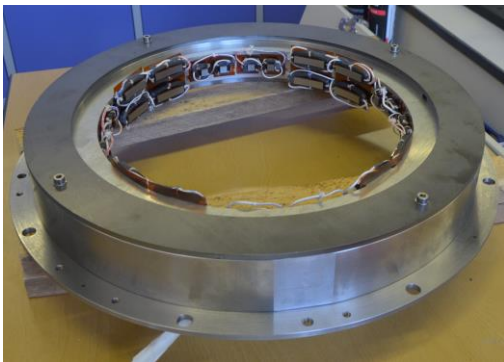


Abb. 4-12 Stator und Rotor des entwickelten Hochtemperatur-Lagesensors

Für den Betrieb von magnetgelagerten Maschinen sind Fanglager unerlässlich. Im Projekt wurde ein radiales Gleitfanglager für den Versuchsstand MFLP gefertigt und getestet. Der Vorteil von Gleitlagern ist, dass diese einfacher aufgebaut sind als die üblicherweise eingesetzten Wälzlager. Das entwickelte Gleitfanglager eignet sich auf Grund seiner Konstruktion für den Test unterschiedlicher Gleitwerkstoffe, um eine optimale Werkstoffkombination zu finden.



Abb. 4-13 Am MFLP montiertes Gleitfanglager und diversitäres Wellenlagemesssystem für Fanglager-versuche

Magnetlager müssen beim Einsatz bei der Energieerzeugung hohe Sicherheits- und Verfügbarkeitserwartungen erfüllen. Zum Erreichen dieses Ziels wurden alle Komponenten eines magnetgelagerten Systems bezüglich ihrer Widerstandsfähigkeit bewertet und mit Hilfe von neuronalen Netzen die Ausfallwahrscheinlichkeiten des Gesamtsystems ermittelt.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen das enorme Potenzial, welches die Magnetlagertechnik für die Effizienzsteigerung von Turbomaschinen hat. Die Erhöhung der Betriebstemperatur der Lagerung führt zu einer verbesserten Nutzung der vorhandenen Ressourcen. Das Einsatzfeld für die Magnetlagertechnik wird durch die höheren Einsatztemperaturen erweitert und dadurch interessanter für industrielle Anwendungen. Mit den erstellten Simulationsmodellen können alle relevanten physikalischen Effekte der Umgebungseinflüsse bei der Auslegung berücksichtigt werden. Besonders das Rotormodell kann die bisher nicht beachteten thermischen Einflüsse auf die Rotordynamik berücksichtigen. Der Sensorprototyp ermöglicht, es die theoretischen Auslegungsrechnungen in Experimenten zu validieren und damit die getroffenen Annahmen zu überprüfen.

Die Entwicklung des Sensors bietet die Möglichkeit, das moderne Schaltungsdesign für neue zukunftsweisende Technologien wie digitale, vernetzte Sensorstrukturen, welche für Industrie 4.0 Anwendungen unerlässlich sind, zu erforschen. Das Gleitfanglager für den Versuchsstand MFLP ist die Basis zukünftiger Untersuchungen zum Thema Gleitlager als Fanglager für magnetgelagerte Turbomaschinen. Durch den modularen Aufbau der neuen Komponenten für die Versuchsanlage ist es möglich, weitere Konzepte und neue Materialien zu testen. Die Bewertung der Widerstandsfähigkeit eines magnetgelagerten Systems im industriellen Umfeld bietet die Möglichkeit, solche Anlagen sicher zu betreiben und die Lebenserwartung mit ausreichender Genauigkeit abzuschätzen.

Die Bearbeitung des Projektes brachte einen bedeutenden Wissenszuwachs beim Antragsteller bezüglich des Einsatzes von Magnetlagern und Sensortechnik bei Hochtemperaturanwendungen. Dieses Wissen kann für neue Forschungs- und Drittmittelprojekte eingesetzt werden.

Bei der Bearbeitung des Projektes kam es zu Verzögerungen bei der Fertigung und Lieferung der Gleitfanglager- und Sensorkomponenten. Dies war einerseits den einzuhaltenden Fristen bei den notwendigen Ausschreibungsverfahren und andererseits den besonderen Anforderungen an die Werkstoffe der Komponenten und den damit verbundenen Lieferschwierigkeiten geschuldet. Aus diesen Gründen wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes beantragt und seitens des Projektträgers bewilligt. Das Projekt wurde am 30.6.2019 erfolgreich beendet, die Projektergebnisse wurden in einem Abschlussbericht zusammengefasst und fristgerecht dem Projektträger übergeben.

4.3.2.2 *Energieeffiziente, ölfreie Lagerungen für Anwendungen in Turbomaschinen, Windrädern und Energiespeichern – Verifikation und experimentelle Validierung*

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Stephan Düsterhaupt, Dipl.-Ing. (FH) Hagen Hoffmann, Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann, Dipl.-Inf. (FH) Ivo Noack, Dipl.-Ing. Torsten Rottenbach, Dipl.-Wirtschaftsmath. (FH) Mikhail Shmachkov, Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek

Finanzierung: SMWA, EFRE



Laufzeit: 1.7.2019 – 28.2.2021

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ausgehend von den Ergebnissen des vorangegangenen Projektes werden im Anschlussprojekt weiterführende theoretische und experimentelle Untersuchungen im Hinblick auf die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Lagerung beim Einsatz unter hohen Temperaturen und aggressiver Atmosphäre durchgeführt. Hauptaugenmerk dabei ist die Erhöhung des Isolationsgrades durch die Anwendung temperaturstabiler Isolierstoffe für Magnetlager und Sensorik einerseits und zur materialtechnischen und konstruktiven Gestaltung der Fanglager andererseits.

Zur Erreichung der Gesamtzielstellung ist das Vorhaben in folgende Arbeitspakete gegliedert:

Arbeitspaket I: Theoretische und experimentelle Untersuchungen von Temperatureigenschaften magnetischer Materialien

Arbeitspaket II: Experimenteller Funktionsnachweis des induktiven Lagesensors bei thermischer Belastung

Arbeitspaket III: Weiterführende Untersuchungen zur Validierung des Fanglagerkomplexmodells

Arbeitspaket IV: Qualifizierung des Messwerterfassungssystems Maglap++

Arbeitspaket V: Virtualisierung in Industrieapplikation

Im ersten Arbeitspaket soll das Informationsdefizit bezüglich der Kennwerte und Parameter von Magnetwerkstoffen bei hohen Temperaturen beseitigt werden. Dazu sind experimentelle Untersuchungen verschiedener Materialproben zur Ermittlung des Temperatureinflusses auf die magnetischen Eigenschaften geplant. Daraus sollen Modelle für die temperaturabhängigen magnetischen Materialeigenschaften abgeleitet werden, die in den Auslegungsalgorithmen und der dynamischen Simulation eingesetzt werden.

Im zweiten Arbeitspaket wird der entwickelte induktive Lagesensor einem experimentellen Funktionsnachweis unterzogen und im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität bis zu den geplanten Einsatztemperaturen untersucht. Zur Validierung des Sensorsystems sind Experimente unter praxisrelevanten Bedingungen sowie zur Untersuchung von Einzeleffekten geplant. Dazu wird der Sensor am Versuchsstand

MFPL montiert, in Betrieb genommen und für verschiedene Betriebszustände getestet. Zudem sind Langzeituntersuchungen unter thermischen Belastungen beabsichtigt.

Mit den im vorangegangenen Projekt erstellten Fanglagermodellen werden im dritten Arbeitspaket Simulationsrechnungen für verschiedene Randbedingungen durchgeführt. Die Simulationsergebnisse werden mit experimentellen Daten verglichen. Die Ergebnisse werden genutzt, um Ableitungen für die statische und dynamische Auslegung von Fanglagern hinsichtlich der Materialauswahl und der konstruktiven Umsetzung zu treffen.

Im vierten Arbeitspaket wird das Ziel verfolgt, die bestehende Softwarelösung *Maglap++* für Hochtemperaturmagnetlager anzupassen und einzusetzen. Dabei wird besonders die Echtzeitfähigkeit, die Daten- und Transportsicherheit sowie die Implementierung auf unterschiedlichen Hardwareplattformen (PC, eingebettete Systeme) Berücksichtigung finden.

Im letzten Arbeitspaket wird aus der beschriebenen Notwendigkeit heraus das Ziel verfolgt, Messwerte mit analytisch gewonnenen Daten aus Modellen und Datenbanken zu verknüpfen, diese auf einem Proxyserver zu veröffentlichen und final dem Anwender in einer erweiterten virtuellen Realität zur Verfügung zu stellen. Dazu soll die Synthese aus Realität und den computergestützten Erweiterungen dem Anwender visuell angeboten werden.

Das Projekt hat planmäßig zum 01.07.2019 begonnen und befindet sich in der Bearbeitungsphase. Erste Ergebnisse werden im Zwischenbericht zusammengefasst und veröffentlicht.

4.3.2.3 *Schmiermittelfreie Dampfturbine: Test neuer Fanglager*

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek

Finanzierung: Industrie

Laufzeit: 1.6.2019 – 30.9.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Magnetgelagerter Maschinen benötigen zur Aufnahme des Rotors sog. Fanglager. Diese Lager verhindern die Berührung zwischen Rotor- und Statorbauteilen bei der planmäßigen Außerbetriebnahme der Maschine als auch beim Ausfall der Magnetlager bei sich drehendem Rotor. Im letzteren Fall werden die Fanglager thermisch und mechanisch hoch belastet, da der im Normalbetrieb stillstehende Innenring des Fanglagers durch den Aufprall der rotierenden Welle schlagartig auf deren Drehzahl beschleunigt wird. Die Fanglager müssen diesen Belastungen bis zum Stillstand des Rotors standhalten. Neben theoretischen Simulationsrechnungen wird die Standfestigkeit anhand von Experimenten untersucht und nachgewiesen. Dafür eignen sich die beiden Versuchsanlagen „Schmiermittelfreie Dampfturbine – SFDT“ und „Magnet- und Fanglagerprüfstand – MFLP“ an der Hochschule Zittau/Görlitz. An den Versuchsanlagen können Rotorabwürfe in die Fanglager unter definierten Bedingungen durchgeführt werden. Dadurch sind die Reproduzierbarkeit der Experimente und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

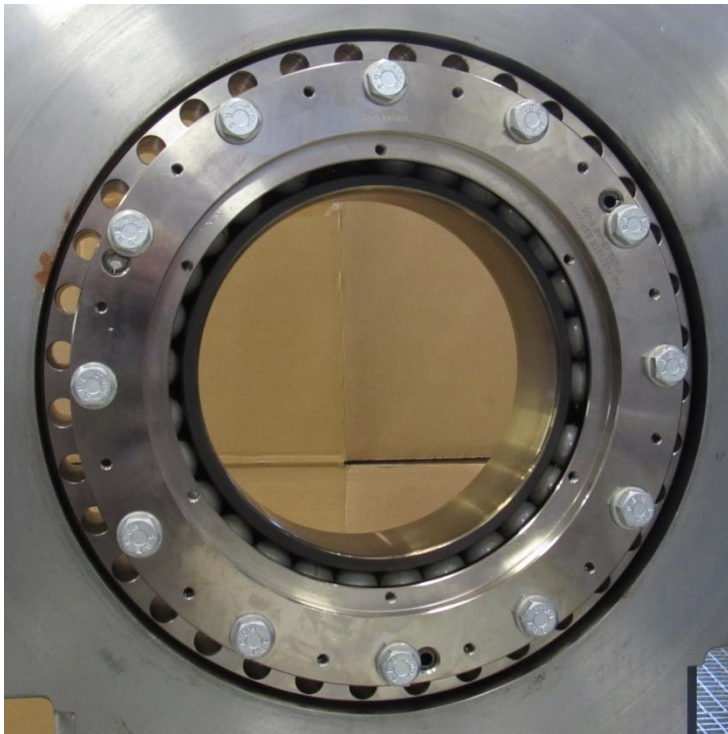


Abb. 4-14 Fanglagereinheit des Versuchstandes MFLP im ausgebauten Zustand

Mit den Versuchsanlagen besteht für Industriekunden die Möglichkeit, praktische Fanglagerexperimente durchzuführen. Die angebotenen Dienstleistungen umfassen die kundenspezifische Versuchsplanung, die Durchführung der Experimente und deren Auswertung.

4.3.2.4 Intelligente Datenanalyse zur Erschließung neuer Diagnose- und Optimierungsstrategien in quelloffenen Technologien für eingebettete Systeme

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Stephan Düsterhaupt, Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann

Finanzierung: SMWK

Laufzeit: 01.04.2019 – 31.03.2020

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Die Digitalisierung der industriellen Produktion (Industrie 4.0) bringt eine ganz neue Generation technischer Anlagen – sogenannte Cyber-Physische Systeme – hervor. Dabei handelt es sich um mechatronische Komponenten, die einen starken Vernetzungsgrad aufweisen. Moderne technische Anlagen sind umfangreich instrumentiert. Eine Vielzahl (dezentral organisierter) Sensoren, Aktoren und Steuerungen bilden heute deutlich komplexere Anlagenzustände ab, als mechatronische Systeme früherer Generationen. Damit können verfahrenstechnische Prozesse auch während des Betriebes analysiert und bspw. energieoptimal eingestellt, eine Restlebensdauer eines Werkzeugs oder der Verschleißfortschritt in einer Turbine prognostiziert werden. Dies erfolgt auf der Grundlage von Messdaten sowie indirekt ermittelter Prozessinformationen (analytische Redundanz) unter Anwendung modellgestützter Verfahren.

Industrie 4.0 zeigt den Trend zu einem progressiv zunehmenden Datenaufkommen. Das Informationsaufkommen nimmt also einerseits in den dezentral organisierten und intelligenten Anlagenkomponenten zu. Andererseits führt die Komponentenvernetzung zu einer nochmaligen Steigerung des Datenaufkommens. Der klassische Ansatz, sämtliche Informationen in Echtzeit zu speichern, muss hier versagen.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, den Informationsgehalt analoger und digitaler Daten zu kombinieren. Ferner besteht häufig die Notwendigkeit, linguistische Informationen (Handlungsanweisungen, manuelle Eingriffe durch Personal) zu berücksichtigen.

Das Projekt soll die Erschließung von Forschungsfeldern und die Entwicklung entsprechender Kooperationen zu „Quelloffenen Technologien in eingebetteten Systemen“ vorantreiben.

Im Fokus stehen hierbei moderne Algorithmen zur Inprocess- und Postprocess-Analyse von Anlagendaten. Die Erschließung neuer Diagnose- und Optimierungsstrategien wird das Datenaufkommen in technischen Anlagen (Industrie 4.0) reduzieren und den Informationsgehalt gleichzeitig steigern.

Folgende Einzelzielsetzungen werden hierbei verfolgt:

- Aufklärung mehrdimensionaler Zustandsgrößen und deren Abhängigkeiten
- Sicherstellung der Übertragbarkeit der Lösungsansätze (Methoden) auf unterschiedliche Applikationsfelder
- anlagenzustandsabhängige Verdichtung der Informationen auf das Wesentliche
- optimierte Speicherung (Archiv, Speicherplatzreduzierung) und Visualisierung (Mensch-Maschine-Kommunikation, humanzentrierte Gestaltung) des Informationsgehaltes

Während des Bearbeitungszeitraumes wurden Datenreihen aus dem Betrieb der magnetgelagerten Speisepumpenantriebsturbine (Kraftwerk Jänschwalde) zunächst klassisch bezüglich statistischer Kennwerte analysiert. Die Arbeiten wurden mit Analysen von Frequenzspektren (FFT) und Korrelationsuntersuchungen fortgeführt. Es wurde das Ziel verfolgt, Ursachen für das Aufklingen von Rotorschwingungen in den Magnetlagern zu identifizieren.

Die dazu notwendigen Algorithmen wurden in einer GNU-R-Skript-Sammlung implementiert, die Ergebnisse entsprechend diskutiert. Die Korrelation ausgewählter Merkmale innerhalb der Datenreihen fiel sehr schwach aus. Konkrete Zusammenhänge zwischen „Ursache“ und „Folge“ konnten mit den klassischen statistischen Methoden erwartungsgemäß nicht aufgeklärt werden.

Daher sah die weitere Bearbeitung die Anwendung eines modernen Verfahrens zur multivariaten Datenanalyse – konkret die Datenclustering unter Anwendung des *k-Means*-Algorithmus – vor. Diese befand sich zum Jahresende noch in der Phase der Implementierung.

4.3.2.5 Weiterentwicklung und Optimierung Programmsystem Maglap++

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter: Dipl.-Wirtschaftsmath. (FH) Mikhail Shmachkov

Finanzierung: SMWK

Laufzeit: 01.03.2017 – 31.12.2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Für aktive Magnetlager - ein mechatronisches Produkt der Industrie 4.0 - wurde die Software *Maglap++* entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Softwarewerkzeug zur plattformunabhängigen und vernetzten Messwerterfassung und Anlagenüberwachung. Die Software wird in der Programmiersprache C++ erstellt.

Im Berichtszeitraum wurde *Maglap++* weiterentwickelt und verifiziert. Zur besseren Synchronisation wurde das Messwerterfassungsmodul durch Verwendung eines Start-Triggers (Signal zum Start der Messung) einschließlich eines externen Taktgebers erweitert. Das Speicherungsmodul wurde optimiert. Für die Verwendung der Daten in anderen Auswertungsprogrammen wurde ein Modul zur Konvertierung der binären Daten in CSV-Dateien erstellt und implementiert. Der Einsatz des Softwaresystems zeigte, dass die Erwartungen an das Programmsystem bezüglich Flexibilität und Echtzeitfähigkeit erfüllt werden. Parallel dazu wurde das Softwarekonzept so weiterentwickelt, dass *Maglap++* den Anforderungen an Cyber-Physische-Systeme gerecht werden kann.

Das entwickelte Programmsystem wurde erfolgreich am Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP eingesetzt sowie für Testmessungen am neu entwickelten Hochtemperatur-Lagesensor eingesetzt.

Die in der Vorhabensbeschreibung definierten Ziele wurde erreicht.

Weiterhin findet *Maglap++* Anwendung in folgenden Projekten bzw. ist dessen Einsatz geplant:

- Energieeffiziente Magnetlagerungen für Anwendungen unter extremen Umgebungsbedingungen: Verifikation und experimentelle Validierung
- Intelligente Datenanalyse zur Erschließung neuer Diagnose- und Optimierungsstrategien in quelloffenen Technologien für eingebettete Systeme
- Semimobile Autonome Feldbearbeitungseinheit - SAFE

4.3.3 Versuchsanlagen

4.3.3.1 Versuchsanlage Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP

Der Magnet- und Fanglager-Prüfstand (MFLP) wurde im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors errichtet. Er dient der Untersuchung von Magnet- und Fanglagern unter kraftwerksrelevanten Umgebungsbedingungen, vor allem hinsichtlich deren Langzeitstabilität. Wesentliche Eigenschaften des Prüfstandes sind:

- Rotor mit einer Masse von ca. 1,3 t
- Druckfester Rezipient mit Kammersystem
- Separat regelbare Dampfanschlüsse an jeder Kammer zur Beaufschlagung mit überhitztem Wasserdampf (bis zu 3 bar und 250 °C)
- Modularer Aufbau der Fanglageraufnahmen im Rezipienten für den Einbau unterschiedlichster Fanglagerkonfigurationen
- Notfanglager als Sicherungseinrichtung beim Test von zu untersuchenden Fanglagern bis an die Auslegungsgrenze
- Horizontal geteilter Rezipient für einfache Montage und Demontage von Magnet- und Fanglagerkomponenten

Der Prüfstand bildet die Grundlage für die Entwicklung und den Test zukünftiger Lösungen für Magnet- und Fanglager. Die umfangreiche Instrumentierung ermöglicht die Validierung von Simulations- und Auslegungstools für Magnet- und Fanglager.



Abb. 4-15 Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP im Zittauer Kraftwerkslabor

4.3.3.2 Versuchsanlage Magnet- und Fanglagerprüfstand FLP 500

Die Großversuchsanlage FLP 500 wurde im Rahmen des Forschungsprogramms zur Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren als Fanglagerprüfstand konzipiert und aufgebaut. Ziel war es, geeignete Fanglagerkonzepte für die Haupt- und Hilfsgebläse zu entwickeln und zu testen. Im Jahr 1994 wurde der Versuchsstand am IPM aufgebaut und wieder in Betrieb genommen. Der Versuchsstand wird hier u. a. eingesetzt für:

- Entwicklung, Verifikation und Validierung von Simulationsmodellen und -software
- Untersuchungen zur Entwicklung von Algorithmen zur Steuerung und Regelung der Magnetlager und des Antriebs
- Umrüstung der Magnetlagerung von analoger auf digitale Regelung
- Entwicklung und Test von Diagnosealgorithmen und -systemen für Magnet- und Fanglager
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Fanglagerentlastung mittels Permanentmagnetlagern
- Experimentelle Untersuchungen zu thermischen und mechanischen Belastungen der aktiven Magnetlager



Abb. 4-16 Magnet- und Fanglagerprüfstand FLP 500

Wesentliche Eigenschaften und Parameter des Versuchsstandes sind:

- Vollständig aktiv magnetgelagerte Welle
- Redundante Magnetlager
- Rotormasse 1,3 t
- Maximaldrehzahl 7200 U/min
- Antriebsleistung 241 kW bei 3600 U/min
- Testbehälter Länge 2,95 m, Durchmesser 1 m, Masse 7 t
- Masse Betonfundament 45 t
- Tragkräfte

Axialmagnetlager	120	kN
Radialmagnetlager oben 6 kN; Radialmagnetlager unten 10 kN		
- Max. Lagerstrom: 50 A

4.3.3.3 Versuchsanlage Schmiermittelfreie Dampfturbine SFDT

Die Versuchsanlage SFDT dient zur Untersuchung von thermischen und mechanischen Einflüssen auf Magnet- und Fanglager. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Horizontaler vollständig magnetgelagerter Rotor mit einer Masse von ca. 2,5 t und Drehzahlen bis 5800 U/min
- Thermische Belastungseinrichtung mit 40 kW Heizleistung
- Elektromagnetomechanische Belastungseinrichtung mit einer maximalen radialen Kraftaufprägung von 35 kN
- Schutzbunker zum Schutz des Bedienpersonals
- Luft- und Wasserkühlsystem für die Magnetlager und die Bunkerklimateisierung

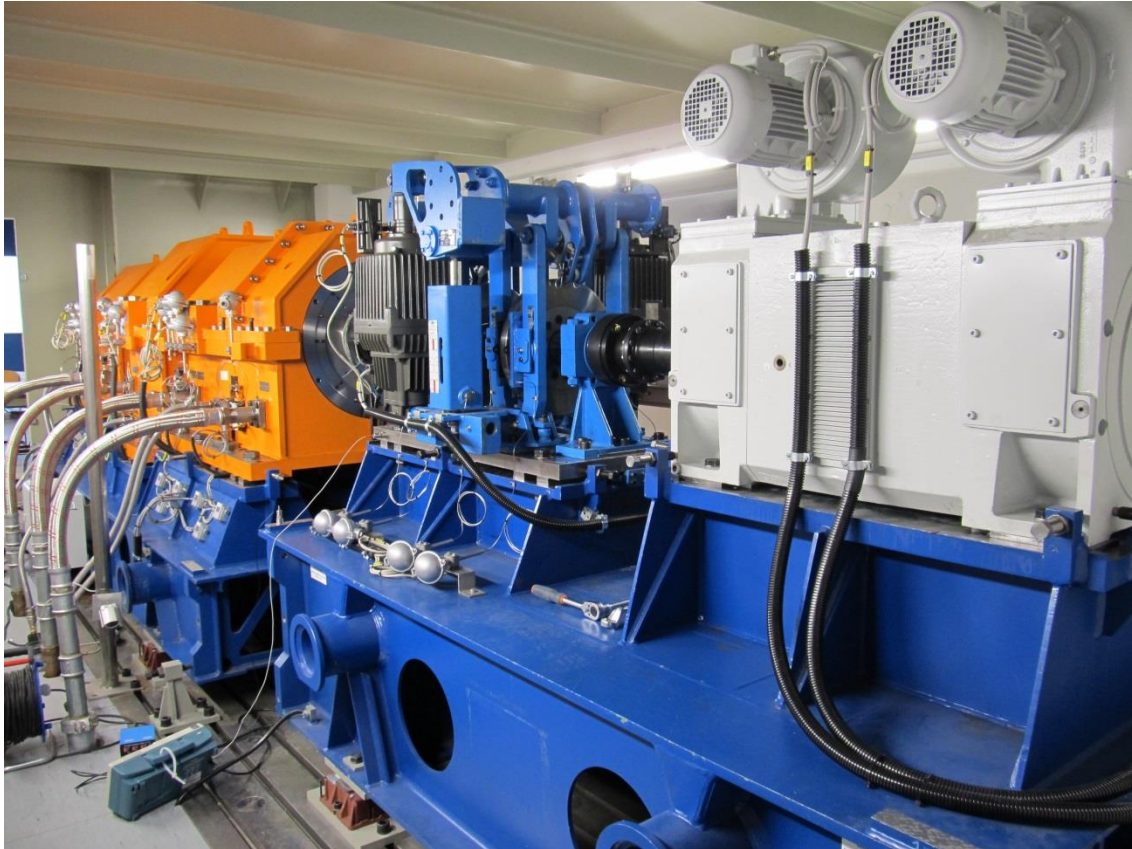


Abb. 4-17 Versuchsanlage Schmiermittelfreie Dampfturbine SFDT

Mit dem Versuchsaufbau können die Betriebsbedingungen einer magnetgelagerten Industriedampfturbine, wie z. B. einer Speisepumpenantriebsturbine im Kraftwerk, nachgestellt werden. Dazu können verschiedene Betriebsmodi der Turbine simuliert und die damit verbundenen thermischen und mechanischen Lasten auf die Lager aufgebracht werden. An der Versuchsanlage wurden u. a. experimentelle Untersuchungen zur Erprobung und Ertüchtigung der Magnetlagertechnologie für den Einsatz an einer Speisepumpenantriebsturbine als Prototyp im Braunkohlekraftwerk Jänschwalde mit folgenden Schwerpunkten durchgeführt:

- Erprobung geeigneter Kühlsysteme
- Beherrschung der durch den Dampf verursachten Prozesskräfte am Rotor
- Nachweis der Funktion der Fanglager

Die Erprobung erfolgte unter möglichst kraftwerksnahen Bedingungen. Der Nachweis der Eignung der Magnetlagertechnologie für Industriedampfturbinen wurde in umfangreichen Tests erbracht.

4.3.3.4 Versuchsstand Momentenlager ZML 320

Der ZML320 ist ein Demonstrator eines Momentenlagers in Außenläuferbauweise entwickelt. Fernziel ist der Ersatz von Großwälzlagern (Durchmesser ca. 1 m) z. B. in Computertomographen durch derartige verschleißfreie und geräuscharme Magnetlager. Mit Hilfe des ZML320 wurde das Regelungssystem für den industriellen Prototyp eines Momentenlagers entwickelt.

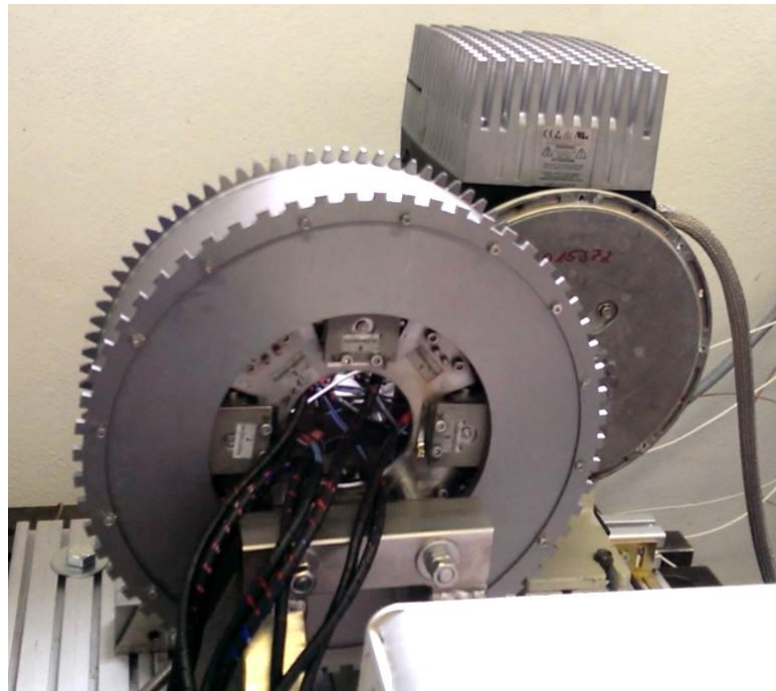


Abb. 4-18 Versuchsstand Momentenlager ZML320

Der Rotor besteht aus einem radialen und zwei axialen Rückschlüssen. Die radiale Lagerung erfolgt durch vier Radialmagnete, wobei die zwei gegenüberliegenden Magnete differenziell verschaltet sind und damit zwei Lagerachsen gebildet werden. Diese sind jeweils um 45° gegenüber der Wirkungsrichtung der Gewichtskraft gedreht angeordnet. Zur axialen Stabilisierung dienen acht Axialmagnete, die zu vier Lagerachsen differenziell verschaltet sind. Die Herausforderung bei dieser Lageranordnung besteht darin, dass sowohl die axiale als auch die radiale Auslenkung des Rotors nicht in den Lagerachsen gemessen werden können. Daher ist ein Transformationsalgorithmus erforderlich, mit dem die Lage des Rotors und die sich ergebenden Luftspalte an den einzelnen Lagermagneten berechnet werden.

Ausgewählte Versuchsstandparameter:

- Rotormasse 16,6 kg
- Rotordurchmesser 320 mm
- Nenndrehzahl 350 U/min
- Tragkraft axial 4x470 N
- Tragkraft radial 2x590 N
- Nennluftspalt axial und radial 300 μm
- Lagerströme Grunderregung 3 A, Steuererregung ± 3 A

Der Rotor wird durch einen drehzahlsteuerbaren Elektromotor über ein Zahnritzel angetrieben.

4.3.4 Messtechnik

4.3.4.1 Messplatz MagHYST[®] modular

MagHYST ist ein Labormessplatz für die experimentelle Ermittlung der magnetischen Eigenschaften von Magnetkreiswerkstoffen. Damit wurde eine Möglichkeit geschaffen, für unterschiedlichste in Magnetlagern zum Einsatz kommende ferromagnetische Materialien die Magnetisierungskennlinien bzw. die quasistatischen Neu- und Hysteresekurven zu messen.

Die Kenntnis dieser Daten ist für eine optimale Auslegung und die Simulation von aktiven Magnetlagern sowie für die Modellvalidierung essenziell. Die magnetischen Eigenschaften der Werkstoffe sind von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. So verändern bspw. Fertigungstechnologien (Stanzen, Laser- oder Wasserstrahlschneiden) die magnetischen Eigenschaften und machen ggf. eine Nachbehandlung erforderlich. Der Einsatz der Werkstoffe unter hohen Temperaturen verringert die erreichbare Sättigungspolarisation und auch die Form der Hystereseurve.

Daten stehen vor allem für den Einsatz unter hohen Temperaturen kaum zur Verfügung.

Mit dem Messsystem können notwendige magnetische Werkstoffparameter für unterschiedliche Einsatztemperaturen experimentell ermittelt und in einer Datenbank zusammengefasst werden. Damit wird es möglich, elektrische Antrieb und Magnetlager für erweiterte Einsatztemperaturbereiche energieoptimal zu entwickeln und auszulegen.

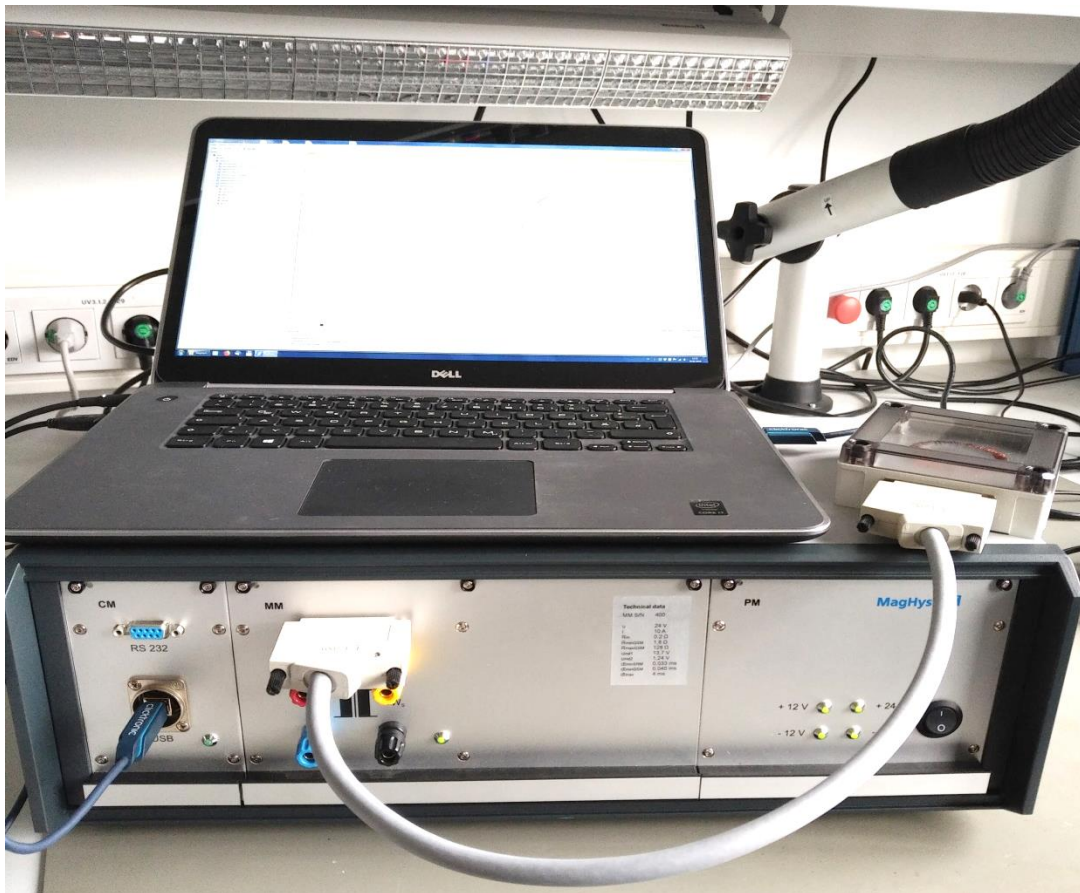


Abb. 4-19 Messplatz auf der Basis von MagHyst

4.3.4.2 Messplatz PowerChoke

Aktive Magnetlager werden i. d. R. so ausgelegt, dass die angestrebte Tragkraft im linearen Bereich der Magnetisierungskennlinie unterhalb des Sättigungsknickes des verwendeten ferromagnetischen Magnetkreismaterials erreicht wird. Abweichungen vom Arbeitspunkt durch Änderungen des Luftspaltes bzw. des Spulenstromes führen zu Änderungen der Induktivitäten, je nach Aussteuerung bis in den nichtlinearen Bereich. Für den Betrieb von Magnetlagern ist nicht nur die Anfangsinduktivität von Interesse, sondern auch die differentielle Induktivität um den Arbeitspunkt, die sowohl von der Vormagnetisierung (Grunderregung) als auch vom Steuerstrom abhängt. Zur optimalen Auslegung der Magnetlagerregelung aus Strom- und Lageregler ist die Kenntnis der für den Arbeitsbereich des Magnetlagers zu erwartenden Induktivitäten erforderlich.

Übliche Induktivitätsmessgeräte sind elektronische Induktivitätsmessbrücken mit Kleinsignalverhalten. Bei eisenbehafteten Spulen erfolgt nur eine geringe Aussteuerung des Kernmaterials, d. h. die Messung erfolgt nur im Bereich der Anfangspermeabilität und ergibt dadurch zu geringe Induktivitätswerte. Eine Induktivitätsmessung für den Arbeitspunkt des Magnetlagers ist damit nicht möglich und der induktivitätsverringende Einfluss der Sättigung wird nicht erfasst.

Mit dem Power Choke DPG 10 Modell 100 der Firma ed-k steht ein mobiler Messplatz zur experimentellen Bestimmung von eisenbehafteten Induktivitäten nach dem di/dt -Messverfahren für Ströme bis 100 A zur Verfügung. Die Prüfspannung kann im Bereich von 10 V bis 400 V eingestellt werden. Die Prüfzeit ist variabel zwischen 3 μ s und 70 ms wählbar. Das Gerät verfügt über eine PC-Schnittstelle zur Messwerterfassung und -auswertung über die mitgelieferte Software.

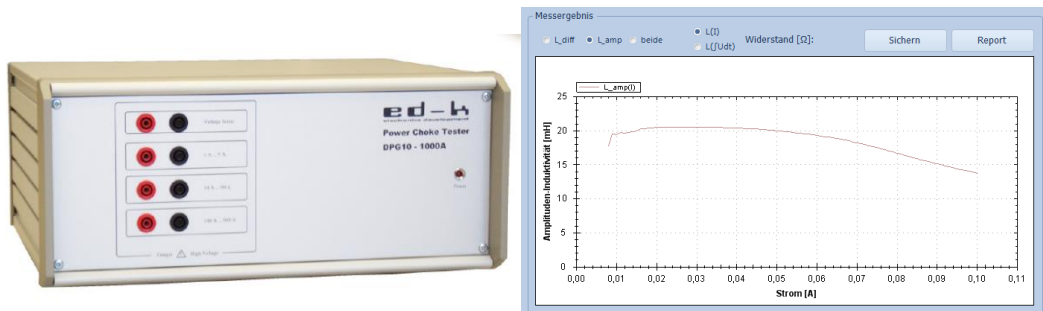


Abb. 4-20 Power Choke DPG 10 und Ergebnis einer Testmessung

4.3.5 Publikationen

4.3.5.1 Proceedings und Forschungsberichte

Mikhail Shmachkov, Holger Naumann, Frank Worlitz: Entwicklung des Softwarewerkzeuges Rotor Element Dynamics – Calculation and Analysis Tool (RED-CAT), 12. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz, 2. – 3. September 2019, Zittau

Holger Neumann, Frank Worlitz: Magnetlagerauslegung unter Nutzung der Particle-Swarm-Optimization, 12. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz, 2. – 3. September 2019, Zittau

Stephan Düsterhaupt, Hagen Hoffmann, Holger Neumann, Ivo Noack, Torsten Rottenbach, Frank Worlitz: Entwicklung und Test eines Hochtemperatur-Sensorsystems für den Einsatz in Turbomaschinen, 12. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz, 2. – 3. September 2019, Zittau

Stephan Düsterhaupt, Hagen Hoffmann, Holger Neumann, Ivo Noack, Torsten Rottenbach, Mikhail Shmachkov, Christian Vanek, Frank Worlitz: Energieeffiziente Magnetlagerungen für Anwendungen unter extremen Umgebungsbedingungen, Abschlussbericht, 30.08.2019, Zittau

4.3.5.2 Vorträge und Präsentationen

Frank Worlitz: Energieeffiziente Magnetlagerungen für Anwendungen unter extremen Umgebungsbedingungen, Workshop zum Projekt HOTHES im Zittauer Kraftwerkslabor, 21. Juni 2019, Zittau

Holger Neumann, Stephan Düsterhaupt, Frank Worlitz: Grundlagenuntersuchungen zum Einsatz von Schwungmassespeichern in autarken Netzen, Poster zur Landtagsmittel-Projektekonzferenz der HSZG, 26. Juni 2019, Zittau

Mikhail Shmachkov, Frank Worlitz: Weiterentwicklung und Optimierung Programmsystem Maglap++, Vortrag und Poster zur Landtagsmittel-Projektekonzferenz der HSZG, 26. Juni 2019, Zittau

017, Chemnitz

4.3.6 Betreuung von Promovenden

Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz:

Dipl.-Ing. (FH) Düsterhaupt, Stephan: Komplexe und integrierte Methoden zur Entwicklung und Verlässlichkeitsbewertung berührungsfreier Magnetlager, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Dipl.-Ing. (FH) Vanek, Christian: Entwicklung von Methoden zur Bewertung und Optimierung von Fanglagern für magnetgelagerte Maschinen, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

4.3.7 Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden

Thema 1: **Machine Vision and Artificial Intelligence let's help the robot to understand the world**

Bearbeiter: Victor Manuel Reyes Hernandez, Raul David Dominguez Sanchez

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Auftraggeber: IPM

Thema 2: **Entwicklung einer funktionsintegrierten Hochgeschwindigkeits-Schwungmasse**

Bearbeiter: Sanaa Janati Idrissi

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Auftraggeber: IPM

Thema 3: **Energy-based fault detection and isolation in an industrial steamturbine system**

Bearbeiter: Jan Hendrik Smith

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

4.4 Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik

4.4.1 Überblick

Fachgebietsleiter: Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann
Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke

Mitarbeiter: Dipl.-Math. (FH) Tom Förster
Dipl.-Ing. Ulrike Gocht

Dipl.-Ing. Steffen Grusla
Dipl.-Ing. (FH) Fred Haaser
Dipl.-Ing. (FH) Ralf Pohl
Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo
Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider
Dipl.-Ing. (FH) Mareike Schneider
Dr.-Ing. Ulf Sénéchal
Dipl.-Ing. (FH) Stella Silbermann
Dr.-Ing. Sven Synowzik
Dipl.-Ing. (FH) Enrico Titze

Arbeitsfelder:

- Kraftwerkstechnik - Prozessdiagnose und Betriebsoptimierung
 - Betriebsführung von Kraftwerkssystemen, Dampferzeugern, Feuerungsanlagen und thermochemischen Konversionsanlagen
- Thermodynamische und betriebstechnische Bewertung von Kraftwerkskreisprozessen und komplexen wärmetechnischen Prozessen
 - Dynamisches Verhalten von energietechnischen Anlagen: Betriebstransienten, Störfallszenarien, Laständerungsverhalten, Mindestlast
- Komplikationsanalyse und Zustandsüberwachung für Feuerungssysteme
 - Verschlackung/Fouling von Dampferzeugerheizflächen
 - Wärmeübertragung
 - Schadstoffemission
 - Zünd- und Abbrandverhalten
 - Mahltrocknung in Ventilatormühlen
- Modellierung und Simulation
 - Stationäre und fluiddynamische Simulation energietechnischer Anlagen, Komponenten und Versuchsanlagen
 - Differentialgleichungssysteme und thermodynamische Gleichgewichtsrechnungen
 - Energie- und Stoffstrombilanzen
- Datenanalyse, Modellierung und Optimierung energieumwandelnder Prozesse
 - Statistische Methoden und Ausgleichsverfahren
 - Clusteranalyse
 - Künstliche Neuronale Netze
 - Genetische Algorithmen
- Bewertung des feuerungstechnologischen Einsatzverhaltens von Brennstoffen
 - Braun- und Steinkohlen
 - Biobrennstoffe (Energiebiomasse und biogene Nebenprodukte)
 - Ersatzbrennstoffe
- Hochtemperatur-Messverfahren
 - Überwachung und Betriebsführung von Dampferzeuger-Feuerungen mit radiometrischer Temperaturmessung
- Gasanalytik

- Messtechnische Erfassung und Analyse unterschiedlicher Prozess- und Abgase mit Kalt- und Heißgasanalytik

Applikationsfelder:

- Kraftwerkstechnik: komplexe energieumwandelnde und wärmetechnische Prozesse, Brennstoffe, Verschlackung, Betriebsführung
- Prozessanalyse und -simulation
- Hochtemperaturmesstechnik
- Gasanalytik

Applikationen:

- großtechnische Kraftwerksanlagen und Komponenten
- Blockheizkraftwerke (BHKW)
- thermochemische Konversionsanlagen
- Biomassetrocknungsanlage
- Power-to-X
- Energiespeicher
- Flexibilisierung
- klein- und mittelskalige Versuchsanlagen (Energieumwandlung und wärmetechnische Prozesse)
- Simulationstools für thermohydraulische und energieumwandelnde Prozesse

4.4.2 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

4.4.2.1 Ressourcenschonende Technologien zur stofflichen Nutzung heimischer Braunkohle – Teilprojekt Integration in den Energiemarkt (SYNKOPE-flex)

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. Ulrike Gocht, Dipl.-Math. (FH) Tom Förster, Dipl.-Ing. Steffen Grusla
Finanzierung:	Europäischer Fond für regionale Entwicklung (EFRE), Sächsische Aufbaubank (SAB)



Kooperationspartner:	TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie (TUBAF-ITC) TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (TUBAF-IWTT) Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Institut für Fluid-dynamik (HZDR)
-----------------------------	---

Laufzeit: 11/2016 – 10/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ziel des Gesamtvorhabens ist die Entwicklung einer Braunkohlen-Veredlungstechnologie zu kurzkettingen Paraffinen, die gefragte Ausgangsprodukte in der chemischen Industrie sind.

Das Teilprojekt der HSZG untersucht vor diesem Hintergrund Szenarien zur Bereitstellung der dafür notwendigen Energie. Der Bedarf soll dabei ausschließlich aus CO₂-armen Quellen gedeckt werden, z. B. durch Solarthermie und Windenergie. Wesentliche Randbedingung des Energieversorgungskonzeptes ist die stabile und sichere Versorgung des Prozesses. Eine möglichst autarke und netzstabilisierende Arbeitsweise der Energieversorgung des Standortes wird angestrebt. Das schließt auch die Einbeziehung ausreichender Speicherkapazitäten ein. In einzelnen Arbeitspunkten des Projektes werden dazu ausgewählte Verfahren zur Modellierung sowie zur energetischen und ökologischen Bewertung und Optimierung der Prozesse ausgewählt, weiterentwickelt und auf den Braunkohleveredlungsprozess angewandt.

4.4.2.2 *Schnelle Berechnung realer Stoffeigenschaften im Programmsystem AC² nach den neuesten Standards der IAPWS (SBRS – AC²)*

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Joachim Kretzschmar
(Fakultät Maschinenwesen)

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Ulrike Gocht, Dipl.-Inf. Jana Hänel

Finanzierung: BMWi



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Kooperationspartner: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH

Laufzeit: 09/2017 – 08/2020

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Trotz der geplanten Einstellung der kerntechnischen Stromerzeugung zum Jahr 2022 ist es aus deutschen Sicherheitsinteressen notwendig, dass deutschen Behörden auch in Zukunft nationale Kompetenzen auf dem Stand von Wissenschaft und Technik in diesem Bereich zur Verfügung stehen. Für die Simulation der thermohydraulischen Vorgänge in den Kühlkreisläufen im Sicherheitsbehälter von Kernkraftwerken werden heute vor allem Systemcodes genutzt. Für die realitätsnahe Simulation komplexer Prozesse ist unter anderem die Verwendung hochgenauer und gleichzeitig sehr schneller Algorithmen für die Berechnung der thermodynamischen Eigenschaften und Transportgrößen der verwendeten Arbeitsfluide erforderlich.

Ziel des beantragten Vorhabens ist die Weiterentwicklung des Programms ATHLET im Programmsystem AC² durch die Implementierung neuer Stoffwert-Berechnungsalgorithmen für Wasser und Wasserdampf nach den derzeit genauesten Standards der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) und dem Spline-Basierten Table Look-Up Verfahren (SBTL). Dadurch wird die Genauigkeit der mit dem Programm ATHLET berechneten Simulationsergebnisse im gesamten Anwendungsbereich erhöht. Zudem wird der Anwendungsbereich auf Prozesse mit Drücken unter 0,1 bar erweitert.

4.4.2.3 *Methodische Untersuchungen zum Minderungspotenzial der gasförmigen Quecksilberemission von Braunkohlekraftwerken durch optimierte Betriebsführung*

Projektleitung: Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Steffen Grusla

Finanzierung: Landtagsmittel (SMWK)

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.



Laufzeit: 04/2017 – 12/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

In den kommenden Jahren müssen die Betreiber von Kohlekraftwerken auf verschärfte Grenzwerte für die Quecksilberemission reagieren und Lösungen finden, die wirtschaftlich vertretbar sind. In der Hochtemperaturzone der Feuerung wird alles Quecksilber (Hg) gasförmig als elementares Hg freigesetzt. Entscheidend ist, wieviel elementares Hg im Rauchgastrakt bis zu den Abscheideeinrichtungen (Filter, Wäscher) oxydiert werden kann. Nur dieses ionische Hg kann in der Rauchgasreinigung ausgeschleust werden. Während in Steinkohlekraftwerken der Katalysator die Oxidation unterstützt, gehört diese Komponente in Braunkohlekraftwerken nicht zur Ausrüstung. Das Projekt zeigt für die spezifischen Brennstoffqualitäten der Niederlausitzer Braunkohle Möglichkeiten auf, wie durch Betriebsführung, Brennstoffeigenschaften und Dosierung von Zusatzstoffen eine wirtschaftliche Lösung gefunden werden kann.

4.4.2.4 *Emissionsminderung in Braunkohle-Kraftwerken*

Projektleitung: Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Steffen Grusla, Dipl.-Math. (FH) Tom Förster

Finanzierung: CombTec GmbH

Kooperationspartner: Lausitz Energie Kraftwerke AG

Laufzeit: 01/2019 – 08/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Die deutschen Braunkohlekraftwerke werden noch für Jahre benötigt, um die erforderliche gesicherte Erzeugungsleistung im Stromnetz bei zunehmendem Anteil der regenerativen Stromerzeuger mit stark volatiler Einspeisung zu gewährleisten. Es ergibt sich die Notwendigkeit, die Anlagen immer flexibler, also in einem weiten Lastbereich und mit hohen Laständerungsgeschwindigkeiten, zu betreiben. Die angekündigte Absenkung des Grenzwertes für die NO_x-Emission bedeutet für die Betriebsoptimierung und lastflexible automatische Betriebsführung anspruchsvolle Aufgaben, um die Grenzwerte für NO_x und CO wirtschaftlich vertretbar einzuhalten. Für ausgewählte Kraftwerksstandorte werden methodische Untersuchungen zum NO_x-Minderungspotenzial durchgeführt.

4.4.2.5 Untersuchungen zur betriebstechnischen Beeinflussbarkeit der Quecksilberspezies in Braunkohlestaubfeuerungen

Projektleitung: Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Steffen Grusla, Dipl.-Math. (FH) Tom Förster, Dipl.-Ing. Ulrike Gocht

Finanzierung: Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG)



Kooperationspartner VPC GmbH

Laufzeit: 04/2017 – 12/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Kohle- resp. Mineralzusammensetzung, Temperatur entlang des Reaktionsweges sowie Verweilzeit bestimmen neben der Anwesenheit von Additiven die Umwandlung des elementaren Quecksilbers in ionisches Quecksilber, das in Wäschern abscheidbar ist. Untersucht werden verschiedene Kohlequalitäten und Additive hinsichtlich ihrer Wirksamkeit.

4.4.2.6 Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie (AUFWERTEN)

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) R. Schneider

Finanzierung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit: 04/2014 – 07/2019

Kooperationspartner Brandenburgische Technische Universität Cottbus Senftenberg (BTU), Universität Bayreuth, Technische Universität München, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Biomasse Schraden e.V., Landwirtschaftsbetrieb Thomas Domin, Amt Kleine Elster (Niederlausitz), Universität Stuttgart, Büro für angewandte Landschaftsökologie und Szenarienanalyse, Naturschutzbund NABU

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Energieholz stellt in Mitteleuropa ein Hauptprodukt agroforstlicher Nutzungsformen dar. Daher sind Untersuchungen, die sich mit effizienten energetischen Verwertungsmöglichkeiten und dezentralen Holzenergieversorgungsstrukturen befassen, von großer Relevanz für die mit Agroforstwirtschaft in Verbindung zu bringende wirtschaftliche Wertschöpfung und folglich für die Umsetzung dieser Landnutzungsform. Außerdem

sind Informationen zum Energieholzbedarf der Untersuchungsregion und hieran anknüpfend zum Bedarf an Konversionsanlagen in Abhängigkeit von der Art der Anlage und vom Effizienzgrad von großer Bedeutung für Planungen bezüglich des Aufbaus kommunaler Energieversorgungsstrukturen, die Agroforstwirtschaft als wichtigen Pfeiler einbeziehen.

Die HSZG als Unterauftragnehmer des Verbundpartners Biomasse Schraden e.V. bearbeitet folgende Arbeitsaufgaben:

- IST-Analyse der im Modellgebiet bestehenden Konversionsanlagen zur energetischen Verwertung von Energieholz
- Räumlich differenzierte Analyse des im Modellgebiet bestehenden Bedarfs an Konversionsanlagen für Energieholz unter Berücksichtigung des Agroforst-Flächenpotenzials
- Ermittlung des im Modellgebiet sowohl aktuell als auch potenziell existierenden Holzbedarfs für die energetische Verwertung
- Erarbeitung einer Handlungsstrategie für kommunale Verwaltungseinheiten zur Ermittlung des Bedarfs an Konversionsanlagen in Abhängigkeit des regionalen Energieholzbereitstellungspotenzials.

4.4.2.7 Aktualisierung der Daten des BVT-Merkblatts *Energy Efficiency*

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Mitarbeiter:	Prof. Dr.-Ing. Jens Meinert, Prof. Dr. Tino Schütte, Dipl.-Ing. (FH) Ralf Pohl
Finanzierung:	Dienstleistungsprojekt als Unterauftragnehmer der Großmann Ingenieur Consult GmbH (GICON). Auftraggeber ist das Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFOPLAN), FKZ 3715 53 312 3
Laufzeit:	01/2016 – 09/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Innerhalb des Projektes soll das BVT- Merkblatt „Energy Efficiency“ (2008) überarbeitet und der aktuelle Stand der Technik bei industrieller Energieeffizienz (Maßnahmen sowie Daten/Kennzahlen) dokumentiert werden. Dies erfolgt nach den Vorgaben der Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen (IE-RL) und wird dem EIPPC- Büro in Sevilla übermittelt. Folgende Kapitel des BVT- Merkblattes Querschnittstechnologien werden von der HSZG bearbeitet:

- Kapitel 2.16 und 4.2.2.5, Benchmarking
- Kapitel 3.1 und 4.3.1, Feuerung
- Kapitel 3.2 und 4.3.2, Dampfsysteme
- Kapitel 3.3 und 4.3.3, Wärmerückgewinnung und Kühlung

2016 wurde die Überarbeitung des Textteils des Kapitels Benchmarking erfolgreich abgeschlossen sowie mit der Überarbeitung der übrigen von der HSZG zu bearbeitenden Kapitel begonnen.

4.4.2.8 *Thermochemische und fluiddynamische Optimierung einer Biomasse-Festbettvergasung mit BHKW (TCV III)*

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
------------------------	---------------------------------------

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Steffen Grusla, Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider, Dipl.-Ing. (FH) Ralf Pohl, Dr.-Ing. Ulf Sénéchal, Dipl.-Ing. (FH) Enrico Titze, M.Eng. Stella Silbermann, Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo, Dr.-Ing. Sven Synowzik, Dipl.-Ing. (FH) Fred Haaser

Finanzierung: Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Laufzeit: 01/2016 – 04/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Gesamtziel des Vorhabens war es, ausgehend von einer bestehenden Versuchsanlage zur Kraft-Wärme-Kopplung – mit Biomasse als Energierohstoff und thermochemischer Vergasung als zentralem Verfahrensschritt – die thermochemischen und fluiddynamischen Probleme bei der Flexibilisierung des Anlagenbetriebs zu lösen und gleichzeitig die Umweltverträglichkeit und den Brennstoffausnutzungsgrad deutlich zu verbessern. Denn die grundlegende Voraussetzung für die zukünftig verstärkte Integration von Blockheizkraftwerken (BHKW) mit regenerativen Brennstoffen in lokale Energiesysteme ist deren energetisch und ökonomisch effizienter Betrieb. Dies bedingt eine Erhöhung des Brennstoffausnutzungsgrades (Minimierung energetischer Verluste), eine flexible Anpassung der lieferbaren Energien nach Art (Strom, Wärme) und Menge sowie Leistung an vorgegebene Bedarfe und darüber hinaus umweltverträgliche Emissionen.

Im Rahmen des Projektes wurde die Versuchsanlage inkl. der Messtechnik durch eine fortwährende Systemanalyse stetig weiterentwickelt, sodass vorhandene Schwachstellen überarbeitet sowie zusätzliche Möglichkeiten zur Systembewertung aufgebaut werden konnten. In diesem Zusammenhang konnte zur berührungslosen Volumengstrombestimmung des Produktgases ein Laser-Doppler-Anemometer erfolgreich eingesetzt werden. Darüber hinaus steht nun zur Bestimmung der Motorabgaszusammensetzung zusätzlich eine Heißgasanalytik zur Verfügung, die es erlaubt, kondensierbare Stoffe im Abgas wie z.B. Formaldehyd, Ammoniak oder Benzol zu erfassen. Weiterhin wurden diverse Parametervariationen am Biomasse-Vergasungs-BHKW durchgeführt und die Prozessauswirkungen dokumentiert. Neben den Brennstoffvariationen hin zum Einsatz von Rest- und Abfallstoffen, wurde katalytisches Material zur Beeinflussung der thermochemischen Reaktionen hinzugegeben, die Betriebsparameter des Drehrotes im Reformers variiert und eine zusätzliche Vorwärmstrecke für das Vergasungsmittel Luft konzipiert, die es zukünftig erlauben soll, das Vergasungsmittel mit einer definierten Temperatur dem Reformers zuzuführen.

In Bezug auf die Speichertechnologien wurden thermische Speichersysteme für ihren Einsatz im Biomasse-Vergasungs-BHKW ausgelegt und experimentell validiert. Vorzugsweise sind hierzu Latentwärme-Speichersysteme betrachtet worden. Bezüglich der Vorwärmstrecke für das Vergasungsmittel wurde darüber hinaus die Integration eines sensiblen Wärmespeichers auf Basis keramischen Materials vorbereitet. Neben den thermischen Speichern sollte außerdem ein Produktgasspeicher als stofflicher Speicher integriert werden, der die Gasproduktion über den Vergaser und die Produkt-

gasnutzung des Gasmotors zeitlich entkoppelt. Ausgehend hiervon wurde ein Pulsationsdämpfer entworfen, der die stark schwankende Quantität und Qualität des Produktgasstromes ausgleichen soll, um die Umweltverträglichkeit der Motorabgas-emissionen zu verbessern. In diesem Zusammenhang wurden Emissionsminderungsmaßnahmen (z.B. Abgasrezirkulation) getestet, die im Vergleich mit den ursprünglichen Emissionen zu einer signifikanten Emissionsreduzierung führten. Zur weiteren Senkung der Emissionen wurde eine Messstrecke konzipiert, die zukünftig die Kombination verschiedener sekundärer Emissionsminderungsmaßnahmen erlaubt.

Im Analytiklabor konnten zur Bewertung der anfallenden festen Reststoffe stark vereinfachte Analysemethoden abgeleitet werden. Durch die im Rahmen von umfangreichen Messreihen festgestellten Abhängigkeiten ist es nun möglich, den Aschegehalt, den Gehalt an fixem Kohlenstoff, flüchtigen Bestandteilen und des Gesamtkohlenstoffes sowie den Brennwert nur über die relativ einfache Analyse des Glühverlustes zu ermitteln.

In Bezug auf die Stoff- und Energiestrombilanzierung wurden verschiedene Messfahrten ausgewertet und dies für den Bericht am Beispiel einer Messfahrt dargestellt. Hierbei wurde u.a. ein Kaltgaswirkungsgrad von ca. 70 % und ein Brennstoffausnutzungsgrad von 71 % ermittelt. Außerdem erfolgten Messfahrten zur Quantifizierung der Oberflächenwärmeverluste sowohl von Anlagenkomponenten als auch der Gesamtanlage.

Zur Simulation der Vorgänge im Reformier wurde ein räumlich eindimensionales Modell in der Programmiersprache Modelica entwickelt und unter Nutzung von OpenModelica implementiert. Parallel zu der detaillierten Simulation der Prozesse im Reformier, wurde ein Modell der gesamten Anlage inklusive der angeschlossenen Wärmequellen und -senken erstellt und parametrisiert sowie verschiedene CFD-Simulationen ausgewählter Komponenten erstellt, um Erkenntnisse zu Detailprozessen der Strömung und des Energietransportes zu erhalten.

4.4.2.9 *Hochtemperaturkonversion von Rest- und Abfallstoffen für Energiedienstleistungen (HORA)*

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. Steffen Grusla, Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider, Dipl.-Ing. (FH) Ralf Pohl, Dipl.-Ing. (FH) Enrico Titze, Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo
Finanzierung:	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Laufzeit: 05/2019 – 07/2021

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Voraussetzung für die zukünftig verstärkte Integration von Blockheizkraftwerken (BHKW) mit regenerativen Brennstoffen in lokale Energiesysteme ist deren energetisch und ökonomisch effizienter Betrieb. Dies bedingt eine Erhöhung des Brennstoffausnutzungsgrades (Minimierung energetischer Verluste), eine flexible Anpassung

der lieferbaren Energien nach Art (Strom, Wärme), Menge sowie Leistung an die von den Netzen vorgegebenen Bedarfe und darüber hinaus eine umweltverträgliche Emissionskontrolle und Reststoffaufbereitung.

Grundvoraussetzung zum Erreichen dieser Ziele ist die genaue Analyse der Stoff- und Energieströme im System durch eine zuverlässige messtechnische Erfassung von Bilanzgrößen und eine zielgerichtete Datenaufbereitung. Dies schließt die Messungen integraler Geschwindigkeits- und Temperaturwerte und deren Profile in Strömungskämen ebenso ein, wie die stoffliche Analyse von Brennstoff-, Luft-, Brenngas- und Rauchgasströmen. Diese Daten bilden die Basis für die Entwicklung anwendungsorientierter Simulationsalgorithmen des Betriebsverhaltens der Anlage und deren messtechnischer Validierung. Auf der Grundlage der Simulationsergebnisse kann eine zeitlich und örtlich angepasste Optimierung der thermochemischen Energieumwandlungsprozesse im Vergaser bzw. der thermomechanischen Umwandlung (Verbrennung und Expansion) im Gasmotor durch zu entwickelnde regelungstechnische Komponenten erfolgen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Phasen des An- und Abfahrens der Anlage sowie der Teillastbetrieb. Thermische Energieverlustströme sollen detektiert und quantifiziert werden, um Konzepte zur effizienten anlageninternen Nutzung der Abwärme zu erarbeiten und umzusetzen.

Ein wichtiges Teilziel besteht in der Entwicklung maßgeschneiderter thermischer Speicherkomponenten (Wärmespeicher) für unterschiedliche Einsatzszenarien im System. Dazu zählt neben der bereits erwähnten Abwärmenutzung insbesondere das Speichern von thermodynamisch bedingt entstehender, jedoch momentan nicht benötigter Wärme unterschiedlicher Temperaturniveaus aus den Energieumwandlungsprozessen (Abgas, Kühlwasser) bei stromgeführter Betriebsweise und deren zeitversetzter, exergetisch effizienter Nutzung innerhalb (Brennstofftrocknung, thermische Abgasnachbehandlung, Warmhaltebetrieb) oder außerhalb der Anlage (Heiz-, Prozesswärme).

Gerade zur anlageninternen Abwärmenutzung während der Startphase derartiger Anlagen bieten sich Potenziale. Mit bevorrateter Wärme aus vorangegangenen Fahrzyklen lassen sich Anlagenkomponenten als auch das Vergasungsmittel vorwärmen. Dies hat einen signifikant beschleunigten Anfahrprozess zur Folge, wobei weniger minderwertiges Produktgas anfällt und die Anlageneffizienz gesteigert würde. Diesbezüglich sollen Konzepte zur Einbindung von Wärmespeichertechnologien in die Biomasse-Vergasungsanlage erarbeitet, umgesetzt und validiert werden.

Die beim Anlagenbetrieb entstehenden Umweltbelastungen v.a. hinsichtlich der Motorabgasemissionen sollen weiter reduziert werden. So sollen geeignete Primär- und Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung miteinander kombiniert eingesetzt werden, um die im Motorabgas vorhandenen Schadstoffemissionen (z.B. Stickstoffoxide) noch effektiver als bisher möglich zu mindern.

4.4.2.10 FH-Impuls 2016: LaNDER³ - Impulsprojekt 1: Rohstoffe, Recycling und Energiebereitstellung – Teilprojekt FSP3: Energetische Verwertung von NFK- Reststoffen

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Fred Haaser
Finanzierung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit: 08/2017 – 07/2019

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ziel des FSP3 sind die Untersuchung zur energetischen Verwertung von NFK- Reststoffen, die aufgrund des dafür notwendigen Aufwandes keiner stofflichen Nutzung mehr zugeführt werden können, sowie die Konzipierung einer dafür geeigneten Anlage. Aufgrund der hohen gesetzlichen Anforderungen zum Emissionsschutz und des daraus resultierenden hohen technischen Aufwandes sind kleine Anlagen zur energetischen Verwertung von Kunststoffen gemäß dem Leistungsbedarf für KMU derzeit noch nicht Stand der Technik.

FSP3 gliedert sich in zwei Arbeitspakete. Im Arbeitspunkt „Analyse der NFK- Verarbeitungsprozesse und deren Abfälle“ sollen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern die typischen Prozessschritte mit anfallenden NFK- Reststoffen analysiert und in einer Prozesskette mit den zugehörigen Stoff- und Energieströmen dargestellt werden. Neben der Ermittlung von Kompositions- und Strukturmerkmalen sollen die NFK- Reststoffe laboranalytisch hinsichtlich ihrer Eignung zur thermischen Verwertung untersucht und klassifiziert werden. (Abb. 4-21)



Abb. 4-21 untersuchte Materialvariationen

In Kombination mit den experimentellen Untersuchungen werden mittels Berechnungen und Simulationen Erkenntnisse zu Anforderungen an die Gestaltung und den Betrieb eines industriellen thermochemischen Energienutzungsprozesses gewonnen.

Aus diesen ermittelten Werten ist eine der untersuchten Materialproben ausgewählt worden. Durch thermischer Umsetzung einer größeren Menge dieses Materials sind detaillierte Information zu seinem kompletten Verbrennungsverhalten entstanden. Dies erfolgte in einer 100 kW Wirbelschichtversuchsanlage. (Abb. 4-22)

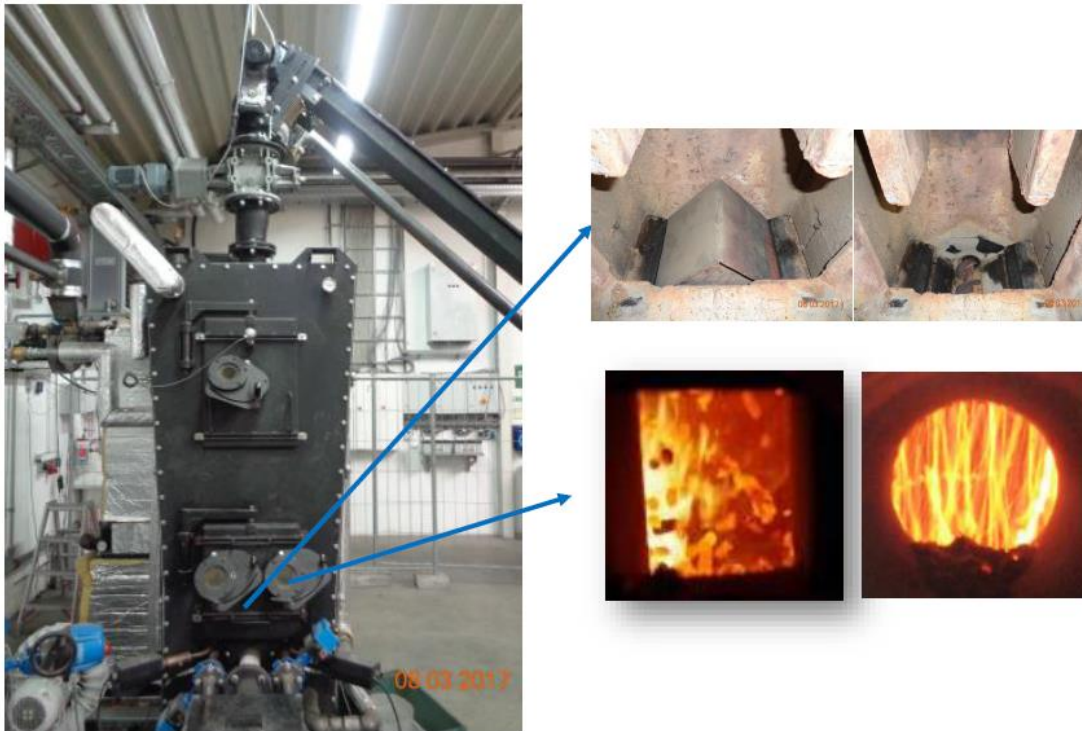


Abb. 4-22 Wirbelschichtversuchsanlage

Im Arbeitspunkt „Erstellung von Konzepten zur thermischen Abfallbehandlung“ werden die für die Reststoffe in Frage kommenden Behandlungsmethoden mit Fokus auf mehrstufige Verfahren recherchiert und zu geeigneten verfahrenstechnischen Konzepten zusammengestellt. Neben der Zusammenstellung und Grobauslegung der erforderlichen Komponenten erfolgt die Auswahl eines geeigneten Regelungs- und Steuerungskonzeptes. Für die am geeignetsten erscheinenden Konzepte werden Schaltpläne und Aufstellungsvarianten ausgearbeitet und Kostenschätzungen durchgeführt. Zur Berücksichtigung der energetischen Nutzung (Temperaturniveau, Leistung, etc.) wird sowohl mit Projektpartnern der NFK-Produktion als auch den potentiellen Energieabnehmern eng zusammengearbeitet.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse und den definierten technischen Anforderungen wird es möglich sein, gemeinsam mit interessierten Wirtschaftspartnern den Weg über eine Technikumsanlage und Demonstrationsanlage hin zu einer Anlage für den kommerziellen Betrieb genau zu beschreiben. Der FSP3 ergibt im Falle ermutigender Ergebnisse und Lösungsansätze den fachlichen Ausgangspunkt für ein zu diesem Zeitpunkt zu gestaltendes und zu startendes Impulsprojekt IP-3 (Fertigung von Versuchständen und eines Prototyps).

4.4.3 Versuchsanlagen

4.4.3.1 Holzvergaser BHKW

Am Standort Zittau in Halle Z VIIb 5 wurde ein Holzvergaser-Blockheizkraftwerk errichtet und im Jahr 2013 feierlich eingeweiht. Es handelt sich um eine kommerziell verfügbare Anlage, die für nähere wissenschaftliche Untersuchungen mit zusätzlicher Messtechnik ausgestattet ist. Das Brenngas für den BHKW-Motor wird mit Hilfe von thermochemischer Gaserzeugung aus holzartiger Biomasse im vorgeschalteten Reformier aus Holzhackschnitzeln bereitgestellt.

Zu dem Versuchsstand gehören:

- Holzvergaser-Anlage mit Wärmeübertragern (10 kWth)
- Motor-BHKW (30 kWel, 70 kWth)
- stationäre Gasanalysetechnik
- sensibler Wärmespeicher (Speichervolumen: 2 m³)
- übergeordnete Anlagenleittechnik



Abb. 4-23 Übersicht des Holzgas-Blockheizkraftwerks

4.4.3.2 Holzhackschnitzel-Trocknungsanlage

Für gezielte Untersuchungen der Effizienz der Biomassetrocknung und des Einflusses des Wassergehalts auf den Vergasungsprozess in der Versuchsanlage Holzvergaser-BHKW wurde in Halle Z VIIb 7 eine Holzhackschnitzel-Trocknungsanlage errichtet. Sie erlaubt eine vollautomatisierte kontinuierliche Trocknung von Holzhackschnitzeln (HHS). Zu dem Versuchsstand gehören:

- Schubbodencontainer für Holzhackschnitzel (20 srm)
- Biomassetrocknungsanlage
- Wärmerückgewinnungseinheit



Abb. 4-24 Trocknungsanlage für Holzhackschnitzel

4.4.3.3 Testfeld für Wärmespeicher

Im Zittauer Kraftwerkslabor, Standort Friedensstraße befindet sich eine Versuchsanlage zum Test verschiedener thermischer Speicherkonzepte und -materialien. In diesem Zusammenhang können detaillierte Untersuchungen von Wärme- und Kältespeichern hinsichtlich ihres dynamischen Verhaltens, ihrer Leistungsfähigkeit sowie Zyklenstabilität durchgeführt werden. Die derzeitige Ausstattung umfasst:

- Temperiergerät
- Kältespeicher
- Latentwärmespeicher (Paraffin)
- Latentwärmespeicher (Natrium-Acetat)



Abb. 4-25 Testfeld für Wärmespeicher

4.4.3.4 Versuchsstand Trocknungskinetik von Schüttgütern

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes wurde im Technikum ein kleintechnischer Trocknungsversuchsstand konzipiert und errichtet.

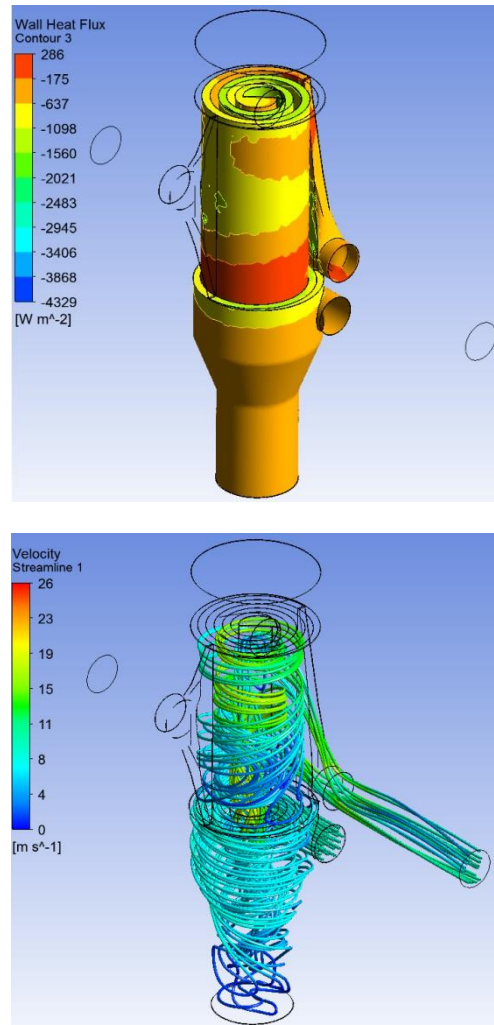
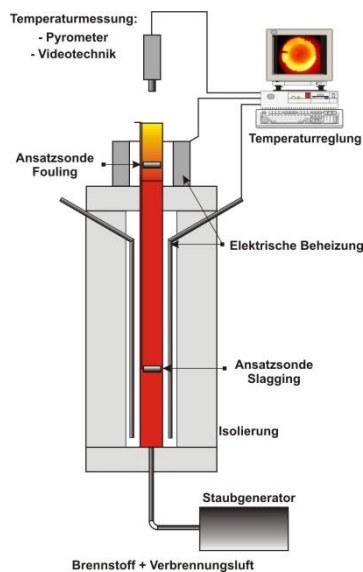


Abb. 4-26 kleintechnischer Trocknungsversuchsstand

Ziel ist es, anhand frei wählbarer Trocknungsparameter wie Temperatur und Volumenstrom der Trocknungsluft die Trocknungsgeschwindigkeit von Schüttgütern zu ermitteln.

Durch eine messtechnische Überwachung und Datenaufzeichnung können parallel dazu Effizienzkennziffern ermittelt und in großtechnische Trocknungsanlagen übertragen werden. Des Weiteren beschäftigt sich die Versuchsanlage mit dem Thema der Wärmerückgewinnung bei Batch-Trocknungsanlagen. Aufgrund der speziellen Anforderungen kommt hier zukünftig ein eigens entwickelter Spiralwärmeübertrager zum Einsatz, der sich durch gute Wärmeübertragungseigenschaften wie auch eine Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen auszeichnet.

4.4.3.5 Mikroverbrennungsreaktor MR 1500 (bis 1500 °C)



Technische Daten:

Abmessungen (Höhen ab Brenneraustritt):

• Innendurchmesser:	30 mm
• Höhe Brennkammer:	750 mm
• Höhe Nachbrennkammer:	550 mm
• Gesamthöhe:	1300 mm

• Höhe Probekörper Slagging:	350 mm
• Höhe Probekörper Fouling:	1050 mm

Thermische Leistung:	0,5 - 1 kW
Leerrohrgeschwindigkeit:	1,0 - 1,5 m/s

Aufenthaltszeit bis Probe Slagging:	~ 0,30 s
Aufenthaltszeit bis Probe Fouling:	~ 0,90 s
Aufenthaltszeit bis Austritt Reaktor:	~ 1,20 s

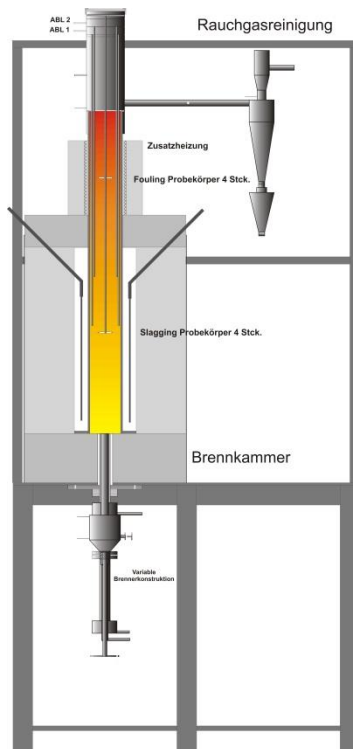
Verbrennungstemperatur regelbar:	800 – 1500 °C
Temperatur Nachbrennkammer (Probekörper) regelbar:	800 – 1100 °C

Abb. 4-27 Mikroverbrennungsreaktor MR 1500

- Reaktionsphasen: Zündung, Fluchtigenverbrennung, Koksabbrand, momentane Reaktionsgeschwindigkeit und Ausbrandzeit in Abhängigkeit von Prozessparametern der Feuerung
- Verschlackungs- und Verschmutzungsneigung von Brennstoffaschen
 - Kohle-Ranking (bezogen auf bekannte Vergleichskohle)
 - Abhängigkeit der Ansatzbildung von Prozessparametern

4.4.3.6 Mikro-Brennkammer MB 1500 (bis 1500 °C)

- Beurteilung des Verbrennungsverhaltens von Kohlen und anderen festen Brennstoffen unter konstanten und weitgehend prozessadäquaten Reaktionsbedingungen einer Staubfeuerung
- belastbare Aussagen zu nachfolgenden Schwerpunkten:
 - Schadstoffemissionen (brennstoffbedingt und verfahrenstechnisch beeinflusst)
 - Zünd- und Abbrandverhalten
 - Verschlackungs- und Verschmutzungsverhalten
 - Technologisch optimierte Betriebsparameter (Brennerkonstruktion und –beaufschlagung, Luftverhältnis, Anteil Rauchgasrücksaugung, Luftaufteilung etc.)

**Technische Daten:****Abmessungen (Höhen ab Brenneraustritt):**

• Innendurchmesser:	124 mm
• Höhe Brennkammer:	750 mm
• Höhe Nachbrennkammer:	570 mm
• Höhe Brennkammer bis Querzug:	1320 mm
• Höhe ABL 1:	435 mm
• Höhe ABL 2:	630 mm
• Höhe Slagging Probekörper	400 mm
• Höhe Fouling Probekörper :	1000 mm
• Gesamthöhe:	1720 mm

Thermische Leistung:

5 - 15 kW

Leerrohrgeschwindigkeit:

~ 1,0 m/s

Gasverweilzeit:

~ 1,50 s

Aufenthaltszeit bis Probe Slagging

~ 0,30 s

Aufenthaltszeit bis Probe Fouling

~ 1,00 s

Verbrennungstemperatur regelbar:

800 – 1500 °C

Temperatur Nachbrennkammer

(Probekörper) regelbar:

800 – 1100 °C

Abb. 4-28 Mikrobrennkammer MB 1500

4.4.3.7 Modell-Zyklonfeuerung ZBK 2

- Verbrennung von Grobkorn bzw. Granulat ohne Aufmahlung
- optimierte Zündung
- Schadstoffbildung und Einbindung/Reduktion
- Brennstoffspezifisches Feuerungsverhalten in Abhängigkeit der Betriebsführung

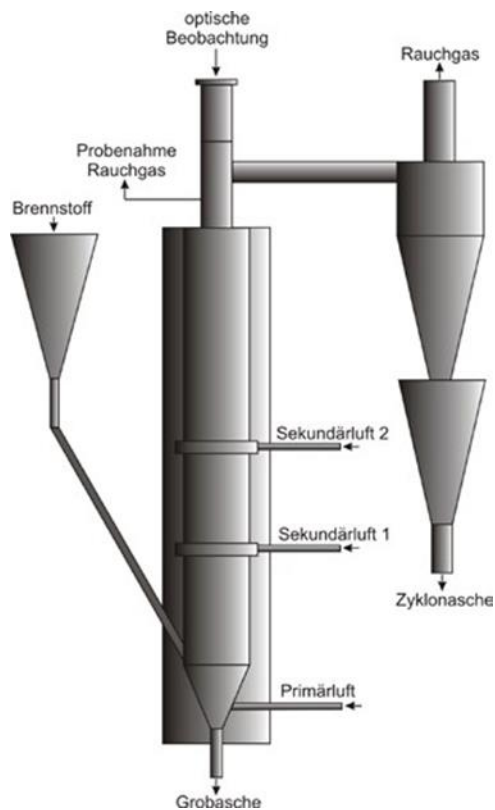


Abb. 4-29 Modell-Zyklonfeuerung ZBK 2

4.4.3.8 Rauchgasreinigungsstrecke

- Untersuchungen zur Quecksilberfreisetzung und -umwandlung bei der Braunkohlenstaubverbrennung ohne und mit Aktivkoks dosierung in den Rauchgaskanal unter konstanten und weitgehend prozessadäquaten Reaktionsbedingungen
- Untersuchungen zur Effektivität der Quecksilbereinbindung verschiedener Adsorbentien bei Variation von definierten Reaktionsbedingungen

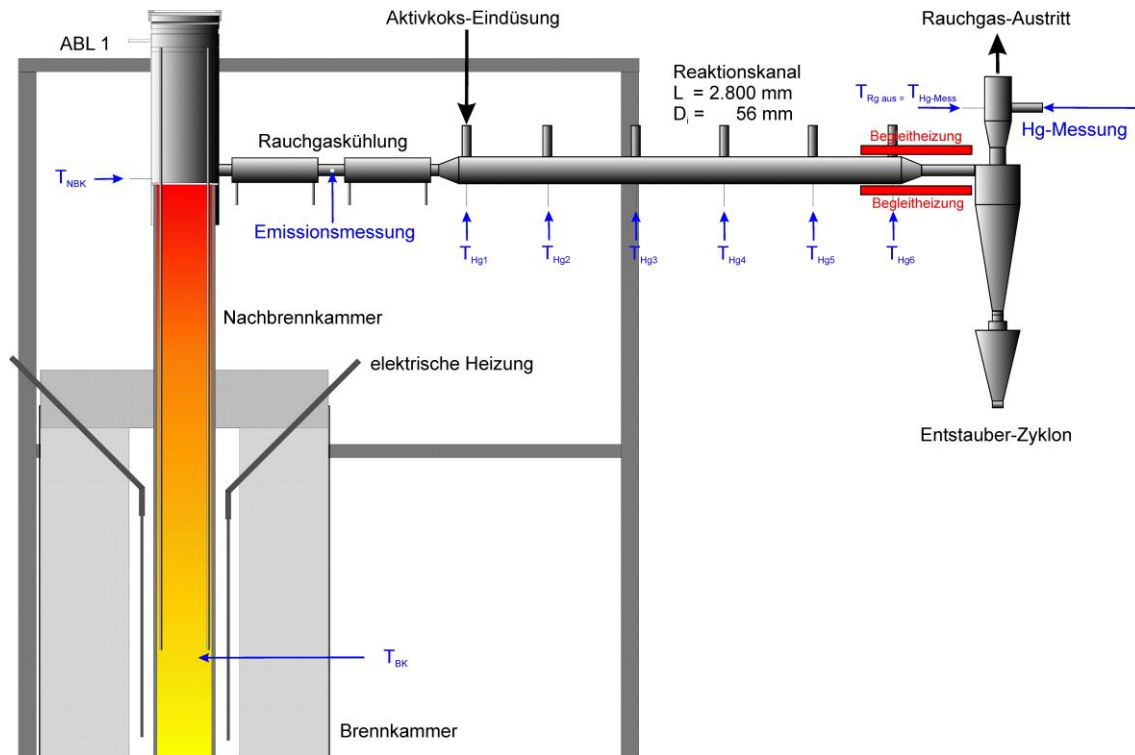


Abb. 4-30 Rauchgasreinigungsstrecke - nachgeschaltet der Mikrobrennkammer MB 1500

4.4.3.9 Messtechnische Ausstattung (Verbrennungstechnik)

- Messwerterfassungs- und Auswertesystem
- schnelles Messwerterfassungssystem für instationäre Vorgänge (Abbrandkinetik)
- Rauchgasanalysesystem
- Video-Überwachung von Flammenbildern
- Flammenpyrometrie
- optisches Messsystem zur Partikeltemperaturbestimmung
- optische Diagnose von Flammeneigenschaften (bildgebende Feuerraumsonde)
- konventionelle Feuerraumsonden (Wärmestromdichte, Absaugthermoelement)
- ausgewählte Standard-Kohleprüfverfahren

4.4.4 Publikationen

4.4.4.1 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Schriftenreihen und auf On-line-Plattformen

Mitteldeutscher Rundfunk: MDR-Ländermagazin – Mit Holzgas: Strom und Wärme selbst produzieren. <https://www.mdr.de/wissen/videos/Holzgas-Heizsystem100.html>, 08.01.2019

Schneider, R., Zschunke, T.: Brennstoffvariation bei der kleintechnischen Holzvergasung, In: Thrän, D., Pfeiffer, D. (Hrsg.): Bioenergie: Der X-Factor!, Tagungsband zur 8. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung, ISBN 978-3-946629-27-6, Leipzig, September 2019

4.4.4.2 Proceedings und Forschungsberichte

Schneider, R., Titze, E., Sénéchal, U., Salomo, B., Synowzik, S., Grusla, S., Schneider, M., Pohl, R., Silbermann, S., Haaser, F., Meinert, J., Zschunke, T.: Abschlussbericht zum SAB-Projekt Nr. 100231464 (THERMOCHEMISCHES VERSUCHSFELD (TCV) III, Thermochemische und fluiddynamische Optimierung einer Biomasse-Festbettvergasung mit BHKW), 30.10.2019

Schneider, R., Grusla, S.: Brennstoffvariation am Holzvergaser-BHKW des TCV, Forschungsbericht, Zittau, April 2019

4.4.4.3 Vorträge und Präsentationen

Schneider, R.: Experimentelle Mitverwertung von Reststoffen im Thermochemischen Versuchsfeld, Vortrag zur Transferversammlung „Energieforschung vor Ort“ der HSZG, Zittau, 21.06.2019

Schneider, R.: Brennstoffvariation bei der kleintechnischen Holzvergasung, Vortrag zur 8. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung, Leipzig, 18.09.2019

Gocht, U., Förster, T., Zschunke, T.: Ressourcenschonende Technologien zur stofflichen Nutzung heimischer Braunkohle – Synergetische Kopplung von Energieträgern für effiziente Prozesse "SYNKOPE-flex", Vortrag zur OLES 2019, Zittau, 7./8.11.2019

4.4.5 Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden

Thema 1: **Integration und Einsatzbewertung einer Messstrecke zur Minimierung von Motorabgasemissionen**

Bearbeiter: Soufiane Anwar

Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider

Auftraggeber: Hochschule Zittau/Görlitz

Thema 2: **Umweltrechtliche und verfahrenstechnische Einflussgrößen auf Biomasse-Heizkraftwerke durch zusätzlichen Einsatz von Altholz**

Bearbeiter: Philipp Kutzner

Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo

Auftraggeber: SHN GmbH

Thema 3: **Leitfaden für die Errichtung und den Betrieb einer kleinen Windkraftanlage in besiedelten Gebieten**

Bearbeiter: Khalid Mouloudi

Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo

Auftraggeber: Hochschule Zittau/Görlitz

4.5 Messen und wissenschaftliche Veranstaltungen

Datum	Thema/Bezeichnung	Veranstalter
10.01.2019	Wirtschaft trifft Wissenschaft	IHK Dresden
19.-20.03.2019	Speichersymposium	DLR Stuttgart

Datum	Thema/Bezeichnung	Veranstalter
21.-22.03.2019	Fachtagung Nutzung nachwachsender Rohstoffe	TU Dresden, TU Freiberg, TLLR, ATB Potsdam, Hochschule Zittau/Görlitz
01.-05.04.2019	Hannovermesse	Deutsche Messe AG
07.-08.05.2019	Jahrestagung Kerntechnik	KernD, KTG
05.06.2019	Jubiläumsveranstaltung der HSZG "50 Jahre IHZ)	HSZG
12.06.-04.07.2019	Wanderausstellung Strahlenforschung	Kompetenzverbund Strahlenforschung
21.06.2019	Transferveranstaltung „Energieforschung vor Ort“	Hochschule Zittau/Görlitz
26.06.2019	Landtagsmittel-Projektekonzferenz	Hochschule Zittau/Görlitz
04.-05.09.2019	Fast-growing trees and plants growing for energy purposes	Universität Nitra (Slowakei)
09.-10.10.2019	9. Ostsächsische Maschinenbautage	TGZ Bautzen GmbH
10.10.2019	Kick Off-Meeting zum Projekt „Generische thermohydraulische und physikochemische Analysen zur Implementierung eines ATHLET-Moduls für die Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern“ / Kurztitel: „ATHLET-Modul Zinkborat“	IPM, TU Dresden
17.-18.09.2019	8. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung	DBFZ
25.-26.09.2019	19. Fachkongress Holzenergie	Fachverband Holzenergie im BBE
22.-23.10.2019	Kraftwerkstechnisches Kolloquium	TU Dresden
24.10.2019	SAXONY5-Woche in Mittweida: Co-Creation Lab (CCL)-Tag zum Thema „Energiewende im Spannungsfeld zwischen Wohlstand und Klimawandel“	HS Mittweida, SAXONY ⁵
07.-08.11.2019	Oberlausitzer Energiesymposium 2019 & Zittauer Energieseminar	HSZG
21.11.2019	Schlüsselübergabe zum Co-Creation Lab CELSIUZ	HSZG, SAXONY ⁵
05.12.2019	14. Doktorandenseminar des Kompetenzverbundes Ost für Kerntechnik (KOMPOST)	VKTA

4.6 Pressemitteilungen

4.6.1 Zittauer Know-how auf der Hannover Messe 2019

Unter dem Leitthema „Industrial Intelligence – Vernetzung von Mensch und Maschine im KI-Zeitalter“, fand vom 1. bis 5. April die Hannover Messe statt. Mit mehr als 500 Anwendungsbeispielen für Industrie 4.0 und Machine Learning sowie 6.500 Ausstellern aus 75 Ländern wurde klar, dass die Themen Industrie 4.0 und Künstliche Intelligenz die Hersteller von Waren weltweit beschäftigen. Weiterhin stehen auch Begriffe wie Sektorenkopplung, kollaborationsfähige Roboter (COBOT), Leichtbau, Plattformökonomie sowie 5G für viel diskutierte Trends unter den Fachleuten.

Die Hochschule Zittau/Görlitz war gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) Zittau am Gemeinschaftsstand Forschung für die Zukunft vertreten. Dort wurden aktuelle Forschungsprojekte von Hochschulen und Forschungseinrichtungen aus Sachsen, Sachsen-Anhalt sowie Thüringen dem breiten Publikum vorgestellt (Abb. 4-31).



Abb. 4-31 Frau Dr. Stange, Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, informiert sich über Forschung und Entwicklung an der Hochschule Zittau/Görlitz

Die HSZG präsentierte u. a. das am IPM entwickelte Bildverarbeitungssystem zur Überprüfung von Rietbleien in der Textilindustrie (REBID). Dieser Prüfstand ist in der Lage, Schadensfälle an Rietbleien automatisiert aufzufinden. Diese kommen in der Firma KSO-Textil GmbH Olbersdorf zum Einsatz.

Wie funktioniert die Anwendung?

Die Funktion der Rietbleie ist es, einen gleichmäßigen Verlauf der Textilfäden zu gewährleisten, um im Anschluss akkurat auf einen Teilkettbaum geschärft werden zu können. Die Fadenführung verursacht mit der Zeit eine Abnutzung an den Rietbleinadeln.

Langfristig führt der Verschleiß zu Schäden an den Textilfäden und kann einen Stillstand der Produktion verursachen. Bleiben die Schäden unbemerkt, können sie auch zu Reklamationen durch Kunden führen. Daher ist es notwendig, die unterschiedlichen Rietbleie regelmäßig zu überprüfen. Dies erfolgt bisher von erfahrenen Mitarbeitern per Hand, die Rietbleinadeln werden unter einer Lupe mit Hilfsmitteln nach Unregelmäßigkeiten abgetastet. Das neu entwickelte Bildverarbeitungssystem führt zur Entlastung der Mitarbeiter und zur Reduzierung von Prüfzeiten.

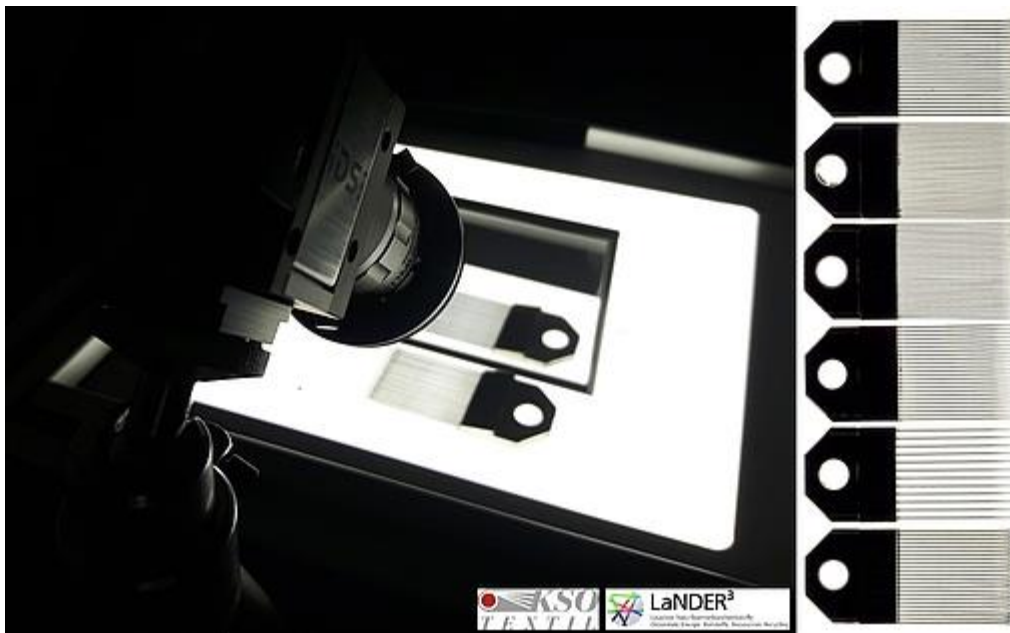


Abb. 4-32 Bildverarbeitungssystem zur Überprüfung von Rietbleien in der Textilindustrie

Die Rietbleie werden einzeln von einer digitalen Kamera erfasst, der Bildinhalt von einem Prüfalgorithmus interpretiert sowie bewertet (Abb. 4-32). Als Ergebnis der Auswertung erfolgt die Einordnung des Rietbleis in eine von drei zustandsbeschreibenden Kategorien. Mit der Einführung des Prüfstandes kann eine Vorstufe der Industrie 4.0 in einem regionalen Unternehmen installiert werden. Auf der Hannover Messe profitierten alle Seiten von der Strahlkraft auf den internationalen Märkten.

Autoren: Herr Dr. A. Seeliger, Frau V. Müller-Seelig, Frau K. Sprechert, Herr C. Vogel

4.6.2 Das IPM auf der Jahrestagung Kerntechnik 2019

Vom 7. bis 8. Mai 2019 fand in Berlin die nunmehr 50. Jahrestagung Kerntechnik (50th Annual Meeting on Nuclear Technology, AMNT) statt. In mehreren Vorträgen der eröffnenden Plenumsitzung (Abb. 4-33 links) wurde betont, welchen hohen Stellenwert sowohl die Wissensvermittlung als auch der Kompetenzerhalt auf kerntechnischen Gebiet einnehmen. Auch der Umstand, dass die Kernenergie nur noch wenige Jahre an der nationalen Stromerzeugung beteiligt sein wird, tut dem keinen Abbruch. Hierfür sorgen der bereits angelaufene Rückbau bestehender nuklearer Anlagen als auch die auf internationalem Terrain bestehende, hohe Nachfrage nach deutschen Expertenwissen.

Der zentral am Veranstaltungsort platzierte Gemeinschaftsstand des Kompetenzverbunds Kerntechnik stieß auch dieses Jahr auf ein reges Interesse bei den Konferenzteilnehmern (Abb. 4-33 rechts). An dessen Gestaltung war auch das Kompetenzzentrum Kerntechnik Ost (KompOst) beteiligt, dessen Bestrebungen schon langjährig auf den Erhalt, die Vermittlung und die Anwendung kerntechnischer Kompetenzen abzielen.



Abb. 4-33 Plenumssitzung der 50. Jahrestagung Kerntechnik 2019 (links); Gemeinschaftsstand des Kompetenzverbunds Kerntechnik, an dessen Gestaltung sich auch das Kompetenzzentrum Kerntechnik Ost (KompOst) beteiligte

An beiden Tagen wurden zahlreiche Fachvorträge zu Themen aus Forschung, Entwicklung und Anwendung der Kernenergie abgehalten. Das Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) leistete auch hier seinen Beitrag: Dr. André Seeliger (HSZG/IPM) und Dr. Ulrich Harm (TUD) stellten dem Fachpublikum die Ergebnisse des Projektes "Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV" vor. Besagtes Projekt der nuklearen Sicherheitsforschung wurde vor kurzem erfolgreich abgeschlossen und ist nur eines von vielen, die in bewährter Kooperation des IPM mit der TU Dresden (TUD) und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) bearbeitet wurden. Im Anfang 2019 angelaufenen Folgeprojekt mit dem Kurztitel "ATHLET-Modul Zinkborat (AZora)" (FKZ 150 1585) tritt auch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) als neu hinzugewonnener Kooperationspartner auf.

Die Untersuchungen im Projekt „Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV“ und „Generische thermohydraulische und physikochemische Analysen zur Implementierung eines ATHLET-Moduls für die Simulation thermohydraulischer Folgen von Zinkborat-Ablagerungen im DWR-Kern“ werden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter den FKZ 150 1491/ 150 1496 und FKZ 150 1585.

Gefördert durch:



Bundesministerium
 für Wirtschaft
 und Energie

aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

4.6.3 Zeigen, was die Forschung zu bieten hat

Passend zum Sommerfest am 5. Juni präsentierten die Wissenschaftler der HSZG auf lockere und anschauliche Weise Sehenswertes zum Anfassen aus ihrem Arbeitsalltag, offen für Kollegen, Alumnis, Studierende und alle anderen neugierigen Besucher.

Trotz vielfacher „Konkurrenz“ am wunderbar bunten und thematisch vielfältigen Tag, fanden viele Besucher den Weg in die klimatisierten Räume der „Science Lounge“. Sie ließen sich auf Wischtsch, Demenzkatze und viele gute Gespräche, gern auf den neu angeschafften, hochschulgrünen Veranstaltungssofas, ein (Abb. 4-34).

Viele Fakultäten und Institute unterstützten das neue Format „Science Lounge“ und trugen zu dem gelungenen Nachmittag bei. An dieser Stelle dafür noch einmal allen Beteiligten einen großen Dank!



Abb. 4-34 Das IPM präsentierte neben multimedialen Präsentationen auf interaktiven Tisch (links) auch den Prototypen eines Bildverarbeitungssystems zur Überprüfung von Rietbleien in der Textilindustrie (rechts)

Text: Kristin Sprechert (Saxony5); Fotos: Vivien Müller-Seelig

4.6.4 Eindrucksvoller Projektfortschritt

Im Rahmen der Umbaumaßnahmen des ehemaligen Eisenerz-Bergwerkes „Schacht Konrad“ zur Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen erbringt das Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit der nuklearen Endlagerung. Dafür wurde bis März 2019 ein auf ein Fünftel der Originalgröße herunterskaliertes Modell der Fortluftanlage in Zittau errichtet. Dort wird mit modernsten Strömungsmessverfahren das Verhalten angesaugter Partikel im Kanal untersucht.

Am 2. Juli besuchte nun das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowie die Projektpartner, die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) und die VPC GmbH, die Anlage. Die Gäste zeigten sich beeindruckt von den Kompetenzen und den umfangreichen Laboren für Forschung und Lehre auf den Gebieten der Reaktorsicherheit, Zwischen- und Endlagerung sowie Strahlentechnik (Abb. 4-35).



Abb. 4-35 Modellversuchsanlage „Fortluftkanal“ mit zwei Lüfterkästen im oberen Bereich (links); Erklärung der Funktionsweise des Partikelgenerators der Versuchsanlage (rechts)

Prof. Alexander Kratzsch, Leiter des Projektes und Direktor des IPM, begrüßte zunächst die Gäste und eröffnete das Treffen. Im Anschluss an die Vorstellung der Teilnehmer und der Einrichtungen unterstrich die BGE nochmals die Motivation hinter dem Projekt. Die gewählte Messposition zur Erfassung möglicher radioaktiver Partikel muss eine repräsentative Probenahme ermöglichen und somit vorhandene Elemente in der Abluft zuverlässig auffinden.

Bei einem Nachweis radioaktiver Partikel in der Abluft können entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Vom Ergebnis der Experimente im Modellkanal hängt

ab, wie die Strömungsführung und Beprobung in der originalen Anlage im „Schacht Konrad“ ausgeführt wird.

Die Ergebnisse der Experimente sowie der Einrichtung der Messtechnik PIV (Particle Image Velocimetry) wurden durch Dr. Clemens Schneider (Projektmanager des IPM) vorgestellt. Die PIV ist ein Verfahren, in dem Partikel in eine Strömung eingebracht werden und anhand von aufeinanderfolgenden Bildern die Bewegung der Partikel festgehalten und somit die Geschwindigkeitsverteilung in der Strömung dargestellt wird. Die dazugehörigen Versuche konnten die Projektpartner live bei ihrem Besuch nachverfolgen.

Diese Expertise des IPMs auf den Gebieten der Thermohydraulik und Strömungsmesstechnik sowie die langjährige Erfahrung mit hochauflösenden, bildgebenden Messverfahren gaben den Ausschlag für die Vergabe des Projektes nach Zittau.



Abb. 4-36 Versuchsanlage „Thermographie“ und „Schwingungsanalyse“ (links); Besichtigung des IPM-Labors für Thermohydraulik (rechts)

Um den Gästen die gesamte Breite der Aktivitäten in Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Strahlen- und Kerntechnik vorzustellen, organisierte Dr. Schneider folgende weitere Programmpunkte (Abb. 4-36):

- Führung durch die aktuelle Wanderausstellung „Strahlenforschung“ durch Herrn Sören Alt
- Besichtigung des Labors „Strahlentechnik“ der Fakultät Maschinenwesen, geführt durch Prof. Thomas Schönmath
- Vorstellung der Versuchsanlagen zur Untersuchung von Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung, vorgestellt durch Sebastian Reinicke und Daniel Fiß
- Vorstellung des IPM-Labors für Thermohydraulik durch Herrn Alt, in den Fragestellungen zur Reaktorsicherheit bei auslegungsüberschreitenden und hypothetischen Störfällen untersucht werden

Vielen Dank an unsere Gäste und allen Teilnehmern für den Besuch und die konstruktiven Gespräche, auch zum Thema der zukünftigen Ausbildungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Strahlentechnik und des Strahlenschutzes an der HSZG.

Text: Kristin Sprechert (Saxony5), Clemens Schneider; Fotos: André Seeliger

4.6.5 Noch 50 m bis zum Ziel

Wer in der Schwimmhalle nicht eine Bahn lang durchhält, bekommt auch keinen Abschluss. So einfach – und für manche Studenten doch so schwer – sind die Statuten an der Universität von Shanghai. An so manchen spannenden wie kuriosen Eigenheiten ihrer Heimatstadt ließ Aijia Wei, Austauschstudentin aus China im IAESTE Programm, die Kollegen aus dem Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) in ihrem Vortrag im Kolloquium Ende September teilhaben.

Denn Frau Wei zweimonatiges Praktikum zum Thema „Bildbasierte Detektion von Beschädigungen an gummierten Walzen“, betreut von Dr.-Ing. André Seeliger (IPM), erzählt im Kleinen viel über die Wege von Industrie und Menschen in der heutigen globalisierten Welt. Shanghai hat mit seinen 20 Millionen Einwohnern und Touristenmagneten wie dem Orient Pearl Tower, immerhin fünftgrößter Fernsehturm der Welt, ähnlich viel zu bieten wie Zittau, mit seinem Fastentuch und Naturschönheiten wohin das Auge blickt. Zur Erholung vom Großstadttalltag gehen die Bewohner gern in den Yu Garten, der mit seiner Lehre von der inneren Harmonie zwischen Architektur und Natur viel über chinesische Traditionen verrät. Frau Wei Praxisthema steht hingegen für den Blick in die Zukunft, sowohl in Fernost als auch in der Oberlausitz.

Sie beschäftigt sich mit „Künstlicher Intelligenz“ (KI), ein Bereich der Forschung, mit dem viele Menschen diffuse Bilder verknüpfen. Ihre Arbeit wird der „schwachen KI“ zugeordnet, damit sind konkrete Anwendungen des maschinellen Lernens gemeint. Das programmierte künstliche neuronale Netz lernt dabei selbstständig, mit neu auftauchenden Problemen umzugehen. Intelligentes Verhalten wird also mit Hilfe von Algorithmen simuliert, die Frau Wei in der Programmiersprache Python implementiert hat.

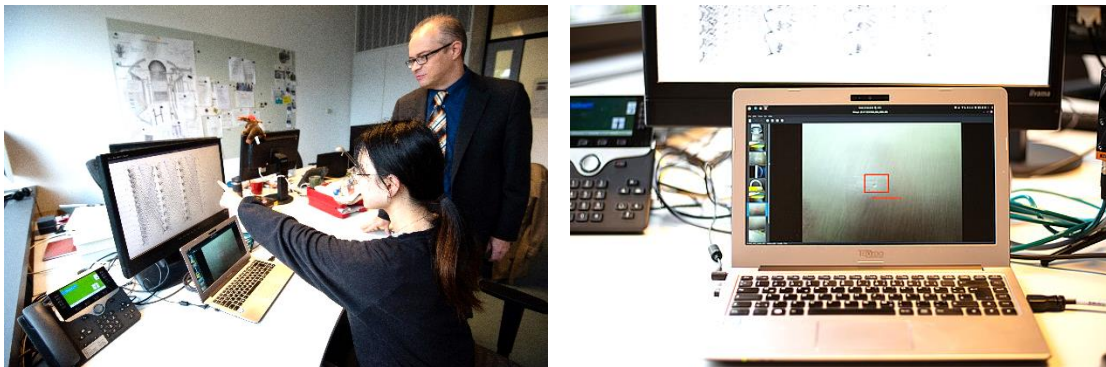


Abb. 4-37 Dr. André Seeliger und die Studentin Aijia Wei (links); Arbeitsplatz mit Laptop und detektierte Fehlstelle (rechts)

Aber die Arbeit am Laptop allein hätte noch keine vorzeigbaren Ergebnisse hervorgebracht. Dafür ging es zum Praxispartner, der Traditionsfirma Küsters-Textile aus Zittau, die Maschinen für die Veredelung (färben, bleichen, mercerisieren) von Textilien entwickelt und produziert. Inzwischen ist Küsters eingebettet in die international aufgestellte Benninger Group, die zufällig auch in Frau Wei Heimatstadt Shanghai eine Niederlassung unterhält. Von Zulieferern kommen mehrere Meter lange, mit einer Gummischicht überzogene, Walzen in das Werk nach Zittau und müssen bisher händisch und aufwändig auf Fehler in der Beschichtung überprüft werden.

Um diesen Prozess in Zukunft automatisieren zu können, war für Frau Wei viel zu tun. Zuerst musste sie die verschiedenen Arten von Fehlern analysieren. Es galt, mögliche Schadensbilder wie Löcher und Risse zu kategorisieren, damit diese später auch von der KI erlernt werden können. Danach ging es mit der Kamera in den Betrieb, wo die Oberfläche mehrerer gummierter Walzen Stück für Stück abfotografiert wurde. Mit diesen Bilddaten startete dann das Training für ihr neuronales Netzwerk.

Einen Schwimmtest musste Frau Wei zur erfolgreichen Absolvierung ihres Fachpraktikums an der HSZG nicht bestehen, dieser wartet erst zum Ende ihres Studiums in Shanghai. Dabei haben die Einwohner nicht viel von dem angrenzenden Meer zu befürchten. In ihrem Vortrag zeigte sie anhand von Wetterkarten, dass die Metropole wegen ihres wissenschaftlich unerklärlichen Glücks auch die Stadt des „Taifun-Zaubers“ genannt wird. Unwetter drehen oft erst kurz vor der Stadtgrenze ab und verziehen sich in eine andere Richtung. Eine schöne Parallele zwischen Zittau und Shanghai, denn

auch die Oberlausitz hat der Legende nach wenig vor Sturm und anderem Unheil zu befürchten, da sie wiederum unter dem Schutz der „Blauen Steine“ steht.

Die Kollegen aus dem IPM honorierten die Präsentation von Frau Wei mit einem Applaus und Projektmanager Dr. Clemens Schneider überreichte Teile aus der hochschuleigenen Textilproduktion als Geschenk. Der Aufschlag für einen möglichen Einsatz von KI in einem Traditionsunternehmen der Oberlausitz ist nach dem zweimonatigen Praktikum geschafft und Kollegen wie Studentin sind sowohl mit fachlichem Wissen als auch Verständnis für die Welt im Dreiländereck und in der asiatischeren Metropole beschenkt worden.

Text: Kristin Sprechert (Saxony5); Fotos: Martin Kunack (Saxony5)

4.6.6 Siedekrise erfolgreich verhindert!

Dr. Clemens Schneider gewinnt den Pokal des besten Slammers beim zweiten Saxony⁵ Science Slam in Mittweida.

Geballte Wissenschaft in 10 Minuten, verpackt in spannenden, anschaulichen Vorträgen - diesem Wettbewerb um die beste "Slam-Präsentation" stellte sich in diesem Jahr Dr.-Ing. Clemens Schneider aus dem Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik. Zusammen mit vier Mitbewerbern trat er am 24. Oktober im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida um den Pokal des 2. Saxony⁵ Science Slams in die Arena.

Auch wer nicht vor Ort dabei sein konnte, hatte die Chance, den Wettbewerb live über die Facebookseite zu verfolgen und am Ende den besten Slammer beim Online-Voting zu küren.

Clemens Schneider präsentierte dem Publikum in seinem Beitrag die Lösung zu einer drängenden Frage des Lebens: Wie wendet ein Wissenschaftler seine Erkenntnisse aus der Reaktorsicherheitsforschung auf die Rettung eines bevorstehenden Dats unter Zeitdruck an? Hilft ein Analysemodell vorab und sind alle Parameter enthalten? Und wie schafft man mit der Untersuchung der Siedekrise auch noch seine Promotion?

Dass Spagetti kochen mit kaltem Wasser in großen Töpfen nicht zu trivial für gute Forschung ist, bewies Dr. Schneider eindrucksvoll. Überzeugen Sie sich selbst: [Videomitschnitt des Science Slam](#).



Abb. 4-38 Teilnehmer des 2. Saxony⁵ Science Slam und Verleihung des Pokals an Dr. Clemens Schneider

Text: Kristin Sprechert, Foto: Hochschule Mittweida

5 Bisherige Auftraggeber und Kooperationspartner

VPC GmbH

Alion Science and Technology Corp.

ALSTOM Power Systems GmbH, Stuttgart

ALSTOM Carbon Capture GmbH, Mainz-Kastel

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.
(AiF)

AREVA NP

Babcock Borsig Steinmüller GmbH, Oberhausen

Babcock Noel GmbH, Würzburg

Bilfinger Mauell GmbH, Velbert

Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Kraftwerkstechnik

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Clyde Bergemann GmbH, Wesel

CombTec GmbH, Zittau

Continental

Deutsche Forschungsgemeinschaft

EAAT GmbH, Chemnitz

E.ON Oskarshamn

Fest AG, Berlin

Forschungszentrum Jülich GmbH (PTJ)

Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Zittau (IWU)

GEO montan Gesellschaft für angewandte Geologie mbH, Freiberg

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Hitachi Power Europe GmbH, Duisburg

Innotas Elektronik GmbH, Zittau

Jeumont S.A., Frankreich

KEW Kunststoffherzeugnisse GmbH, Wilthen

KSO-Textil GmbH Olbersdorf

KKW Brunsbüttel

KKW Gundremmingen

KKW Krümmel

KKW Philippsburg

KKW Unterweser

Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG)
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
LumaSense Technologies GmbH, Frankfurt/Main
Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
North-West University, Potchefstroom, Südafrika
Nuclear Research and Consultancy Group - NRG, Niederlande
NUKEM Technologies GmbH
Otto Bock GmbH
RWE Power Essen/Köln
RWE Power, Kraftwerke Niederaußem, Neurath, Weisweiler
SAB Sächsische Aufbaubank Dresden
Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG
Siemens Fossil Power Generation, Erlangen
Siemens Görlitz
Solar World Freiberg
Steinmüller-Instandsetzung Kraftwerke GmbH, Peitz
Thyssen Krupp Rothe Erde, Lippstadt
TLON Michelbach
Toshiba Corporation, Japan
TU Bergakademie Freiberg
TU Dresden
TU Hamburg-Harburg, Institut für Energietechnik; Institut für Thermische Verfahrenstechnik/Wärme- und Stofftransport
Universität Gh Kassel, IEE
ULT-Umwelt-Lufttechnik AG
Vattenfall Europe Generation AG, Hauptverwaltung Cottbus
Vattenfall Europe Generation AG, Kraftwerke Jänschwalde, Schwarze Pumpe, Boxberg, Lippendorf
Vattenfall Europe Mining AG
Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg
Vattenfall Europe PowerConsult GmbH, Vetschau
VGB PowerTech e.V., Essen
Winkel GmbH, Illingen