



Hochschule  
Zittau/Görlitz

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



## *Jahresforschungsbericht 2018*

*Institut für Prozeßtechnik,  
Prozeßautomatisierung  
und Meßtechnik*



FORSCHEN\_OHNE\_GRENZEN



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Statistische Angaben.....</b>	<b>2</b>
2.1	Drittmittelverteilung .....	2
2.2	Entwicklung der Mitarbeiterzahlen.....	2
<b>3</b>	<b>Struktur.....</b>	<b>3</b>
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
<b>4</b>	<b>Forschungsaktivitäten des IPM.....</b>	<b>6</b>
4.1	Messtechnik Prozessautomatisierung .....	6
4.1.1	Überblick.....	6
4.1.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	8
4.1.3	Versuchsanlagen .....	18
4.1.4	Publikationen .....	23
4.1.5	Studentische Abschlussarbeiten .....	24
4.2	Kerntechnik / Soft Computing.....	25
4.2.1	Überblick.....	25
4.2.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	26
4.2.3	Versuchsanlagen .....	30
4.2.4	Messtechnik.....	37
4.2.5	Publikationen .....	38
4.2.6	Betreuung von Promovenden.....	39
4.3	Mechatronische Systeme .....	40
4.3.1	Überblick.....	40
4.3.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	41
4.3.3	Versuchsanlagen .....	49
4.3.4	Publikationen .....	54
4.3.5	Betreuung von Promovenden.....	54
4.3.6	Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden .....	55
4.4	Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik .....	55
4.4.1	Überblick.....	55
4.4.2	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	57
4.4.3	Versuchsanlagen .....	64
4.4.4	Publikationen .....	71
4.4.5	Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden .....	72
4.5	Messen und wissenschaftliche Veranstaltungen .....	73
4.6	Pressemitteilungen.....	73
4.6.1	Deutsche Reaktorsicherheitsforschung ohne Zukunft? .....	73
4.6.2	Der sprechende Castor .....	75
4.6.3	Lausitz Energie Kraftwerke AG an der HSZG.....	77
4.6.4	IPM-Mitarbeiter schließt Promotion erfolgreich ab.....	78
4.6.5	Aserbaidshan zu Gast an der Hochschule Zittau/Görlitz.....	79
4.6.6	Eine Frage der Partikel .....	80
<b>5</b>	<b>Bisherige Auftraggeber und Kooperationspartner .....</b>	<b>82</b>



## 1 Einleitung

Das Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) ist eine zentrale Einrichtung der Hochschule Zittau/Görlitz und hat sich in den vergangenen über zwei Jahrzehnten zum Forschungsmotor der Hochschule Zittau/Görlitz entwickelt. Das IPM leistet anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den Gebieten Energietechnik und Mechatronik.

Mit mehr als 40 Mitarbeitern und fünf Professoren, die je ein Fachgebiet vertreten, stellt das IPM die größte Struktureinheit der Hochschule Zittau/Görlitz. Zusätzlich arbeiten am Institut im Rahmen von Praktika und Abschlussarbeiten jährlich circa 20 Studierende aus dem In- und Ausland.

Die über viele Jahre konstante Anzahl von wettbewerblich wissenschaftsgeleiteten Projekten des Bundes und der Europäischen Union sowie die aus der Wirtschaft finanzierten Projekte sind Resultat der erfolgreichen Arbeit der Kolleginnen und Kollegen im IPM. Dies drückt sich auch in den im Jahr 2018 eingeworbenen Drittmitteln aus. Mit der Summe von 2,49 Millionen EURO wirbt das IPM ein reichliches Drittel der Drittmittel der Hochschule insgesamt ein. Der Jahresforschungsbericht spiegelt einen Ausschnitt des wissenschaftlichen Lebens am IPM im Jahr 2018 wider.

Ausgehend von unseren Kompetenzen im Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung ist es gelungen, erste Projekte im Bereich Rückbau kerntechnischer Anlagen einzuwerben und die Forschungslinie „Zwischen-/Endlagerung hochradioaktiver Reststoffe“ weiter auszubauen. Unser Kollege Daniel Fiß hat die aktuellen Forschungsergebnisse zu diesem Thema im Rahmen des „1. Saxony<sup>5</sup> Science Slam“ an der Hochschule Mittweida öffentlichkeitswirksam präsentiert.

Unter dem Motto „Deutsche Reaktorsicherheitsforschung ohne Zukunft?“ war das IPM Gastgeber des jährlich stattfindenden Doktorandenseminars im Kompetenzzentrum Ost für Kerntechnik. Viele junge Nachwuchswissenschaftler stellten ihre Forschungsergebnisse einem breiten Fachpublikum zur Diskussion. Mit Herrn Dr.-Ing. Sebastian Schmidt konnte 2018 auch ein Nachwuchswissenschaftler aus unserem Haus seine Dissertationsschrift an der TU Dresden erfolgreich verteidigen.

Ein wesentlicher Meilenstein 2018 war die Gründung der Projektgruppe „Leichtbau und Energietechnik“ im Fraunhofer IWU Kunststoffzentrum Oberlausitz. Damit ist es gelungen, die Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer Institut am Standort Zittau und dem IPM zu institutionalisieren und zukunftssicher aufzustellen.

An dieser Stelle sei allen unseren Kolleginnen und Kollegen für ihre erfolgreiche Arbeit am IPM gedankt. Ohne die engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes wäre der Erfolg in 2018 nicht denkbar gewesen. Ihnen sowie allen Mitstreitern und Unterstützern gilt der Dank der Institutsleitung.

Zittau, im Mai 2019

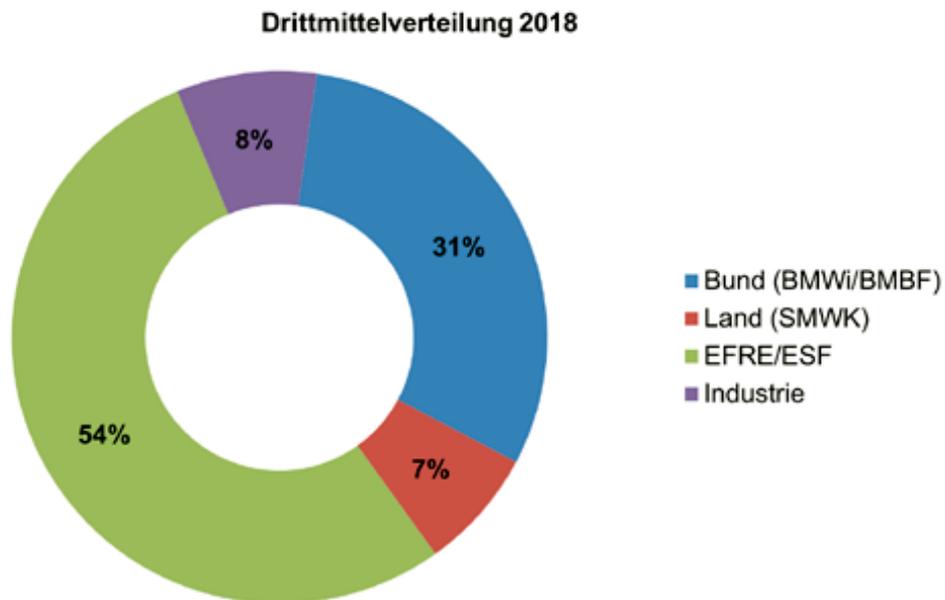


Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch  
Direktor IPM

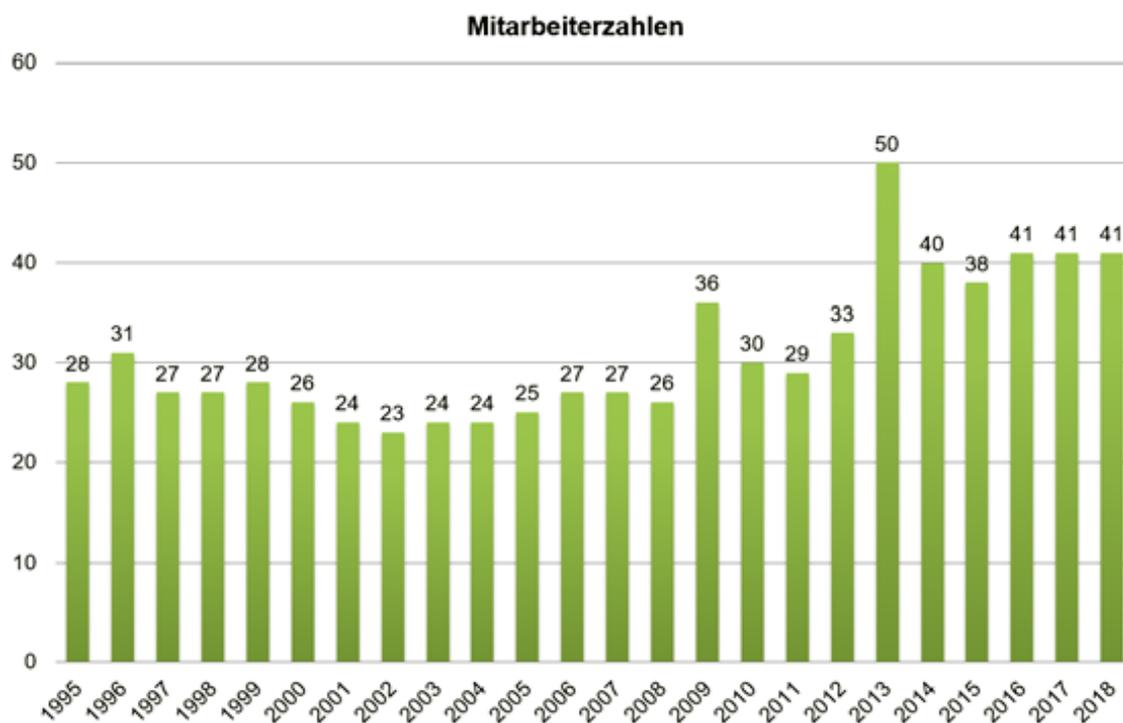
## 2 Statistische Angaben

Hochschullehrer: 5  
 Mitarbeiter (VZÄ): 41 (27,9)  
 Drittmittel: 2,49 Millionen

### 2.1 Drittmittelverteilung

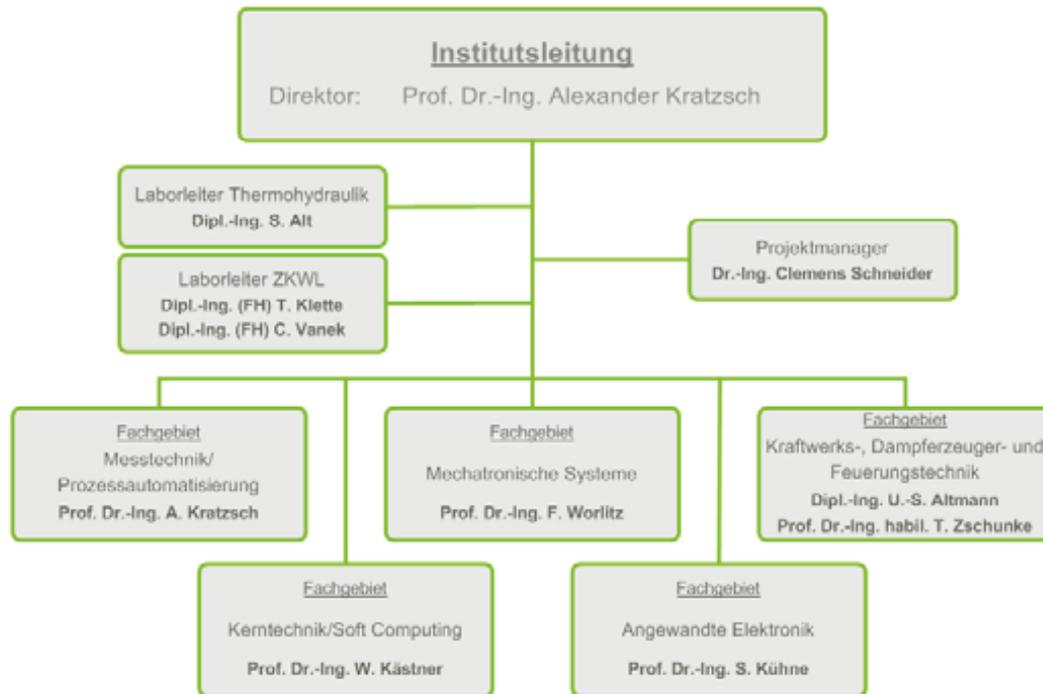


### 2.2 Entwicklung der Mitarbeiterzahlen



## 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, Studienrichtungsverantwortlicher 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:**

- 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 Tonji 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
- Member International Program Committee 16th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB16)

**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
- Gutachter in der Förderlinie „IngenieurNachwuchs“

**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

**Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann:**

- Member IEEE Advancing Technology for Humanity

**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“ Saxony<sup>5</sup>

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

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

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

- Member International Program Committee 16<sup>th</sup> International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB16)

### 3.2.3 Forschungsprofil

Das IPM ist die drittmittelstärkste Grundeinheit der HSZG und 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
- Forschungs 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
- Dipl.-Ing (FH) Doreen Kratzsch
- Dipl.-Ing. (FH) Vivien Müller-Seelig
- Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Reinicke
- Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette
- Dr.-Ing. Sebastian Schmidt
- Dipl.-Übers. (FH) Elisa Rudolph
- Dr.-Ing. Clemens Schneider
- M.Eng. Christian Vogel

#### 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 Füllstandänderungen und der Deformation des Kerns
- Virtual Reality und Augmented Reality
- Kollaborationsfähige Roboter
- Simulationswerkzeug DynStar

## 4.1.2 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

### 4.1.2.1 Machbarkeitsstudie Saale-to-Heat

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) V. Müller-Seelig, Dipl.-Ing. (FH) T. Gubsch
<b>Finanzierung:</b>	EVH GmbH



**Laufzeit:** 01.09.2018 - 31.10.2018

#### Ziele/Ergebnisse:

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Saale-to-Heat“ wurde die Implementierung eines innovativen KWK-Systems, bestehend aus einem Blockheizkraftwerk und einer Großwärmepumpe, am Standort Halle Trotha für die EVH GmbH untersucht. Der Deckungsanteil der Fernwärme am gesamten Wärmebedarf der Stadt Halle (Saale) liegt bei ca. 60 % und bietet somit ein großes CO<sub>2</sub>-Minderungspotential im Wärmesektor. Die zu implementierende Wärmepumpe nutzt hierbei Flusswasser aus der Saale, um das Heizwasser für die Fernwärme mit einer Temperatur von 90 °C zu erzeugen. Ziel ist es, die im Fernwärmenetz benötigte Sommergrundlast von 25 – 30 MW<sub>th</sub> durch die Wärmebereitstellung der Wärmepumpe und des BHKW zu decken.

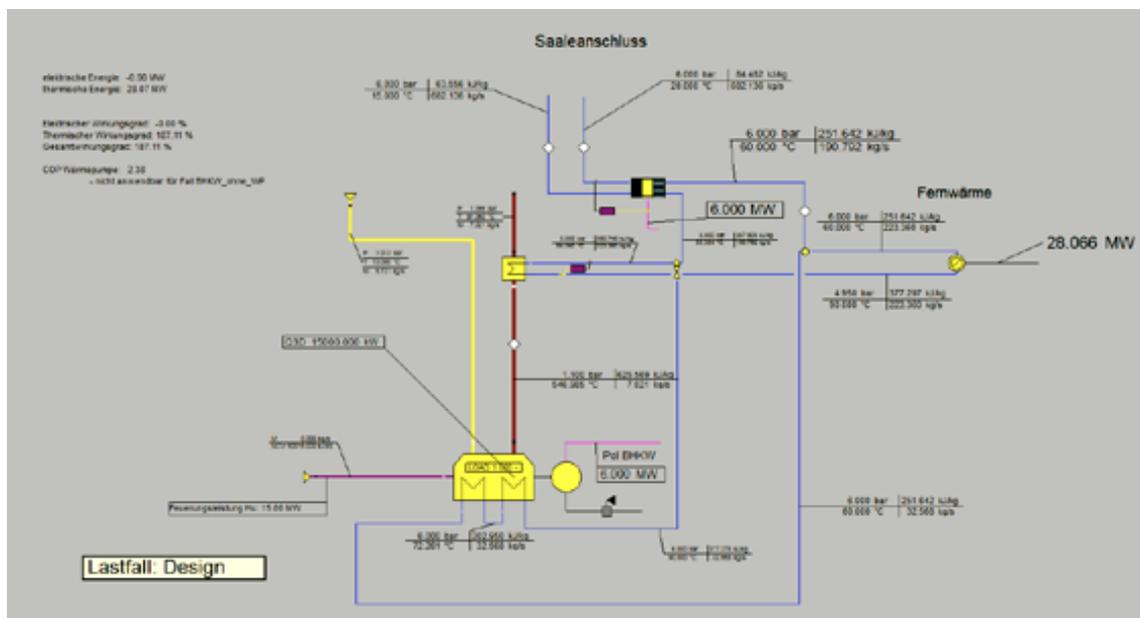


Abb. 4-1 KWK-Anlagenschema in Epsilon Professional

Innerhalb der Machbarkeitsstudie wurde der Nachweis der technischen Umsetzbarkeit sowie die Förderbarkeit nach KWKAusV bezüglich eines innovativen KWK-Systems erbracht. Die innovative KWK-Anlage, bestehend aus einer Wärmepumpe, welche Saalewasser zur Bereitstellung von Fernwärme nutzt, wird dabei mit einem BHKW gekoppelt. Das BHKW stellt neben der Einspeisung der elektrischen Energie für das öffentliche Netz die elektrische Versorgung der Wärmepumpe sicher.

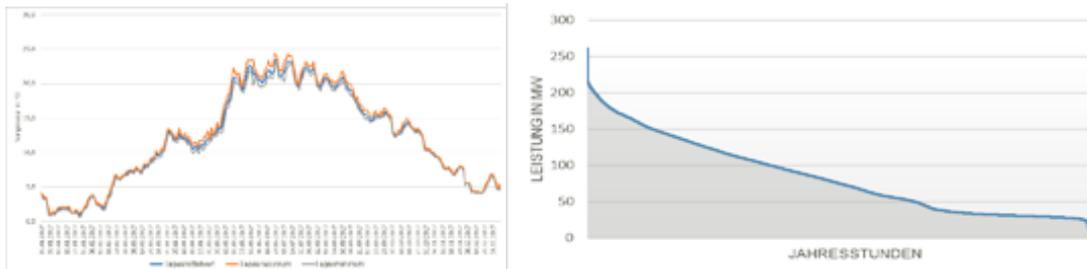


Abb. 4-2 Analyse der Saalewassertemperatur und geordneter Fernwärmejahreslastgang

Ausgehend von der Lastganganalyse des Fernwärmenetzes, der Analyse der Saalewassertemperatur und der Bestimmung der Sommergrundlast, welche als Auslegungsgrundlage für die einzusetzende Wärmepumpe genutzt wurde, wurden grundlegende Lastfälle definiert. Diese Lastfälle wurden mit dem Simulationsprogramm Epsilon Professional modelliert, konfiguriert und anschließend simuliert. Hierfür wurden reale Kennlinien vergleichbarer Anlagen für die Wärmepumpe in den Modellen implementiert. Die Untersuchungen für das geplante Konzept ergaben, dass die Art der Verschaltung technisch realisierbar ist und dass die Effizienz des Gesamtsystems der Fernwärme bei sinkender CO<sub>2</sub>-Emission gesteigert wird. Weiterhin wurde die Technikverfügbarkeit sowie die -reife der Einzelkomponenten betrachtet. Am Markt sind diverse Hersteller, welche sowohl Wärmepumpen als auch BHKW in den geforderten Leistungsbereichen bieten, verfügbar. Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Analysen und Simulationen, der Marktverfügbarkeit der Einzelkomponenten und geltender Förderrichtlinien dienen zur Erstellung eines förderfähigen Gesamtkonzeptes im Bereich der innovativen Kraft-Wärme-Kopplung. Der Auftraggeber hat die Umsetzung des favorisierten Anlagenkonzeptes bereits an den Fördermittelgeber übergeben und wird in Zukunft mit dem entwickelten Konzept einen Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Fernwärme der Stadt Halle liefern.

#### 4.1.2.2 Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) V. Müller-Seelig, Dipl.-Ing. (FH) T. Gubsch
<b>Finanzierung:</b>	EVH GmbH



**Laufzeit:** 01.07.2018 - 30.11.2018

#### **Ziele/Ergebnisse:**

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Wärmenetz 4.0“ wurde ein Konzept für ein Niedertemperaturfernwärmenetz, unter Beachtung der Förderbedingungen für ein innovatives Fernwärmenetz (Wärmenetz 4.0), für die EVH GmbH entwickelt. Ziel der Studie war der Aufbau eines innovativen Niedertemperaturwärmenetzes als Alternative zur vorhandenen konventionellen Mischversorgung des Gewerbegebietes Halle Neustadt, mit einem möglichst hohen Anteil regenerativer Energien an der Fernwärmebereitstellung. Für dieses Projekt sollte ein Teilnetz mit deutlich niedrigerem Temperaturniveau aufgebaut werden. Die Vorlauftemperatur sollte maximal 95 °C, bei einer Spreizung von 30 K, betragen.

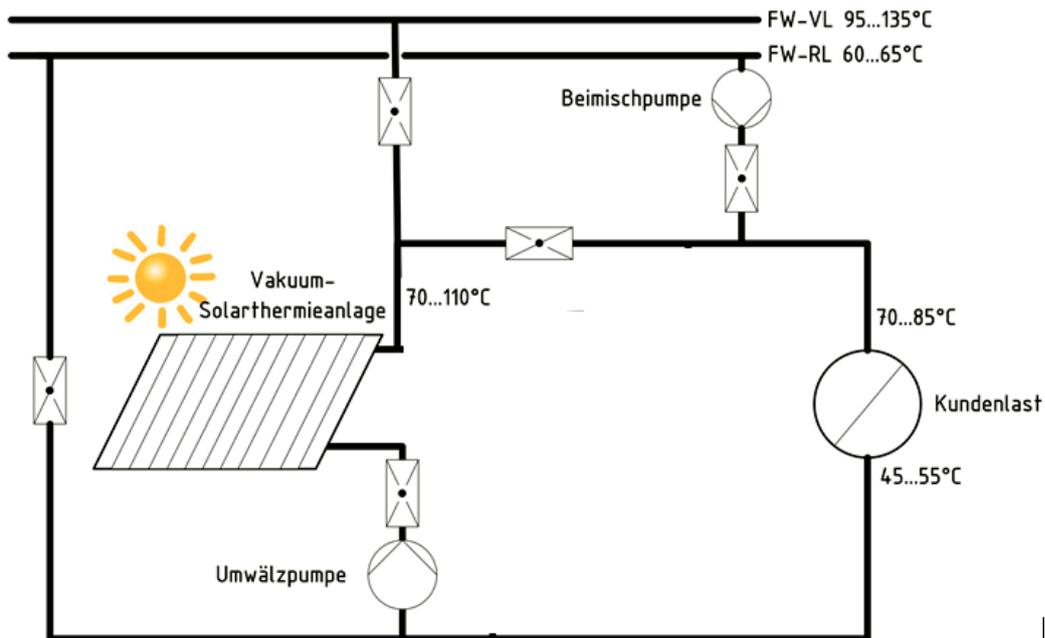


Abb. 4-3 Prinzipskizze Niedertemperaturfernwärmenetz

Ausgehend von vorhandenen Verbrauchsdaten und vertraglich zugesicherten Anschlussleistungen der vorhandenen Kunden und potentieller Neukunden im Gewerbegebiet Halle-Neustadt, wurde zunächst eine Rohrnetzdimensionierung (Nennweitenbestimmung, Druck- und Wärmeverlustberechnung, Kosten) durchgeführt. Hierfür wurden Simulationsmodelle, des neu zu errichtenden Fernwärmenetzes, in Epsilon Professional entwickelt.

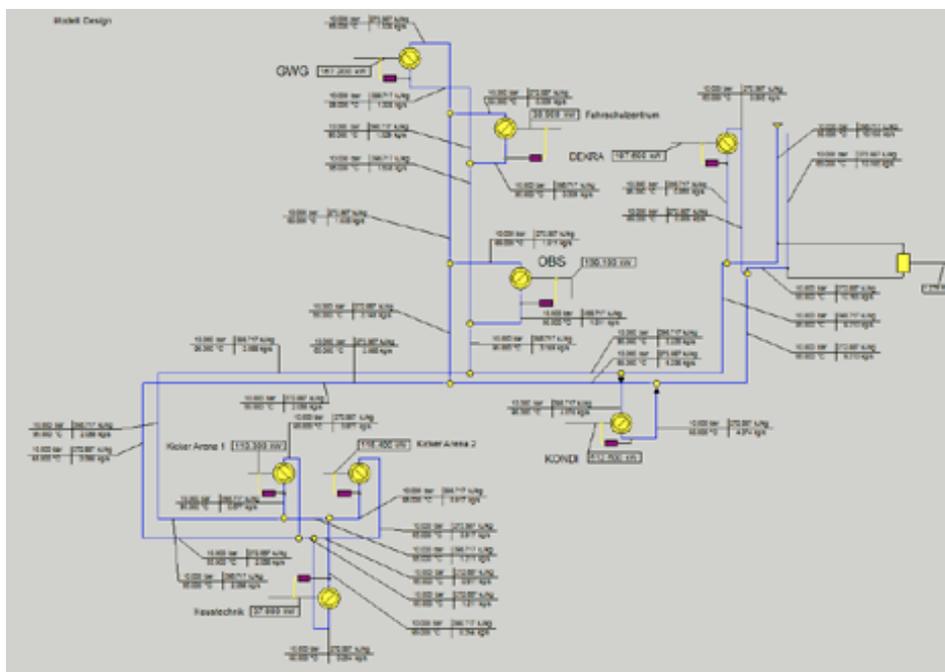


Abb. 4-4 Modell des Fernwärmenetzes in Epsilon Professional

Innerhalb der anschließenden Variationsrechnungen wurden unter anderem Parameter wie die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf und die Anschlussleistung der einzelnen Verbraucher variiert. In Zusammenarbeit mit der EVH GmbH wurden regenerative Wärmebereitstellungskonzepte, wie zum Beispiel die thermische

Verwertung von im Stadtgebiet anfallendem Grünschnitt, die Implementierung einer Solarthermieanlage, die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe diskutiert. Anschließend erfolgten detaillierte Untersuchungen hinsichtlich der Effektivität und die damit verbundenen Investitionskosten für die genannten Versorgungskonzepte. Im Anschluss wurden 2 Varianten (Solarthermieanlage mit einer Erzeugungsleistung von 1,2 GWh und 3,0 GWh) einer weiteren Detaillierung unterzogen, um die Gesamtkosten für die Ertüchtigung des Fernwärmenetzes wie auch die Errichtung der solarthermischen Anlagen bewerten zu können. Bedingt durch die Förderbedingungen seitens des BAFA bestand die Notwendigkeit der Errichtung eines saisonalen Fernwärmespeichers, da der im Fernwärmenetz der Stadt Halle vorhandene saisonale Großwärmespeicher nicht als virtueller Speicher für das zu errichtende Niedertemperaturnetz genutzt werden darf. Um die geforderte regenerative Deckung von 50 % des Wärmebedarfs erreichen zu können sind große Speicherkapazitäten in Abhängigkeit der betrachteten Varianten mit einem Jahreswärmeverbrauch von 1,2 GWh bzw. 3,0 GWh notwendig. Die Kosten für die Wärmespeicher mit einer Kapazität von 1,5 MWh bzw. 150 MWh sind nicht unerheblich und machen die untersuchten Konzepte hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit über die Betriebsdauer unrentabel. Als Ergebnis der Machbarkeitsstudie wurde eine Realisierungsempfehlung an die EVH GmbH übergeben. Diese beinhaltet die Förderung der Einzelkomponenten über separate Förderprogramme, wie zum Beispiel die Förderung für die Errichtung von Solarthermieanlagen über das Marktanreizprogramm mit einer Förderquote von bis zu 45 % und die Förderung für die Ertüchtigung des Fernwärmenetzes über die KWK-Förderung mit bis zu 30 %. Über diese Förderprogramme besteht die Möglichkeit, ein kosteneffizientes Niedertemperaturfernwärmenetz im Gewerbegebiet Halle-Neustadt zu errichten und somit einen nicht unerheblichen Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Fernwärmebereitstellung der Stadt Halle zu leisten.

#### 4.1.2.3 Ertüchtigung der Simulationsumgebung DynStar mit dem Ziel der dynamischen Modellierung thermischer Prozesse

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

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß (2016), M.Eng. Christian Vogel (2017 bis 2018)

**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:** 01.02.2016 bis 31.12.2018

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Das Simulationssystem DynStar ist ein Softwareprodukt des Instituts für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) der Hochschule Zittau/Görlitz und wird traditionell in Lehre und Forschung eingesetzt. Es besteht ein intensives Interesse an der weiterführenden Nutzung von DynStar im Rahmen der Simulation von energie- und verfahrenstechnischen Prozessen im Umfeld von Lehre und Forschung sowie Industrie. Im Rahmen des SMWK-Projektes wird dazu grundlegend das

Versionsmanagementsystem weitergeführt und der Quellcode von DynStar in die aktuelle Entwicklungsumgebung für die Ertüchtigung der aktuellen Betriebssysteme portiert. Die Erweiterung von DynStar um die standardisierte Kommunikationstechnologie OPC (Open Platform Communications) ist erfolgreich umgesetzt worden. Der Vorteil der OPC-Technologie liegt in der unabhängigen Verarbeitung der Daten beteiligter Endgeräte sowie der Loslösung von gerätespezifischen Treibern. Für den lesenden bzw. schreibenden Datenaustausch von Prozessdaten in Echtzeit wurde die OPC-Spezifikation OPC DA (Data Access) in Form eines Clients als Funktionsbaustein in DynStar implementiert. Somit ist DynStar je nach Konfiguration (Lese-/Schreibrechte) in der Lage, über die Client-Schnittstelle OPC DA mit einem OPC DA Server zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Eine praktische Anwendung für die OPC DA Client/Server-Kommunikation ist die Kopplung der Versuchsanlage (VA) THERESA (Thermische Energiespeicheranlage) mit dem Simulationswerkzeug DynStar. Dies hat das Ziel eine Regelung für den Wärmeübertrager zu entwickeln und umzusetzen. Dazu wird in DynStar der Wärmeübertrager mit einer Temperaturregelung modelliert. Der Funktionsnachweis der Regelung erfolgt mit der Kopplung der VA THERESA. Dabei wird über die OPC DA Client/Server-Kommunikation die betreffende Temperatur von der VA in DynStar als IST-Wert eingelesen. Dieser Wert wird mit dem Zielwert (SOLL-Wert) verglichen, die resultierende Regelabweichung dient zur Bestimmung (Berechnung) des Stellsignals, welches von DynStar an die VA gesendet wird.

Die Differentialgleichungssysteme werden in DynStar numerisch in den einzelnen Funktionsbausteinen gelöst. Im Hinblick auf die Implementation weiterer numerischer Lösungsverfahren, wird ein Konzept erarbeitet, das es ermöglicht die Lösungsverfahren zentral in den Programmkern/Hauptanwendung zu implementieren. Die Umsetzung erfordert die Überarbeitung aller dynamischen (zeitabhängigen) Funktionsbausteine und wird Bestandteil zukünftiger Arbeiten sein. Zurzeit ist das Euler-Integrationsverfahren in den einzelnen Funktionsbausteinen implementiert und die Integrationsschrittweite ist konstant, welche durch den Anwender vorgegeben wird. Das Konzept sieht als numerisches Lösungsverfahren vor, dass mindestens ein explizites Einschrittverfahren sowie ein explizites Mehrschrittverfahren jeweils mit und ohne Schrittweitensteuerung in DynStar implementiert werden soll.

#### 4.1.2.4 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 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 Datenanalyse-Software. 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 kollaborierender Roboter der Firma Universal Robots mit sechs Bewegungsachsen beschafft worden. Die folgende Abbildung stellt das Konzept der Demonstration dar.

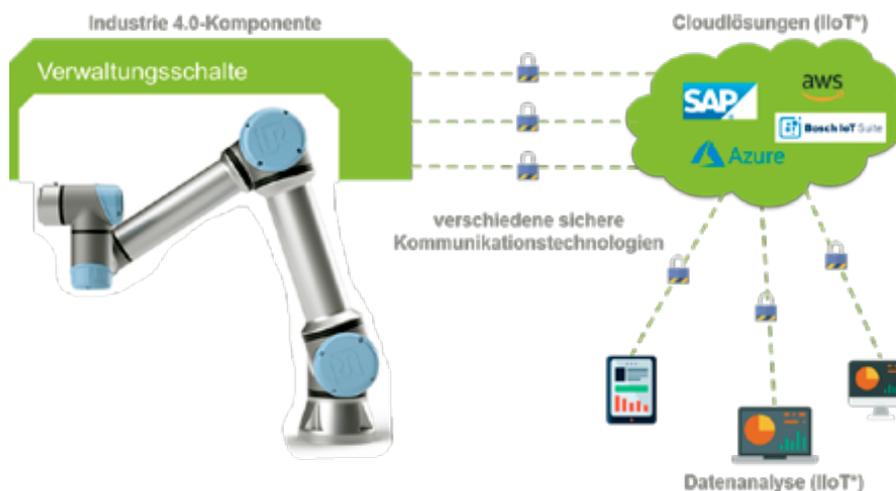


Abb. 4-5 Konzept zur Veranschaulichung des Zusammenspiels der Kommunikation

Mit dem Roboter wird ein realer Prozess in Form einer Mensch-Roboter-Kollaboration vorgeführt. Somit können die verschiedensten Informations- und Kommunikationstechnologien praxisnah erprobt sowie demonstriert werden. Der kollaborierende 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.

#### 4.1.2.5 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 gesetzte Zielstellung in der Nachwuchsforschergruppe „Neue Systeme zur Ressourcenschonung“ ist die Entwicklung einer allgemeingültigen Auslegungsmethode für die Dimensionierung und Integration von thermischen Energiespeichern (TES) in Kraftwerken. Hintergrund dessen ist es, die Last zu flexibilisieren, um den volatilen Anteil aus regenerativen Energiequellen im Netz zu kompensieren.

Im Rahmen der Arbeitspunkte wurde an der Umsetzung einer Methode für die Dimensionierung und Prozessintegration thermischer Energiespeicher gearbeitet. Parallel dazu erfolgten Arbeiten zur Analyse von Speichereinsatzszenarien im Referenzkraftwerk. Die Untersuchungen zeigten, dass bereits durch den Einsatz relativ kleiner thermischer Energiespeicher der Lastgradient (Änderung der Leistungsanforderung an Energieerzeugungsanlagen) um mehr als 50 % reduziert werden kann. Die Reduktion der Lastgradienten führt zu einer Verminderung des Auftretens niedrigerer Wirkungsgrade bei Lastwechseln und somit zur Schonung von Material- und Brennstoffressourcen.

Die aktuelle Marktsituation erfordert den Einsatz thermischer Energiespeicher zur Erhöhung des Erlöses durch optimierte bzw. flexible Verschiebung der eingespeicherten Leistung. Weitere Untersuchungen erfordern somit eine detailliertere Betrachtung des Energiemarktes und die Analyse der Potentiale von Kraftwerksanlagen durch entsprechend optimierte thermische Energiespeicher, um auch am Regelenergiemarkt teilzunehmen. Die Bereitstellung zusätzlicher Regelenergie durch die Implementierung großtechnischer, wirtschaftlicher Speicher zur Entlastung der Stromnetze ist unter Abschnitt 5.2.1 der „Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen“ definiert.

Das bisher entwickelte Konzept zur Auslegungsmethode für die Dimensionierung und Integration thermischer Energiespeicher soll unter veränderlichen Randbedingungen auf Basis von Industrie 4.0 fortlaufend und intelligent aktualisiert werden, um die Nachhaltigkeit der Ergebnisse im Hinblick auf die sich ständig ändernden technischen und marktspezifischen Anforderungen sicher zu stellen.

#### 4.1.2.6 *Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung*

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

**Mitarbeiter:** Dr.-Ing. M. Eng. S. Schmidt, Dipl.-Ing. (FH) D. Fiß,  
Dipl.-Ing. (FH) S. Reinicke

**Finanzierung:**  Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

**Kooperationspartner:** TU Dresden (TUD)

**Laufzeit:** 01.02.2016-31.07.2019

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in der Analyse (simulationsgestützt, experimentell) und Bewertung verschiedener physikalischer Messprinzipien, Verfahren und Methoden zur nichtinvasiven Zustandsüberwachung des Inventars von Transport- und Lagerbehältern (TLB) bei verlängerter Zwischenlagerung. Im Ergebnis sollen Möglichkeiten bereitstehen, mit denen Veränderungen der thermischen und mechanischen Eigenschaften des Behälterinhalts detektiert werden können, ohne die TLB zu öffnen. Die Identifizierung von geeigneten Verfahren oder Verfahrenskombinationen leistet einen wichtigen Beitrag zur Langzeitsicherheit zwischengelagerter hochradioaktiver Abfälle, da damit Aussagen über die Transport- und Konditionierungsfähigkeit der radioaktiven Abfälle vor Verbringung ins Endlager möglich sind.

Im Teilprojekt der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) erfolgen zum einen die theoretischen, simulationsgestützten und experimentellen Analysen des möglichen Messprinzips der akustischen Schwingungsspektroskopie (passiv, aktiv). Zum anderen werden experimentelle Analysen zu den Messprinzipien Gammastrahlungsemission und Thermographie durchgeführt, um damit die simulationsgestützten Arbeiten beim Verbundpartner Technische Universität Dresden (TUD) zu unterstützen. Darüber hinaus erfolgt die Entwicklung fortgeschrittener Zustandsdiagnosemethoden für multimodale Datensätze (Daten von unterschiedlichen Messmethoden) sowie die Ausarbeitung einer Verfahrenskonzeption zur Behälterüberwachung in Zusammenarbeit mit dem Verbundpartner TUD.

Im Zuge der Bearbeitung wurden drei verschiedene Versuchsstände errichtet:

- **Versuchsanlage „Gammastrahlung“:** Mit der modular aufgebauten Versuchsanlage ist es möglich, verschiedenste Gammaflussverteilungen zu erzeugen bzw. nachzubilden und mittels acht Szintillationsdetektoren messtechnisch zu erfassen. Die Erzeugung der Gammaflussverteilungen erfolgt mit acht vertikal verfahrbaren <sup>137</sup>Cs-Quellen sowie dem skalierten Modell eines TLB vom Typ Castor V/19 mit darin befindlichen Tragekorb-Modell und 19 BE-Dummies.
- **Versuchsanlage „Thermographie“ und „Schwingungsanalyse“:** Die Versuchsanlage besteht aus einem skalierten (1:7,4) Modell eines Castors V/19 mit darin befindlichem Tragekorb-Modell. Weiterhin sind in das Tragekorb-Modell

19 Heizelemente mit jeweils einer Wärmeleistung von 100 W integriert. Mit einer Vielzahl von PT-100 oder auch der Infrarot-Thermographie können für verschiedenste Heizszenarien die sich einstellenden Temperaturverteilungen an der Außenwand des Castor V/19-Modells gemessen und visualisiert werden. Weiterhin kann mit der Versuchsanlage die aktive akustische Schwingungsspektroskopie (Schwingungsanalyse) untersucht werden. Dazu wird das Castor-Modell von außen mit einem Impulshammer angeregt und die resultierenden Schwingungen mittels drei Schwingungsaufnehmern gemessen. Für die Schwingungsmessungen kann das Castor-Modell wahlweise mit den 19 Heizelementen oder auch mit 19 befüllbaren Brennelement-Dummies bestückt werden.

- **Versuchsanlage „Schallemissionsanalyse“:** Die Versuchsanlage ermöglicht es, die Schallemission beim Bersten von druck- und temperaturbeaufschlagten Hüllrohren (bis 700 bar und 400 °C; eine Vielzahl anderer Prüfgeometrien realisierbar) innerhalb und außerhalb eines Berstcontainers (Entspannungsvolumen: ca. 8 m<sup>3</sup>) aufzuzeichnen und zu analysieren.

Eine zusammenfassende Darstellung zur Bewertung der verschiedenen, im Verbundvorhaben untersuchten Messverfahren ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Grundsätzlich lassen die bisherigen Untersuchungsergebnisse den Schluss zu, dass alle Messverfahren geeignet sind, wobei eine Kombination der verschiedenen Messverfahren am erfolversprechendsten für die nichtinvasiven Zustandsüberwachung des Inventars von Transport- und Lagerbehältern (TLB) erscheinen.

Tab. 4-1: Zusammenstellung der Bewertung für die verschiedenen Messprinzipien

	Gammastrahlung	Neutronenstrahlung	Myonentransmission	Myonenstreuung	Thermographie	Passiv akustisch	Schwingungsanalyse
Aufwand	+	+	-	-	+	o	o
Sensitivität	o	o	+	+	-	+	?
Räumliche Auflösung	BE	BE	BS	BE	B	BE	B
Messzeit	Min	Min	Std	Std	Sek	Sek	Sek

Brennstab (BS), Brennelement (BE), Behälter (B)

#### 4.1.2.7 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. (FH) Sebastian Braun, Steffen Härtelt
- Finanzierung:** Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Sächsische Aufbaubank (SAB), Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



**Laufzeit:** 01.12.2015 – 30.06.2019

**Bearbeitungsstand/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.

Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung eines experimentell validierten und skalierbaren Gesamtmodells für die Auslegung eines hochtransienten thermischen Speichersystems für thermische Energieanlagen. Dadurch wird ein Beitrag zur Flexibilisierung thermischer Energieanlagen unterschiedlicher Nennleistung geleistet. Im Fokus der Flexibilisierungsmaßnahmen steht die Bereitstellung von Regelenergie zur Stabilisierung des Verbundnetzes und Gewährleistung der Versorgungssicherheit der sächsischen Industrie mit Elektroenergie. Die Untersuchungen umfassen experimentelle Analysen für die hochtransiente Speicherung thermischer Energie im Minuten- und Stundenbereich.

Kern des avisierten Vorhabens bilden folgende Schwerpunkte:

- Definition der dynamischen Anforderungen und Randbedingungen zur Flexibilisierung thermischer Energieanlagen
- Experimentelle Untersuchungen zur Schaffung einer Datenbasis und Ermittlung charakteristischer Kenngrößen
- Methodische Untersuchungen zur Weiterentwicklung und Validierung von Modellen zur simulationsgestützten Auslegung, Skalierung und Integration des Speichersystems
- Entwurf und Erprobung von sicheren Regelungskonzepten für den Gesamtprozess
- Wissenstransfer in die sächsische Wirtschaft und Gesellschaft

Als Ergebnis liegt ein experimentell validiertes thermisches Energiespeichersystem (Abb. 4-6) für die Flexibilisierung thermischer Energieanlagen sowie Modelle für die simulationsgestützte Auslegung vor.

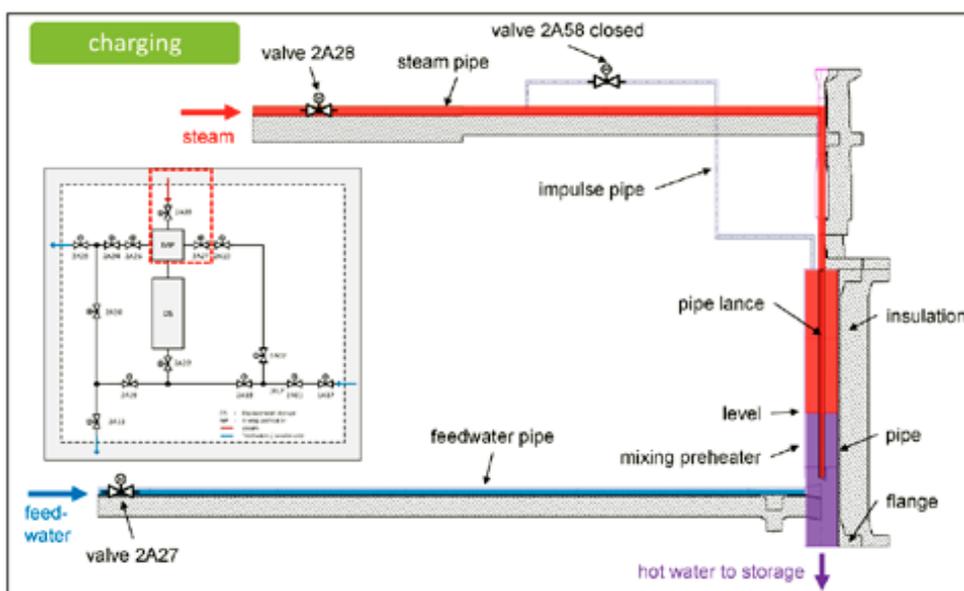


Abb. 4-6 Ausschnitt des validierten thermischen Energiespeichersystems

### 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, Satttdampf 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 Satttdampf. 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<sub>el</sub> zur Dampferzeugung eingebracht. Für experimentelle Prozessuntersuchungen wurde der Druckbehälter mit einem Volumen von 1 m<sup>3</sup> 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. 4-7 Versuchsanlage THERESA

4.1.3.2 Versuchsanlagen zum Projekt „Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung“

#### 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 der modular aufgebaute Versuchsstand „Gammastrahlung“ erfolgreich in Betrieb genommen.

Mit der Versuchsanlage (Abb. 4-8) ist es möglich, unterschiedlichste Gammflussverteilungen zu erzeugen und messtechnisch zu erfassen. Zur grundhaften Erzeugung werden acht in der Höhe verfahrbare  $^{137}\text{Cs}$ -Quellen (2) verwendet. Weiterhin beinhaltet der Versuchsstand ein skaliertes (1:7,4) Castor V/19-Modell mit Tragekorb-Modell und individuell befüllbaren Brennelement-Dummies (1) zur gezielten Beeinflussung der erzeugten Gammaflussverteilungen. An der Außenseite des Behälter-Modells werden die resultierenden Gammaflüsse gemessen. Das Strahlungsmesssystem besteht aus

acht Szintillationszählern, welche radial gleichverteilt auf einer vertikal verfahrbaren Aufnahme angeordnet sind.

Die Aufgabe des Versuchsstands ist die messtechnische Erfassung von erzeugter Gammaflussverteilung, um damit die Validierung von Strahlentransportrechnungen mittels MCNP (Monte-Carlo N-Particle Transport Code entwickelt von Los Alamos National Laboratory) an der Technischen Universität Dresden zu ermöglichen.

Abb. 4-8 zeigt den aus den folgenden Teilsystemen bestehenden Versuchsstand:

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

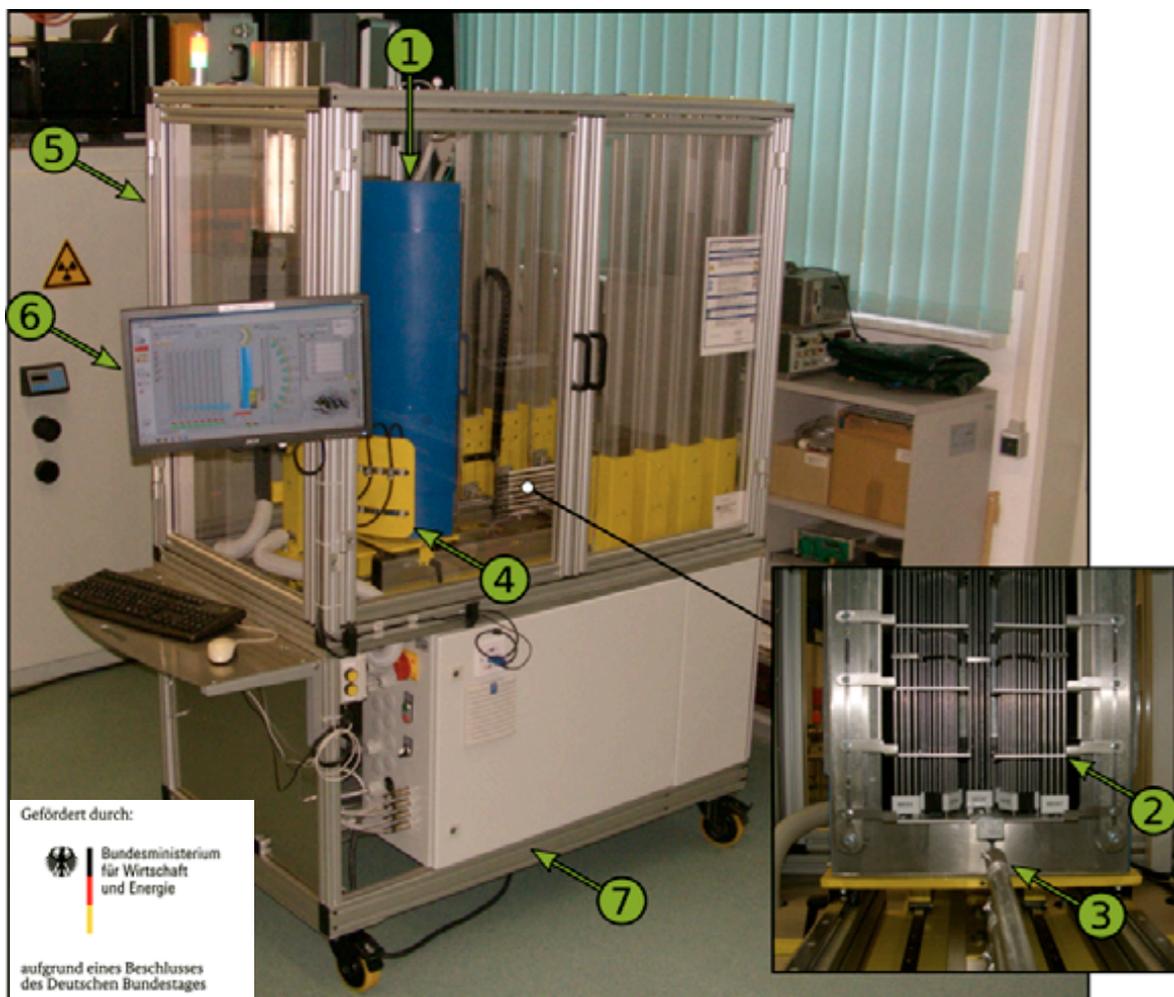


Abb. 4-8 Versuchsanlage Gammastrahlung

#### VERSUCHSANLAGE TEMPERATURFELD UND SCHWINGUNGSANALYSE

Im Rahmen des Verbundprojektes „Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung“ wurde die Versuchsanlage „Thermographie“ und „Schwingungsanalyse“ (Kurzbezeichnung: „TeSsa“) zur thermografischen und

schwingungsdynamischen Analyse von Transport- und Lagerbehältern konzeptioniert und errichtet. Diese besteht aus Folgenden Teilsystemen (siehe Abb. 4-9):

1. CASTOR V/19-Modell mit Temperatur- und Schwingungsinstrumentierung
2. 19-schächtiges Tragkorb-Modell
3. Heizaktorkit / 19 Heizelemente
4. Elektrotechnik-Schaltschrank mit Prozessleittechnik
5. Elektrotechnik-Schaltschrank mit Leistungselektronik
6. Gestell mit Hebeteknik

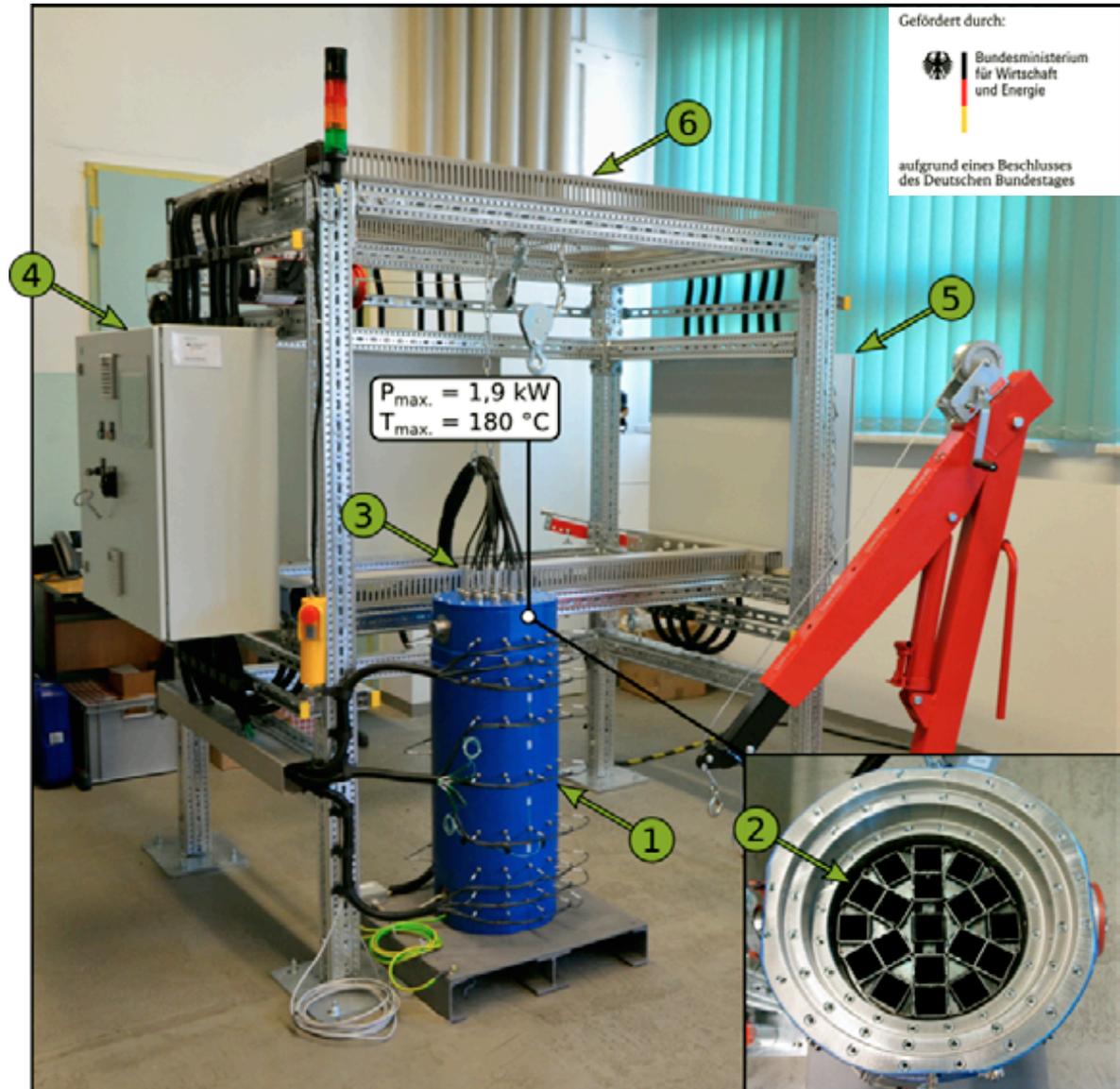


Abb. 4-9 Versuchsanlage „TeSsa“

Die Versuchsanlage ermöglicht es, Temperaturverteilungen an der Außenwand des skalierten (1:7,4) CASTOR V/19-Modells für unterschiedliche Heizleistungsszenarien aufzuzeichnen und zu visualisieren (45 x PT-100, Infrarot-Thermographie). Zur Temperaturerzeugung werden 19 Heizelemente mit Wärmeleistungen bis 100 W genutzt.

Weiterhin kann mit der Versuchsanlage die aktive akustische Schwingungsspektroskopie (Schwingungsanalyse) untersucht werden. Dazu wird das Castor V/19-Modell von außen mit einem Impulshammer angeregt und die resultierenden Schwingungen mittels drei Schwingungsaufnehmern gemessen. Für die

Schwingungsanalysen können zum einen die 19 Heizelemente genutzt werden, um damit Temperaturabhängigkeiten der Schwingungsantworten zu untersuchen. Zum anderen können 19 befüllbare Brennelement-Dummies in das Tragkorb-Modell eingesetzt werden, um den Einfluss von Massenänderungen auf das Schwingverhalten zu bestimmen.

### VERSUCHSANLAGE BERSTEN / ROHRPRÜFSTAND

Im Rahmen des Verbundprojektes „Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern (TLB) für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung“ (0) wurde für die Untersuchung der Schallemissionsanalyse eine Versuchsanlage mit der Kurzbezeichnung „Berta“ errichtet. Diese ermöglicht es Schallemissionen beim Bersten bzw. Platzen von druck- und temperaturbeaufschlagten (bis 700 bar und 400 °C; eine Vielzahl weiterer Prüfvolumen möglich) Hüllrohren innerhalb und außerhalb eines Berstcontainers aufzuzeichnen. Es werden verschiedene Szenarien in Abhängigkeit von Temperatur, Befüllung und Vorschädigung vorgegeben und die Rohre zum Bersten gebracht. Die dabei entstehenden Schallspektren werden erfasst und analysiert. Die Signaturen bilden die Grundlage für eine anschließende Signalverarbeitung, um Berstgeräusche sicher zu detektieren und von anderen akustischen Ereignissen mittels klassischer und moderner (Soft Computing/Maschinelles Lernen) zu unterscheiden.

Die Versuchsanlage besteht aus folgenden Teilsystemen (Abb. 4-10)

1. Begehbarer 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



Abb. 4-10 Versuchsanlage „Berta“

#### 4.1.4 Publikationen

##### PROCEEDINGS UND JOURNALBEITRÄGE

*Müller-Seelig, V., Schneider, C., Braun, S., Klette, T., Kratzsch A.:* Concept development for a high flexible tool to integrate thermal energy storages into power plant processes; Tagungsband innowacyjnosc gospodarki dolnego slaska i progranicza, Jelena Gora, Mai 2018

*Klette, T.; Braun, S.; Kratzsch, A.; Schneider, C.:* Model development and dynamic simulation of a thermal high-performance storage system with the simulation code ATHLET to increase the flexibility of thermal power plants, International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications Vol. 7, No. 2, April 2018, pp. 43-50, ISSN: 2319-2518

*Klette, T., Gubsch, T., Vogel, C., Kratzsch, D., Braun, S., Härtelt, S., Kratzsch, A.:* ATHLET simulation code: Model validation of a thermal high-performance storage system, 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable and Renewable Energy Engineering, University of Salamanca, Zamora, Spain, 09.-11.05.2018

*Braun, S., Kratzsch, A.:* Thermische Energiespeicher für die Sektorenkopplung, Smart Energy 2018, 7. – 9. November 2018, Dortmund, pp. 36-46, ISBN 978-3-86488-144-2

*Müller-Seelig, V., Kratzsch, A., Schneider, C., Klette, T.:* Zukunftssichere Stromerzeugung durch die Integration eines thermischen Energiespeichers in Wärmekraftwerke, Smart Energy 2018, 7. - 9. November 2018, Dortmund, pp. 47-57, ISBN 978-3-86488-144-2

*Schmidt, S., Fiß, D., Reinicke, S., Wagner, M., Rachamin, R., Kratzsch, A., Hampel, U.:* Development of a Monitoring Concept for Transport and Storage Containers for Spent Fuel and Heat-Generating High-Level Radioactive Waste on Prolonged Intermediate Storage. Proceedings of the 49<sup>th</sup> Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT49), Berlin, 2018

##### VORTRÄGE

*Hampel, U., Kratzsch, A., Rachamin, R., Wagner, M., Schmidt, S., Fiß, D., Reinicke, S.:* Investigations on potential methods for the long-term monitoring of the state of fuel elements in dry storage casks. 2<sup>nd</sup> Workshop on Safety of Extended Dry Storage of Spent Nuclear Fuel, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Garching, 2018

*Kratzsch, A., Hampel, U., Schmidt, S., Fiß, D., Reinicke, S., Rachamin, R., Wagner, M.:* Methoden zum nichtinvasiven Monitoring von Trockenlagerbehältern mit abgebrannten Brennelementen im Zwischenlager. 50. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 2018

*Schmidt, S., Fiß, D., Reinicke, S., Wagner, M., Rachamin, R., Kratzsch, A., Hampel, U.:* Development of a Monitoring Concept for Transport and Storage Containers for Spent Fuel and Heat-Generating High-Level Radioactive Waste on Prolonged Intermediate Storage. 49<sup>th</sup> Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT49), Berlin, 2018

*Fiß, D.:* Wie könnte man in einen CASTOR schauen? (<https://youtu.be/sQz6T5sHtJc>); 1. Saxony5 Science Slam; Hochschule Mittweida, 2018

*Müller-Seelig, V., Schneider, C., Braun, S., Klette, T., Kratzsch A.:* Concept development for a high flexible tool to integrate thermal energy storages into power plant processes; 12<sup>th</sup> international conference of young scientists of Lower Silesian Voivodship and of the Academic Coordination Centre in Euroregion Neisse-Nisa-Nysa, Mai 2018

*Klette, T.: ATHLET simulation code: Model validation of a thermal high-performance storage system, 3rd International Conference on Sustainable and Renewable Energy Engineering, University of Salamanca, Zamora, Spain, 09.-11.05.2018*

*Gubsch, T.: Thermal energy storage in times of the „German Energiewende“, Baltic University Programme Students Conference, Zittau, 29.05.2018*

*Klette, T.: Dynamische Simulation und Validierung eines thermischen Hochleistungsspeichersystems mit dem Simulationscode ATHLET, Dies Academicus, Mittelherwigsdorf, 06.06.2018*

*Kratzsch, A.: Thermische Energiespeicher für die Sektorenkopplung, Smart Energy 2018, 7. – 9. November 2018, Dortmund*

*Müller-Seelig, V., Kratzsch, A., Schneider, C.: Zukunftssichere Stromerzeugung durch die Integration eines thermischen Energiespeichers in Wärmekraftwerke, Smart Energy 2018, 7. - 9. November 2018, Dortmund*

#### POSTER

*Müller-Seelig, V., Kratzsch A.: Zukunftssichere Stromerzeugung – Entwicklung einer Auslegungsmethode für die Dimensionierung und Integration thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess, 50. Kraftwerkstechnisches Kolloquium Dresden, 23. – 24.10.2018*

*Kratzsch, A., Hampel, U., Schmidt, S., Fiß, D., Reinicke, S., Rachamin, R., Wagner, M.: Selected experimental and simulative results in the cooperative project – DCS-Monitor. Doktorandenseminar Kompetenzzentrum Ost für Kerntechnik, Zittau, 2018*

#### 4.1.5 Studentische Abschlussarbeiten

Thema 1: **Development of an artificial neural network for spectral data**

Bearbeiter: Dedeken, Theo

Betreuer: Daniel Fiß, Sebastian Schmidt

Auftraggeber: IPM

Thema 2: **Development of measured value evaluation script**

Bearbeiter: Dhar, Shemul Sutra

Betreuer: Daniel Fiß, Sebastian Reinicke

Auftraggeber: IPM

Thema 3: **Development of an interactive Application for the Virtual Reality**

Bearbeiter: Hussein, Omar

Betreuer: Daniel Fiß, Christian Vogel

Auftraggeber: IPM

Thema 4: **Erweiterte Bearbeitung und Entwicklung eines Informationsmodells für die modular gestaltbaren Abscheider- und Filtrationsanlagen**

Bearbeiter: Ahmed Idriss Mustafa Omer

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Auftraggeber: ULT

## 4.2 Kerntechnik / Soft Computing

### 4.2.1 Überblick

**Fachgebietsleiter:** Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

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

#### **Aufgabenfelder:**

- Nukleare Sicherheitsforschung
  - gesicherte Sumpfansaugung
  - Kühlmittelverluststörfälle (KMV) mit Partikelentstehung und -freisetzung
  - KMV mit Korrosionsprozessen und den daraus resultierenden physikochemischen Effekten
  - methodische und experimentelle Untersuchungen zu Partikelströmungen
- Anlagen- und Reaktorsicherheit
  - 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)
- 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 Weiterentwicklung des Diagnose- und Prognosetool für Maschinentransformatoren und Vorbereitung eines Beratungssystems**

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Inf. Jana Hänel, Dipl.-Math. Tom Förster
<b>Finanzierung:</b>	Lausitz Energie Kraftwerke AG



**Laufzeit:** II. Quartal 2017 – I. Quartal 2018

**Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Um den zuverlässigen Betrieb von Maschinentransformatoren zu gewährleisten, wird deren Betriebszustand überwacht. Dies geschieht durch kontinuierliche Erfassung von Systemparametern (Monitoring) und dem Vergleich dieser Parameter mit dem Soll-Zustand. Bestehende Abweichungen ermöglichen Rückschlüsse auf vorliegende Fehler und ermöglichen die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen vorheriger Projekte wird eine bestehende Software weiterentwickelt, welche Diagnose- und Prognosealgorithmen zur Zustandsbewertung von Transformatoren für den Anwender nutzbar macht und alle wichtigen Informationen zum Betriebszustand dem Operator in Form eines Reportes zur Verfügung stellt. Im Rahmen dieses Projektes wird das Expertenwissen über notwendige Handlungen bei auftretenden Fehlern bzw. bei definierten Ereignissen erfasst und dokumentiert.

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

4.2.2.2 *Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV  
(Kurztitel: Zinkborat; Fkz 150 1491)*

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

**Mitarbeiter:** Dr.-Ing. Stefan Renger, Dr.-Ing. André Seeliger, Dipl.-Ing. Sören Alt, F. Zacharias, M. Pfeiffer

**Finanzierung:** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Projekträger: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit GRS mbH

**Kooperationspartner:** Technische Universität Dresden (TUD)  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

**Laufzeit:** 01.03.2015 – 30.11.2018

**Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Im Falle eines KMV hat durch Korrosion im Kühlmittel freigesetztes Zink das Potenzial, bis in den Reaktorkern zu gelangen und sich in Heißkanälen in feste Korrosionsprodukte umzuwandeln. Generische Experimente wiesen u.a. eine mögliche Gefährdung der Nachwärmeabfuhr durch diese Produkte nach, welche sich zum Teil schichtbildend auf Heißstellen anlagern. Im geplanten Vorhaben wird diese Problematik im Sinne sicherheitsrelevanter Fragestellungen auf in einer realen DWR-Anlage anzunehmende Leckgrößen und Nachkühlbedingungen sowie damit verbundene thermohydraulische Randbedingungen in SHB und Reaktorkern bezogen. Hierfür sind einerseits aus den Erfahrungen vorhandener analytischer und experimenteller Untersuchungen bezüglich KMV in DWR und andererseits durch ergänzende thermohydraulische Simulationsrechnungen solche Zustände/Bedingungen abgrenzend zu ermitteln, bei denen eine mögliche Gefährdung der Kernkühlung aus Sicht vorhandener Erkenntnisse zu den physikochemischen Effekten eintreten könnte. Die quantitative Analyse der Versuchsdaten zum zeitlichen Ablauf des Quelle-Senke-Mechanismus der Zinkkorrosion und der Umwandlung des Zinks in feste Produkte unter realen Störfallbedingungen stellt dabei auf Grund der Komplexität und der gegebenen Rückwirkungen eine Herausforderung dar.

4.2.2.3 *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. Hassan Chahi, Dipl.-Ing. Sören Alt

**Finanzierung:** Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Bundesministerium  
für Bildung  
und ForschungProjekträger 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:**

In einer Kombination von Experiment und Simulation werden erweiterte Kenntnisse über die Wärmetransportprozesse im Fall eines teilweise bzw. vollständig ausgedampften Brennelement-Lagerbeckens (BE-LB) sowohl innerhalb der Brennstabbbündel von Brennelementen (BE) als auch in den Zwischenräumen zwischen den BE gewonnen. Das Strömungs- und das Temperaturfeld im Bereich des BE-Kopfes stehen im Fokus des Interesses, weil die dortigen Verhältnisse den axialen Wärmetransport aus dem BE heraus entscheidend beeinflussen.

Die Basis der experimentellen Untersuchungen bilden die im Verbundvorhaben errichteten Versuchsanlagen ALADIN bei TUD-WKET und DVABEG der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG-IPM) sowie die bei TUD-ASP entwickelten Messmethoden.

Für die angestrebte Modellierung mit Integralcodes (TUD-WKET und HSZG) und CFD-Codes (TUD-ISM und HZDR) werden Messdaten benötigt, die an den Versuchsanlagen gewonnen werden.

Es wurden die Abmessungen der Komponenten des Druckwasserreaktors (DWR) - LB bestimmt, um die Gestaltung (Konstruktion, Geometrie) des Versuchsstandes mit der BE-Konfiguration  $3 \times 1$  abzuleiten. Daraus resultierte die Fertigstellung des Konzeptes zur Festlegung der Geometrie. Aus der komplexen Geometrie und den Bestandteilen des Kompaktlagergestells (KLG) wurde eine Konfiguration abgeleitet, die auf einer KLG-übergreifenden, asymmetrischen Anordnung basiert. Der Versuchsstand wurde gefertigt, aufgebaut und in Betrieb gesetzt. Eine Versuchsmatrix für die geplanten Experimente wurde aufgestellt.

Nach der Inbetriebnahme wurden experimentelle Untersuchungen zur Erstellung des Geschwindigkeitsprofils der Horizontalströmung durchgeführt. Bei den experimentellen Untersuchungen mit Vertikalströmung ohne Horizontalströmung wird optisch und messtechnisch das Verhalten der Strömung unter dem Einfluss des Absorberschachtes analysiert, wobei dies bei den Einzeleffektexperimenten mit dem Einzel-BE-Dummy nicht berücksichtigt wurde.

Für Analysen mit dem Systemcode COCOSYS zum erweiterten Versuchsstand DVABEG wurden die Stoffwerte für das Arbeitsmedium Argon implementiert, welches als Modellgas bei den Experimenten vorgesehen ist. Auf Basis der Festlegungen zu Konstruktion und Geometrie wurde ein Nodalisierungsschema für den konzipierten

Versuchsstand aufgestellt. Diese Simulationen mit COCOSYS für den kleinskaligen Versuchsstand beinhalteten Versuche mit Modellgas (Argon) für die Horizontalströmung und Luft als Arbeitsmedium für die Vertikalströmung.

Weiterhin wurden Berechnungen mit dem TH-Modul des Systemcodes COCOSYS für originale DWR-LB durchgeführt und die Parameter Wasserstand und Temperaturverteilung im BE nach bekannten Literaturangaben nachgerechnet. Als Ergebnis dieser Analysen zeigte sich die gute Eignung des COCOSYS-Codes zur transienten Simulation von Gasströmungen oberhalb der BE-Lagergestelle im Bereich BE-LB mit übergeordnetem Dom im meso- bis großskaligen Bereich. Insbesondere werden gute Simulationsergebnisse zu:

- Druck, Temperaturen, Konzentrationsverteilungen von Wasserdampf/Luft in den Zonen
- Größe und Richtung von Massenströmen in den Junctions

für verschiedene Beladeschemata erzielt.

Der Eintrag von Nachzerfallsleistungen in Wasser- und Gaszonen kann bei Kenntnis der Anordnung der BE und der zeitlichen Füllstandsabsenkung (aus Experimenten und anderen Simulationen) als zeitliche Randbedingung vorab gut aufgeteilt werden.

#### 4.2.2.4 Erweiterung und Anpassung der Transformator Datenbank der Firma LEAG

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

**Mitarbeiter:** Dipl.-Inf. Jana Hänel

**Finanzierung:** VPC GmbH



**Laufzeit:** I. Quartal 2018 – II. Quartal 2018

**Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Die Firma LEAG besitzt eine Transformator Datenbank. Diese beinhaltet die Messdaten von Monitoring-Systemen und Laboranalysen vieler in der Firma vorhandener Maschinentransformatoren. Mit Hilfe einer Softwareapplikation kann der Benutzer der Transformator Datenbank Daten importieren, ändern bzw. löschen, sowie auswerten und grafisch darstellen lassen. Um die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen und den Funktionsumfang dieser Applikation zu erweitern, waren Anpassungen im Quellcode vorzunehmen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Importfunktionen für Messdaten von unterschiedlichen Monitoring-Systemen erweitert und Filterfunktionen für Reservetransformatoren und Probenahmestellen implementiert. Außerdem wurden Möglichkeiten zur Eingabe und Anzeige von Inspektionskennzahlen geschaffen, sowie zum Speichern in die Transformator Datenbank. Die eingegebenen Inspektionskennzahlen werden zu Bewertungskennzahlen für den Transformatorzustand weiterverarbeitet. Diese können grafisch in der Benutzeroberfläche transformator- und standortabhängig angezeigt werden.

#### 4.2.2.5 Anpassung der Transformator Datenbank der Firma LEAG

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Inf. J. Hänel
<b>Finanzierung:</b>	Lausitz Energie Kraftwerke AG



**Laufzeit:** III. Quartal 2018 – I. Quartal 2019

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Um den zuverlässigen Betrieb von Maschinentransformatoren zu gewährleisten, wird deren Betriebszustand überwacht. Dies geschieht durch kontinuierliche Erfassung von Systemparametern (Monitoring) und den Vergleich dieser Parameter mit dem Soll-Zustand.

Die Firma LEAG besitzt eine Transformator Datenbank. Diese beinhaltet die Messdaten von Monitoring-Systemen und Laboranalysen vieler in der Firma vorhandener Maschinentransformatoren. Mit Hilfe einer Softwareapplikation kann der Benutzer der Transformator Datenbank Daten importieren, ändern bzw. löschen, sowie auswerten und grafisch darstellen lassen.

Ziel des Projektes, welches aus mehreren kleinen Teilprojekten besteht, ist die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen und den Funktionsumfang dieser Applikation zu erweitern. Dafür wurden die Instandhaltungsmaßnahmentabelle der VGB (Stand Juni 2018) implementiert, sowie die Importfunktionen für Messdaten von unterschiedlichen Monitoring-Systemen erweitert. Um das entwickelte Diagnose- und Prognosetool für Maschinentransformatoren auch in der Transformator Datenbank nutzen zu können, wurde dieses Tool angepasst, indem Schnittstellen zum externen Programmaufruf geschaffen und das Diagnosetool um die Ableitung von Handlungsempfehlungen aus dem Betriebszustand erweitert wurde.

### 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 x 1 m x 3 m großem Wannenbehälter als Speicher (Abb. 4-11). Der Behälter verfügt über eine freie Fall- und Sprühsektion (Abb. 4-12). 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. 4-11 Der Wannenbehälter der Zittauer Strömungswanne (ZSW)

- Sprühbild des Freistrahls und Lage der Freien-Fall-Sektion variierbar
- maximale Füllhöhe im Wannenbehälter: 2,6 m
- Umwälzpumpe mit Förderleistung bis 180 m<sup>3</sup>/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



Abb. 4-12 Korrosionsuntersuchungen an verzinkten Metallteilen in einem simulierten Leckstrahl

#### 4.2.3.2 Druckhalter

Die Druckhalterversuchsanlage (DHVA) dient der Analyse von Phänomenen in thermo-hydraulischen Zweiphasenströmungen (Abblasen, Ausdampfen, Kondensation). Als Medien fungieren Wasser und Dampf. Die DHVA findet auch als Dampferzeuger für andere Versuchsanlagen Verwendung (siehe Fragmentierungsanlage).

Auslegungsparameter:

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

#### 4.2.3.3 Fragmentierungsanlage

Bei der Fragmentierungsanlage handelt es sich um einen Edelstahldruckbehälter mit 5,8 m<sup>3</sup> 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 Ringleitung II

Der modular aufgebaute Versuchsstand "Ringleitung II" repräsentiert einen Strömungskreislauf mit variabel zu- und abschaltbaren vertikalen und horizontalen Versuchsstrecken aus Plexiglas. Er dient der Untersuchung von Einzeleffekten und des Integralverhaltens von Mehrphasenströmungen (Abb. 4-13).

- Optische Kontrolle und Anwendung der Digitalen Bildverarbeitung (DBV) an den Plexiglas-Komponenten
- Analyse des Anlagerungs- und Penetrationsverhaltens von Feststoffpartikeln an Rückhaltevorrichtungen (Siebe, Filter) bei verschiedenen Volumenströmen
- Analyse des Sedimentations- und Resuspensionsverhaltens von Feststoffpartikeln bei verschiedenen Volumenströmen
- Analyse des Anlagerungsverhaltens freigesetzter Feststoffpartikel an komplexen Geometrien
- Erweiterbarkeit der Versuchsstrecke um zusätzliche Module wie z. B. Heizstabkonfigurationen

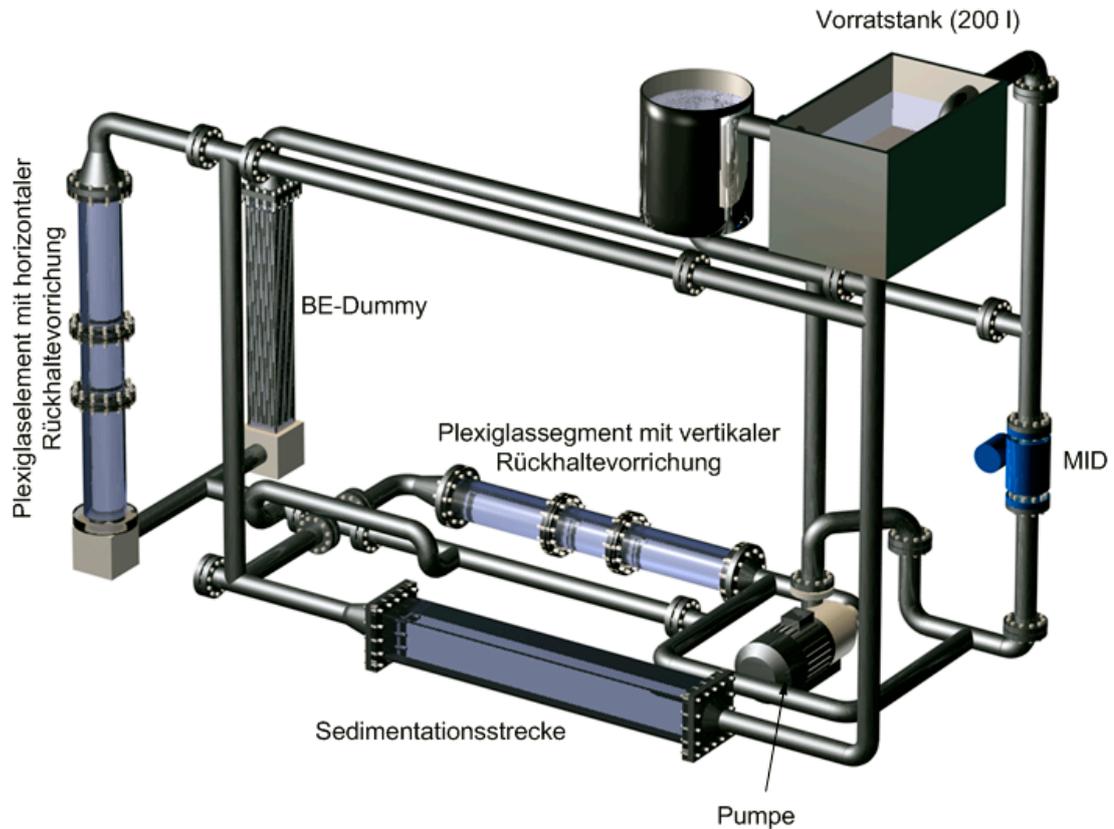


Abb. 4-13 Schematische Darstellung des Versuchsstands "Ringleitung II"

#### 4.2.3.5 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. 4-14) und einem horizontalen Überströmkanal, welcher gleichzeitige horizontale und vertikale Einstromungen von Gasen und Markierern erlaubt.

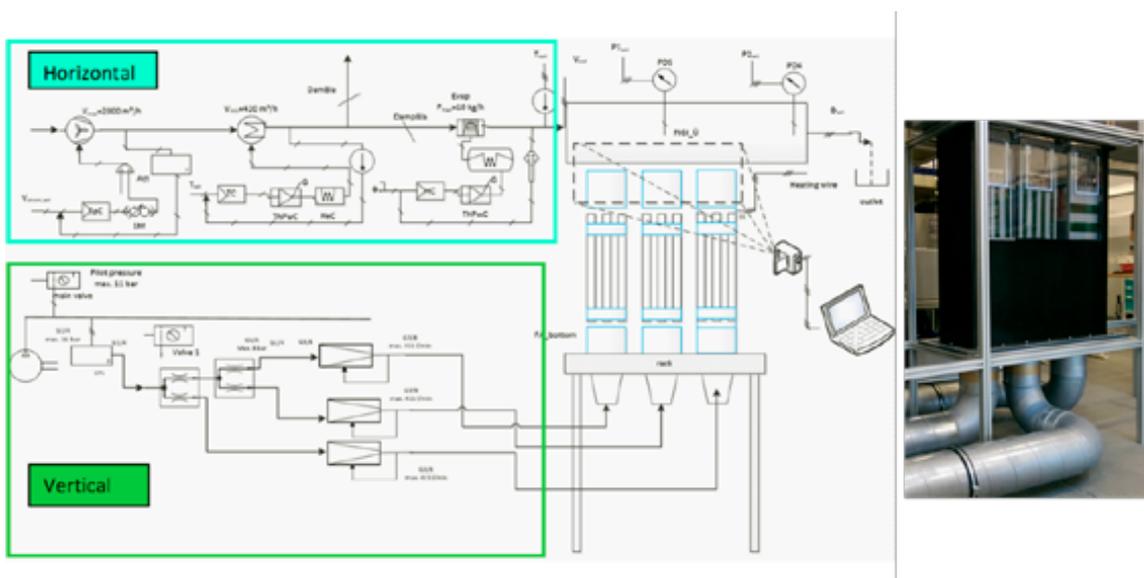


Abb. 4-14 Aufbau der 3 x 1-Konfiguration des Versuchsstands DVABEG

- Einsatz von homogenem Nebel zur Visualisierung und Vermessung der Strömungsformen (Strömungsmarkierer; Abb. 4-15)
- 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

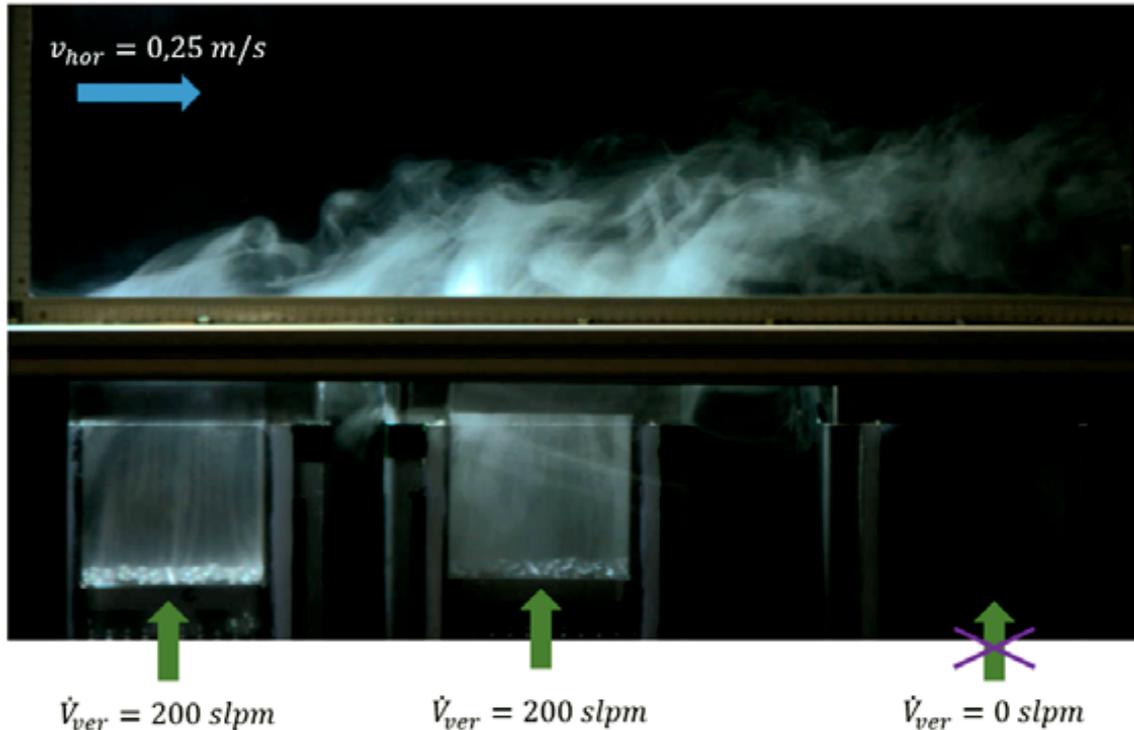


Abb. 4-15 Visualisierung horizontaler und vertikaler Luftströmungen in einer BE-Konfiguration des Versuchsstandes DVABEG

#### 4.2.3.6 Plexiglasversuchsstände

##### VERSUCHSSTAND „SÄULE“

Hierbei handelt es sich um eine 3 m hohe transparente Sedimentationsstrecke, welche eine uneingeschränkte Beobachtung von z. B. sinkenden Partikeln, sedimentierenden Materialien sowie Kameraaufnahmen auf mehreren Höhenpositionen ermöglicht.

##### VERSUCHSSTAND „TANK“

Der Plexiglastank dient der experimentellen Analyse von Effekten, die beim Auftreffen eines Wasserstrahls auf eine Wasservorlage auftreten. Die Leerrohrgeschwindigkeit kann dabei zwischen 0,5 – 8 m/s variiert werden. Mit einer Prallplatte lassen sich Strahlaufweitung und -form variieren. Untersucht werden hier u. a.:

- Eintragstiefe von Luftblasen
- Strömungsprofil in der Wasservorlage und der Temperaturschichtung
- Remobilisierungsverhalten von Sedimenten (Isoliermaterialfasern)
- Korrosionsprozesse an Metallproben (z. B. verzinkte Gitterroste, Zink in Granalienform)
- Aufbereitung (Mischung) und Speicherung von Flüssigkeiten (z. B. Kühlmittel mit Borsäure, Additiven)

#### 4.2.3.7 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. 4-16 Beheizbarer Brennelemente-Dummy

- Brennelemente (BE)-Dummy eines Druckwasserreaktors (DWR) mit 16×16 Brennstabsimulatoren (Abb. 4-16)
- 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. 4-17) 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-Digital-kamerasystem

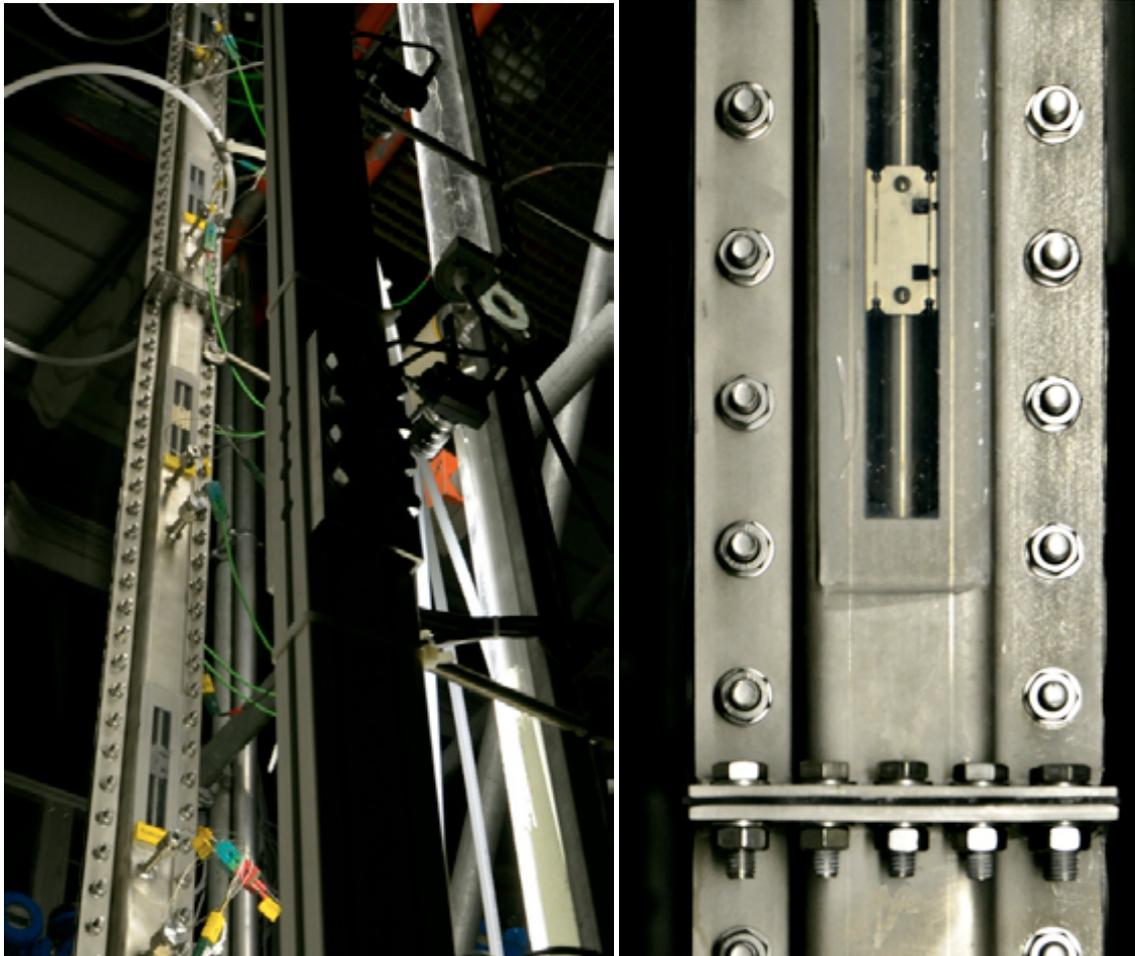


Abb. 4-17 Versuchsstandskomponente CORVUS (links); Edelstahl-Gehäuse mit 3x3-Heizstab-konfiguration in originaler Brennstablänge (rechts)

#### 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, Freistrahler, 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. 4-18) 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

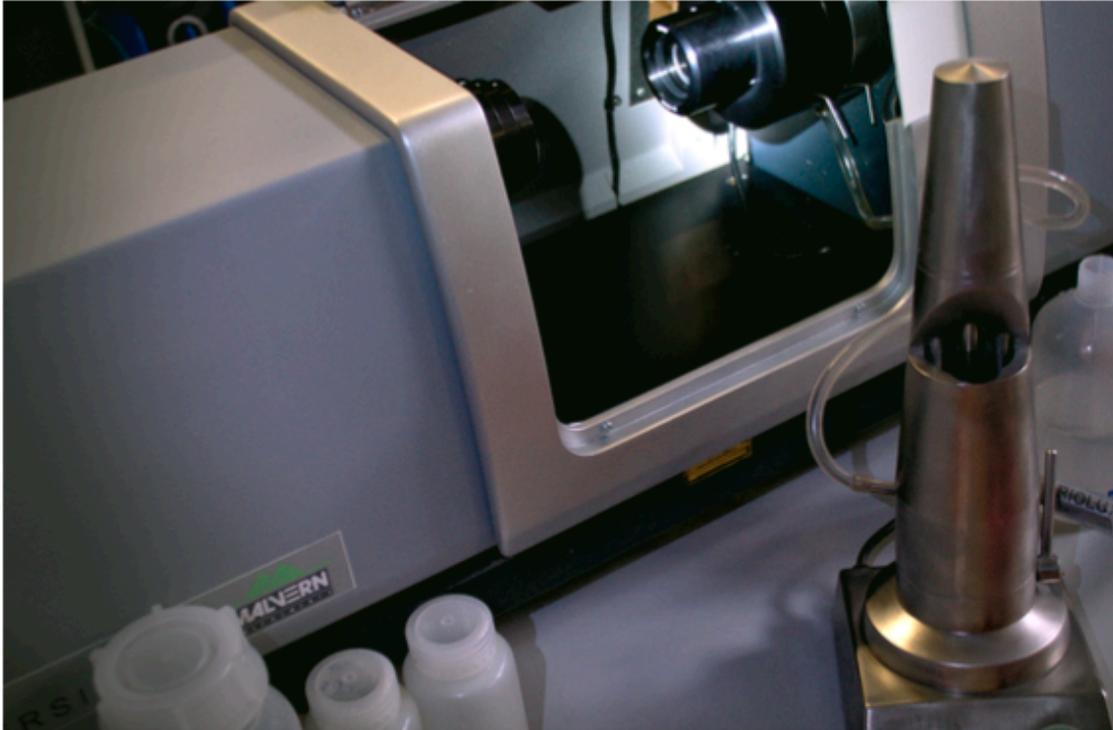


Abb. 4-18 Particle Analyzer

#### 4.2.4.6 Weitere optische Messtechnik



Abb. 4-19 Kompaktes Mehrkammersystem für den Einsatz in Forschung und Industrie (links), Lasersensoren für Trübungsmessung in flüssigen Medien und Objektvermessungen (rechts)

- Portables USB-Mehrkammersystem (Abb. 4-19 links)
- Digitale Lasersensoren für Objektvermessungen und Bestimmung von Trübungsgraden in transparenten Medien (Abb. 4-19 rechts)

#### 4.2.5 Publikationen

##### PROCEEDINGS UND JOURNALBEITRÄGE

Renger, S., Alt, S., Gocht, U., Kästner, W., Seeliger, A., Kryk, H. & Harm, U.: Multiscaled Experimental Investigations of Corrosion and Precipitation Processes After

Loss-of-Coolant Accidents in Pressurized Water Reactors. Nuclear Technology, 2018, 205, 248-261

*Krüger, T., Kästner, W., Hänel, J., Förster, T.:* Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel auf Basis eines Diagnose- und Prognosetools. 50. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 23. – 24. Oktober 2018, Dresden

*Chahi, H.:* Investigation of density driven exchange of gases in spent fuel storage pool of pressurized water reactor, The 12<sup>th</sup> International Topical Meeting on Reactor Thermal-Hydraulics, Operation, and Safety (NUTHOS-12), 14. – 18. Oktober 2018, Qingdao, China

*Chahi, H., Kästner, W., Alt, S.:* Experimental investigations to density driven exchange of gases at the upper part in PWR-spent fuel pool racks with an extended 3x1 FA-dummy configuration, Doktorandenseminar des Kompetenzzentrums Ost für Kerntechnik (KompOst-2018), 13. Dezember 2018, Zittau

#### 4.2.6 Betreuung von Promovenden

##### **Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner:**

Chahi, Hassan; Dichtegeliebene vertikale Austauschbewegungen von Gasen in Stabbündelgeometrien (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 automatisierungstechnischer 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 techn. 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

#### Applikationsfelder:

- Magnetlagertechnik
- Quelloffene Technologien für eingebettete Systeme

#### 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*

**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:** Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA)



**Laufzeit:** 01.12.2015 – 30.11.2018

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Die berührungsfreie und damit verlustarme sowie verschleißfreie Lagerung von Rotoren in Magnetlagern führt zu erheblichen Wirkungsgradverbesserungen gegenüber Wälz- oder Gleitlagern. Unter extremen Umgebungsbedingungen oder hohen Temperaturen wird der Einsatzbereich von Magnetlagern jedoch eingeschränkt oder nur durch zusätzliche Hilfssysteme möglich, welche die erzielbaren Wirkungsgradverbesserungen reduzieren. Ziel des Projektes ist es daher, für einen langzeitstabilen, zuverlässigen und sicheren Betrieb von Magnetlagern unter diesen Umgebungsbedingungen Lösungen bereitzustellen. Das Magnetlager als mechatronisches System besteht dabei in seiner Gesamtheit aus den Komponenten magnetischer Aktor, Lagesensoren, Messwerterfassungs-, Regel- und Leistungselektronik sowie den Fanglagern.

Zur Erreichung der Zielstellung ist das Projekt in folgende komplexe Arbeitspakete gegliedert:

1. Entwicklung von Modellen zur Simulation von Magnet- und Fanglagern unter applikationsspezifischen Belastungen
2. Entwicklung und Test eines Sensorsystems für den Einsatz unter extremen Umgebungsbedingungen
3. Untersuchung von Gleitlagern zur Verwendung als Fanglager unter Berücksichtigung der Tribologie
4. Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum sicheren Betrieb magnetgelagerter Rotoren unter Extrembedingungen

Im ersten Arbeitspaket wurde zunächst untersucht, welche Einflüsse hohe Umgebungstemperaturen und aggressive Umgebungsbedingungen auf die Magnetlager- und Sensorauslegung haben. In einem zweiten Schritt wurden Werkstoffe für die Lagerkomponenten (Magnetlager, Sensor, Fanglager) recherchiert, die den Umgebungsbedingungen langzeitstabil standhalten. Der Algorithmus zur Auslegung von Magnetlagern wurde um einen Optimierungsalgorithmus nach der Methode der Particle-Swarm-Optimization erweitert. Damit wird es möglich, für gegebene Randbedingungen mittels Parametervariation eine optimale Magnetlagergeometrie zu ermitteln. Abb. 4-20 zeigt beispielhaft die Magnetlagergeometrie nach der Initialisierung und das Ergebnis nach 250 Iterationen. Der Bauraum wurde hier radial deutlich reduziert.

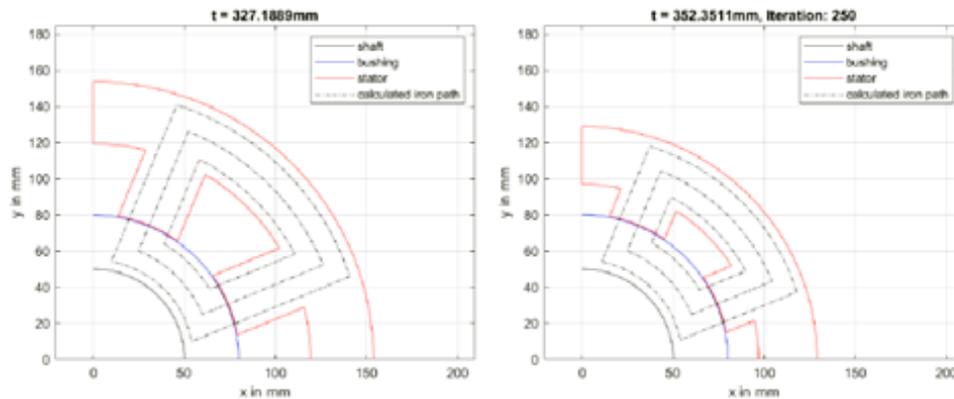


Abb. 4-20 Magnetlagergeometrie nach der Initialisierung und nach 250 Iterationen

Des Weiteren wurde ein Komplexmodell zur Simulation magnetgelagerter Maschinen am Beispiel des Magnet- und Fanglagerprüfstandes MFLP entwickelt, das sämtliche die Dynamik des Regelkreises beeinflussenden Komponenten einer magnetgelagerten Maschine berücksichtigt. Hervorzuheben ist dabei die Verwendung eines elastischen Rotormodells. Zudem wurde ein vereinfachtes Fanglagermodell entwickelt und implementiert, um die notwendigen Schnittstellen für künftige Untersuchungen bereitzustellen.

Im zweiten Arbeitspaket wurde auf der Basis der Ergebnisse des ersten Arbeitspaketes das induktive Messprinzip zur Ermittlung der Rotorlage ausgewählt, da dieses allen gestellten Anforderungen genügt. Es beruht auf der rotorlageabhängigen Änderung der Induktivität des Sensors, die über eine Brückenschaltung erfasst wird. Für den praxisnahen Test unter erhöhtem Temperatureinfluss wurde ein Sensor ausgelegt und konstruiert, der sowohl die radiale als auch die axiale Rotorauslenkung erfasst. Parallel dazu wurde eine Sensorelektronik konzipiert. Die Abb. 4-21 zeigt den konzipierten Sensor zur kombinierten Messung der axialen und radialen Rotorauslenkung.



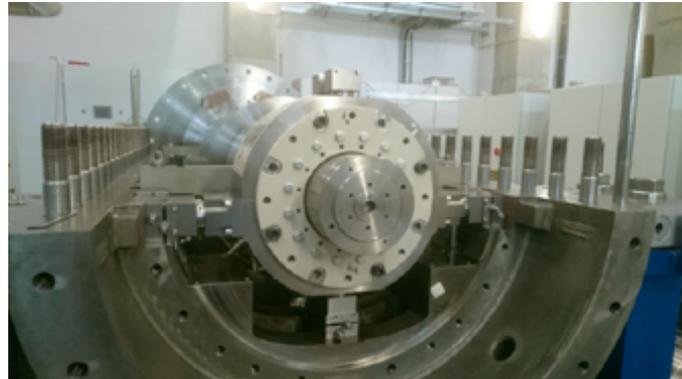
Abb. 4-21 Sensorstator zur kombinierten Messung der axialen und radialen Rotorlage

Die Sensorteile befinden sich derzeit in der Fertigung. Nach Lieferung erfolgen der Zusammenbau der Sensorbaugruppen und die Montage des Sensors. Danach wird der Sensor kalibriert und getestet.

Im dritten Arbeitspunkt wurden ausgehend von den Ergebnissen der theoretischen Untersuchungen zur Eignung verschiedener Materialien für den Einsatz als Fanglagerwerkstoff in Kooperation mit der TU Chemnitz Experimente zur Ermittlung von Kenngrößen an einem Kleinversuchsstand durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Materialkombinationen getestet und die Reibwerte und der Verschleiß ermittelt.

Für den Versuchsstand MFLP wurde ein Gleitfanglager konstruiert und gefertigt. Dazu wurden im Vorfeld experimentelle Untersuchungen zur Festigkeit der erforderlichen

Schweißverbindungen zwischen den Gleitpads und dem Trägermaterial durchgeführt und die optimalen Schweißparameter ermittelt. Nach den erstellten Konstruktionsunterlagen wurde das Gleitfanglager gefertigt und am MFLP montiert. Abb. 4-22 zeigt das im Versuchsstand montierte Gleitfanglagergehäuse.



*Abb. 4-22 Gleitpads im Träger und Gleitfanglager im Versuchsstand MFLP montiert*

Im Rahmen des vierten Arbeitspunktes wurden Störungen und Störfallszenarien für kraftwerkstypische Strömungsmaschinen analysiert und die Wirkungen verschiedener Schädigungsmechanismen untersucht. Des Weiteren wurde herausgearbeitet, dass die Belastungsintensität im Magnetlagersystem mit der Widerstandsfähigkeit der Lagerkomponenten eng verknüpft ist. Parameterdriften verändern die Belastungsintensität und somit die Widerstandsfähigkeit der Magnetlagerung. Mit Hilfe physikalischer Modellansätze können elektrische, thermische und mechanische Belastungsintensitäten arbeits- und lastpunktabhängig simuliert werden.

Weiterhin wurde untersucht, inwieweit die Alterung von Lagerkomponenten in der Zuverlässigkeitsanalyse mit Hilfe verhaltensbasierter Modellansätze berücksichtigt werden kann. Erfahrungsgemäß driften die Belastungsgrenzen mechanischer und elektronischer Systeme mit zunehmendem kalendarischem Alter ganz unterschiedlich. Es wurde die Frage erörtert, welche Methoden sich zur Simulation der Alterung der Komponenten eignen. Fuzzy-Logik-Modelle erweisen sich dafür als geeignet, die Untersuchungen zur Verifikation dazu sind plausibel. Die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit des aktiven Magnetlagers kann unter Anwendung der Fehlerbaumanalyse berechnet werden. Dazu ist eine tiefgreifende Analyse der Regelkreiscomponenten erforderlich und die komponentenspezifischen Versagensmechanismen sind zu benennen. Die Fehlerbäume bilden die Grundlage für die possibilistische Bewertung magnetgelagerter Systeme. Im weiteren Verlauf soll ein detaillierter Fehlerbaum für einen Regelkreis abgeleitet werden. Im Ergebnis soll eine Gesamtversagenswahrscheinlichkeit des Magnetlagers berechnet werden.

#### 4.3.2.2 Magnetgelagerte Speisepumpenantriebsturbine: Erfassung und Bewertung von Betriebsdaten

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Inf. (FH) Ivo Noack, Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek
<b>Finanzierung:</b>	Lausitz Energie Kraftwerke AG



**Laufzeit:** 01.01.2018 – 30.09.2018

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Im Ergebnis einer langjährigen Forschungsk Kooperation zwischen der Hochschule Zittau/Görlitz, der Siemens AG Görlitz und der Vattenfall Europe AG (jetzt LEAG) wurde 2014 eine magnetgelagerte Speisepumpenantriebsturbine (SPAT) im Block F des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde installiert.

Üblicherweise wird der Turbinenrotor mittels ölgeschmierter Gleitlager gelagert. Dazu ist eine Reihe von peripheren Aggregaten zur Ölversorgung der Lager, wie Ölpumpen, Kühler, Filter und Rohrleitungen, erforderlich. Das Öl ist zudem eine erhebliche Brandlast und damit eine nicht zu unterschätzende Gefahr in der Anlage. Die peripheren Komponenten und auch das Öl unterliegen wie die Gleitlager Verschleiß und Alterung, wodurch zusätzlicher Wartungsaufwand notwendig ist. Die Vorteile der Magnetlagertechnologie bestehen in der berührungs- und verschleißfreien Lagerung der Turbinenwelle, die Aufwendungen für die Bereitstellung des Öls entfallen.

Die ölfreie SPAT arbeitet seit März 2015 im Dauerbetrieb und ist damit in das Betriebsregime des Blocks eingebunden. Die für den Betrieb der Anlage notwendige Instrumentierung erlaubt die Anlagendiagnose ohne den Einsatz zusätzlicher Messtechnik/Sensoren. Alle Signale werden von der für die Steuerung verwendeten SPS an ein von der Hochschule Zittau/Görlitz installiertes Messwerterfassungssystem gesendet. Für die Überwachung der magnetgelagerten SPAT wurde ein Programm erstellt, welches alle Signale speichert. Treten Störungen oder Grenzwertverletzungen auf, erfolgt eine ereignisgesteuerte Aufzeichnung der Daten mit höherer Abtastrate. Die so gewonnenen Daten werden automatisiert ausgewertet und als Tagesprotokolle archiviert. Die automatisierte Analyse ermöglicht, Abweichungen vom Normalzustand der Turbine schnell zu identifizieren, Fehler zu diagnostizieren und Hinweise zur Fehlereingrenzung abzuleiten. Das erhöht die Verfügbarkeit der Anlage. Beispielhaft sind in Abb. 4-23 die Daten der Drehzahl und der Radkammertemperatur der Turbine vom 10.05.2018 dargestellt.

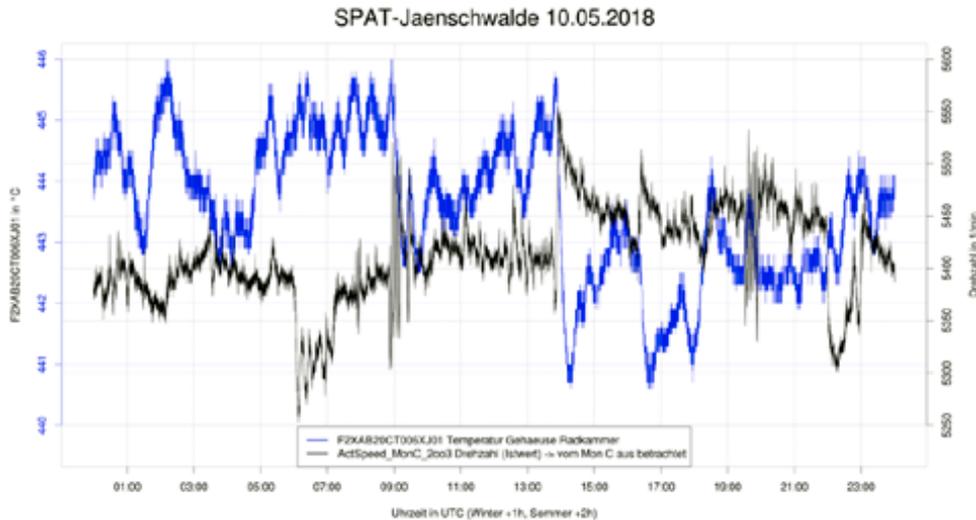


Abb. 4-23 Drehzahlverlauf (schwarz) und Radkammertemperatur (blau) am 10.05.2018

Die Datenanalyse erlaubt Rückschlüsse auf den optimalen Betrieb magnetgelagerter Turbomaschinen und kann für zukünftige Anwendungen genutzt werden. Mit der planmäßigen Überführung des Kraftwerksblockes in die Sicherheitsbereitschaft zum 01. Oktober 2018 wurde auch die SPAT stillgesetzt und die Datenaufzeichnung bis auf weiteres unterbrochen. Sollte in einer Extremsituation der Kraftwerksblock wieder angefahren werden müssen, wird auch die Datenaufzeichnung reaktiviert. Die Dauer der Sicherheitsbereitschaft ist für vier Jahre geplant, danach erfolgt eine endgültige Stilllegung des Kraftwerksblockes

#### 4.3.2.3 Versuchsstand Schmiermittelfreie Dampfturbine: Test neuer Fanglager

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz  
**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek  
**Finanzierung:** Industrie  
**Laufzeit:** 01.06.2018 – 01.03.2019

#### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Fanglager sind sicherheitsrelevante Bauteile einer magnetgelagerten Maschine. Diese gewährleisten die sichere Aufnahme des Maschinenrotors und verhindern die Berührung zwischen dem Rotor und Statorbauteilen bei einer planmäßigen Außerbetriebnahme der Maschine (stillstehender, nicht drehender Rotor) einerseits und andererseits beim Ausfall der Magnetlager während des Betriebes (drehender Rotor). Im zweiten Fall werden die Fanglager durch den Rotor schlagartig auf dessen Drehzahl beschleunigt und müssen den Belastungen beim Abfahren der Maschine bis zum Stillstand des Rotors standhalten. Dabei treten hohe mechanische und thermische Belastungen der Fanglager auf. Daher ist vor dem Einsatz von Fanglagern deren Standfestigkeit experimentell zu untersuchen und nachzuweisen. Dafür eignen sich die 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 eine Reproduzierbarkeit der Experimente und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

Abb. 4-24 zeigt die Fanglagereinheit des Versuchsstandes MFLP im ausgebauten

Zustand.



Abb. 4-24 Fanglagereinheit am Versuchsstand MFLP

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 Grundlagenuntersuchungen zum Einsatz von Schwungmassespeichern in autarken Netzen – Zusammenarbeit TU Liberec

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann

**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:** 01.02.2016 – 31.12.2018

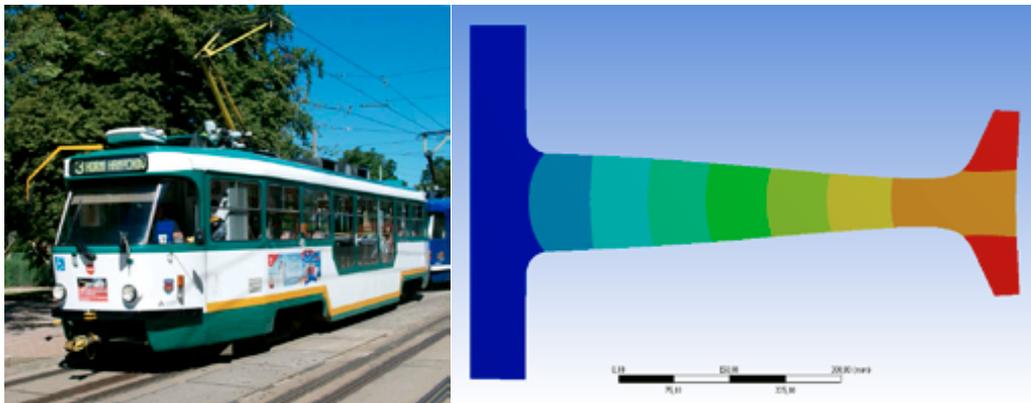
#### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Elektrisch angetriebene Straßenbahnen verursachen im Bahnstromnetz große Leistungsfrequenzen infolge Beschleunigungs- und Bremsvorgängen. Die Leistungsspitzen beim Beschleunigen und Bremsen verursachen zudem ungewünschte Rückwirkungen auf das übergeordnete Landesnetz. Die Dimensionierung des Bahnstromnetzes erfolgt für die auftretenden bzw. zu erwartenden Spitzenleistungen. Eine Rückführung der Bremsenergie in das

Bahnstromnetz führt zu einer Reduzierung der Lastspitzen und senkt den Energiebedarf. Ein Energierückgewinnungssystem (KERS<sup>1</sup>) kann unter Nutzung von Schwungmasseenergiespeichern realisiert werden. Grundlage für das KERS ist die Ermittlung der tages-, jahreszeit- und streckenabhängigen Daten während des Straßenbahnbetriebes, auf deren Basis die beeinflussenden Parameter und daraus mathematische Modelle abzuleiten sind.

In einem vorangegangenen Kooperationsprojekt zwischen der HSZG, der TU Liberec und den Stadtwerken Liberec wurden die für die Auslegung eines KERS notwendigen Daten für die Straßenbahnstrecke zwischen Dolní Hanychov und Lidové nábřeží an den Umformerstationen und den Straßenbahnen messtechnisch erfasst. Auf Basis der Untersuchungs-, Mess- und Simulationsergebnisse wurde eine Schwungscheibe ausgelegt.

Ziel dieses Projektes ist die Erarbeitung eines Nachfolge-Projektantrages zur Entwicklung eines magnetgelagerten Hochdrehzahlschwungmassespeichers (SMS) in Faserverbundbauweise als Prototyp zur Verbesserung der Energieeffizienz elektrischer Traktionen. Die Einbindung des SMS soll im Bahnstromnetz der Stadtwerke Liberec erfolgen. Dazu ist ein geeignetes Energiemanagementsystem zu entwickeln.



*Abb. 4-25 Straßenbahn T3 und Analyse der Verformungen am Schwungrad (Lavalscheibe)*

Durch den Einsatz rotierender Schwungmasseenergiespeicher in Bahnnetzen wird darüber hinausgehend ein Beitrag zur Reduzierung der Feinstaub-, Abgas- und CO<sub>2</sub>-Emissionen im öffentlichen Personennahverkehr geleistet.

Im Rahmen des Kooperationsprogramms zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014-2020 wurde ein Projektantrag „Konzeptentwurf eines magnetgelagerten Schwungmassespeichers zur Verbesserung der Energieeffizienz elektrische Traktionen“ ausgearbeitet und bei der Sächsischen Aufbaubank SAB eingereicht.

#### *4.3.2.5 Weiterentwicklung und Optimierung Programmsystem Maglap++*

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Wirtschaftsmath. (FH) Mikhail Shmachkov
<b>Finanzierung:</b>	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)

<sup>1</sup> KERS - Kinetic Energy Recovery System

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



**Laufzeit:** 01.03.2017 – 31.12.2019

### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Der Einsatz von Magnetlagern als komplexe mechatronische Systeme bspw. in Kraftwerksmaschinen erfordert Software zur Messwerverfassung, -verarbeitung und -speicherung. Mit Hilfe der Daten ist eine Überwachung der Maschine und/oder der Anlage möglich und es lassen sich Aussagen über deren Zustand treffen. Dazu werden die Daten mithilfe mathematischer Algorithmen verarbeitet und analysiert. Zu diesem Zweck wurde die plattformübergreifende Software Maglap++ in der Programmiersprache C++ entwickelt und kann derzeit unter Windows und Linux eingesetzt werden. Das Programmsystem ist modular aufgebaut. Durch die Anordnung der Module kann das Programm zu einem Server (Messwerverfassung) oder zu einer Client-Applikation (Überwachung) konfiguriert werden.

Im Berichtszeitraum wurde die Software überarbeitet und weiterentwickelt. So wurde das GUI-Konzept erweitert und die Thread-Funktionalität für die parallele Datenerfassung implementiert. Das Messwerverfassungsmodul wurde angepasst und optimiert und damit bspw. die Möglichkeit geschaffen, Messwerte zeitsynchron über mehrere Messrechner zu erfassen, wozu ein Master-Slave-Konzept realisiert wurde. Das Datenspeicherungskonzept wurde dahingehend erweitert, dass neben der binären eine Speicherung der Daten als Textdatei im CSV-Format möglich ist.



Abb. 4-26 Modularer Aufbau von Maglap++

Das Programmsystem wurde parallel an verschiedenen Versuchsanlagen getestet und verifiziert. Fehlerhafte Programmteile wurden durch Bugfixes korrigiert.

Weiterführende Arbeiten sind in der Optimierung der Datenspeicherung bspw. durch Datenminimierung ohne Reduktion des Informationsgehaltes oder anlagenzustandsabhängige Informationsverdichtung zu sehen. Des Weiteren erfolgt die Integration des entwickelten GUI-Konzeptes und die parallele Datenverarbeitung in Maglap++.

### 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 Sicherheitseinrichtung 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.

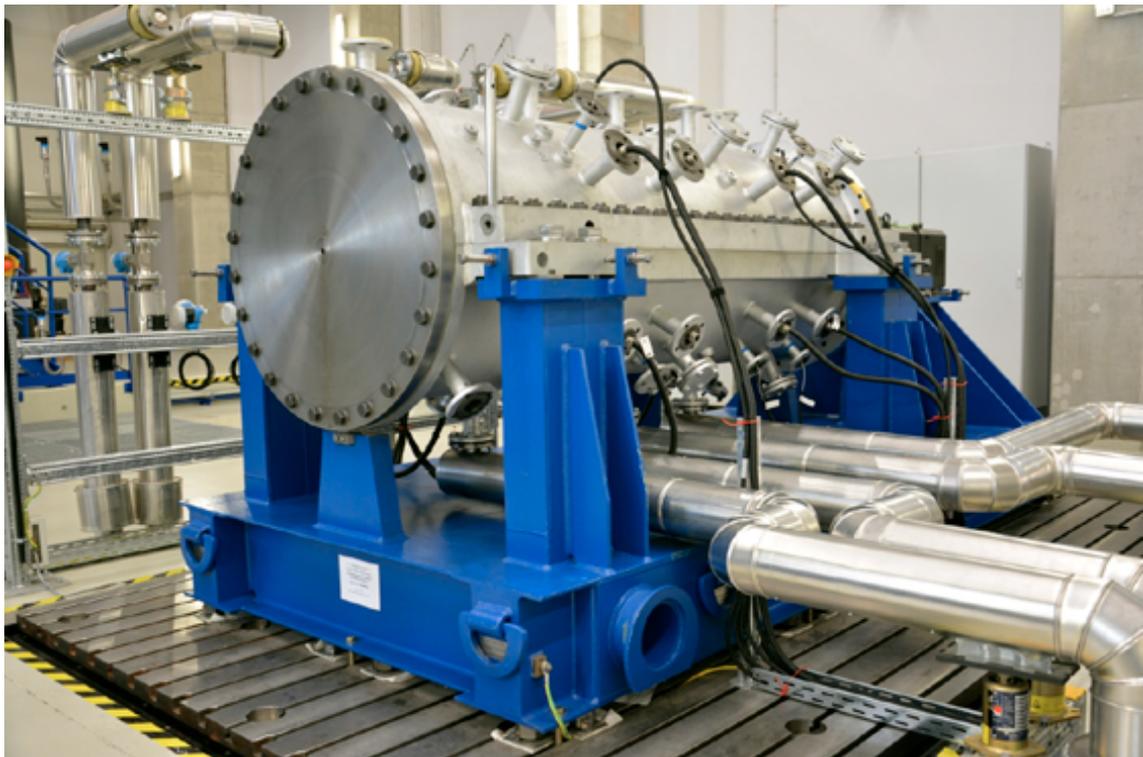


Abb. 4-27 Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP im Zittauer Kraftwerkslabor

#### 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. 4-28 Magnet- und Fanglagerprüfstand FLP 500

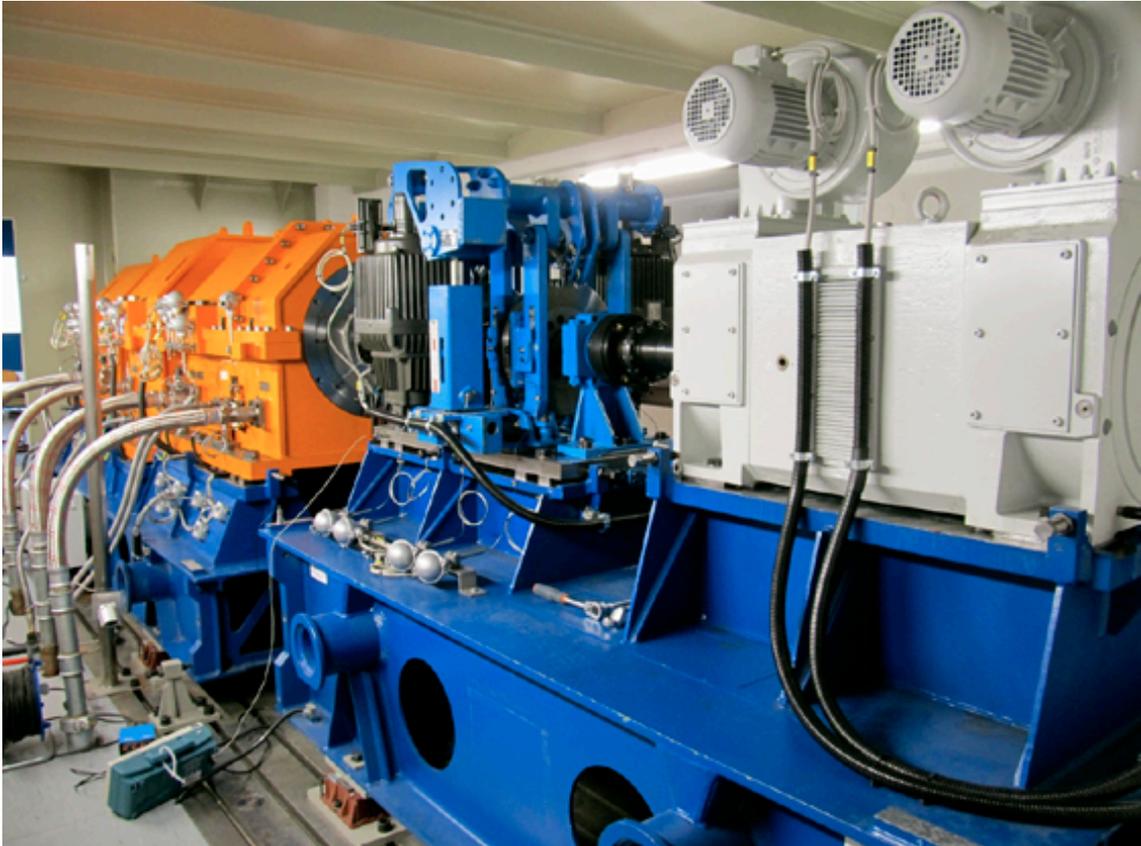
Wesentliche Eigenschaften und Parameter des Versuchsstandes sind:

- 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. 4-29 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 ZML320“*

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.

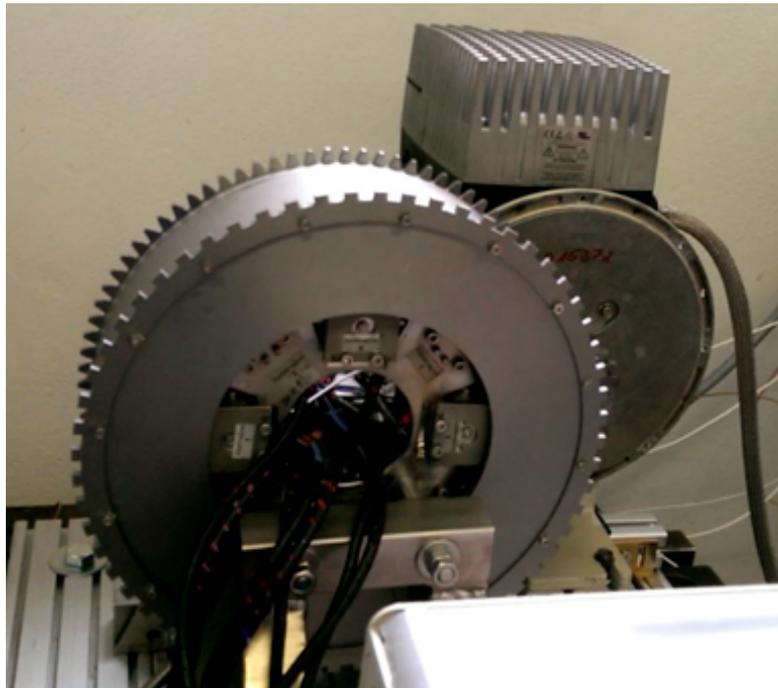


Abb. 4-30 Versuchsstand Momentenlager ZML320

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  $45^\circ$  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 ergebende Luftspalte an den einzelnen Lagermagneten berechnet werden.

Ausgewählte Versuchsstandparameter:

- Rotormasse 16,6 kg
- Rotordurchmesser 320 mm
- Nenndrehzahl 350 U/min
- Tragkraft axial  $4 \times 470$  N
- Tragkraft radial  $2 \times 590$  N
- Nennluftspalt axial und radial  $300 \mu\text{m}$
- Lagerströme Grunderregung 3 A, Steuererregung  $\pm 3$  A

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

#### 4.3.3.5 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 Antriebe und Magnetlager für erweiterte Einsatztemperaturbereiche energieoptimal zu entwickeln und auszulegen.

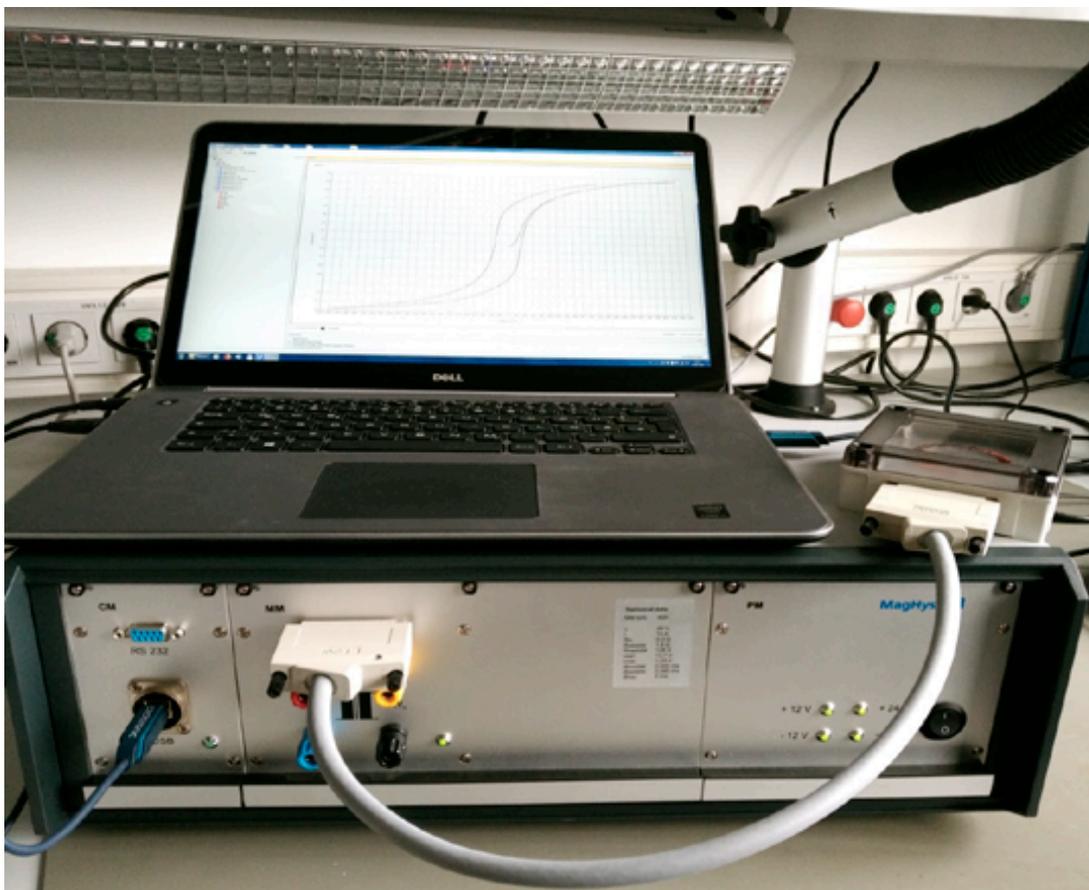


Abb. 4-31 Messplatz auf der Basis von MagHyst

#### 4.3.3.6 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  $\mu$ s und 70 ms wählbar. Das Gerät verfügt über eine PC-Schnittstelle zur Messwerterfassung und -auswertung über die mitgelieferte Software.

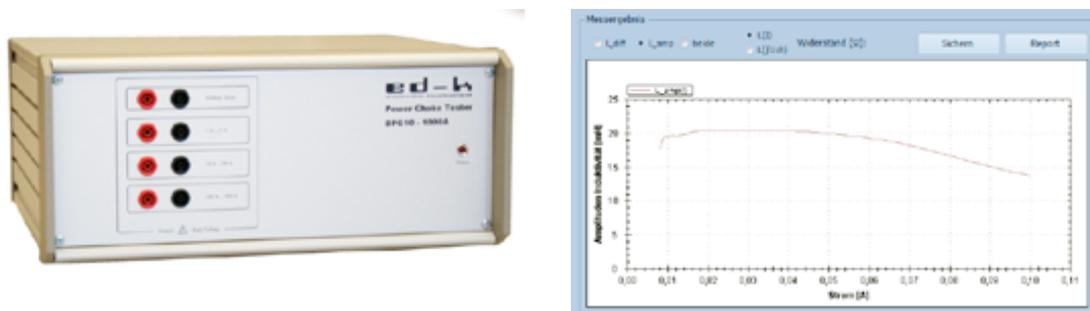


Abb. 4-32 Power Choke DPG 10 und Ergebnis einer Testmessung

#### 4.3.4 Publikationen

S. Düsterhaupt, H. Hoffmann, H. Neumann, I. Noack, T. Rottenbach, M. Shachkov, C. Vanek, F. Worlitz: Energieeffiziente Magnetlagerungen für Anwendungen unter extremen Umgebungsbedingungen, Zwischenbericht zum SAB-Projekt Nr. 100231478 2018

Neumann, H., Düsterhaupt, S., Worlitz, F.: Grundlagenuntersuchungen zum Einsatz von Schwungmassespeichern in autarken Netzen, Poster zur Landtagsmittel-Projektkonferenz der HSZG, 07.November 2018, Zittau

Shmackov, M., Worlitz, F.: Weiterentwicklung und Optimierung Programmsystem Maglap++, Vortrag und Poster zur Landtagsmittel-Projektkonferenz der HSZG, 07.November 2018, Zittau

#### 4.3.5 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

#### 4.3.6 Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden

Thema 1: **Entwicklung eines Komplexmodells zur Lebensdauer-simulation mechatronischer Komponenten eines aktiven Magnetlagers**

Bearbeiter: Peisen Lin

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Auftraggeber: IPM

Thema 2: **Weiterentwicklung eines Komplexmodells zur Lebensdauer-simulation mechatronischer Komponenten eines aktiven Magnetlagers**

Bearbeiter: Peisen Lin

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Auftraggeber: IPM

### 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 Gleichgewichtsberechnungen
  - 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 *Implementierung wissensbasierter NO<sub>x</sub>-Modelle in die komplexe Feuerungsberechnung für industrielle Dampferzeuger mit EBSILON-Professional*

**Projektleitung:** Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. Ulrike Gocht

**Finanzierung:** Landtagsmittel (SMWK)

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



**Laufzeit:** 02/2016 – 12/2018

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Prognoseverfahren für die gaseitige Schadstoffemission (NO<sub>x</sub>, CO) von mit einheimischer Rohbraunkohle betriebenen Kraftwerks-Dampferzeugern werden für die aktuell geforderten Betriebsweisen bei technischer Mindestlast und hohen Laständerungsgeschwindigkeiten praxisnah qualifiziert. Entwickelt wurde ein robuster wissensbasierter Berechnungsalgorithmus, der, in detaillierte Zonenmodelle von Dampferzeuger-Feuerräumen implementiert, eine ingenieurmäßige Vorhersage der Schadstoffemission ermöglicht.

##### 4.4.2.2 *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.

#### 4.4.2.3 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 Fluidodynamik (HZDR)

**Laufzeit:** 11/2016 – 10/2019

#### **Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Ziel des Gesamtvorhabens ist die Entwicklung einer Braunkohlen-Veredlungstechnologie zu kurz-kettigen 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 CO<sub>2</sub>-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.

#### 4.4.2.4 *Schnelle Berechnung realer Stoffeigenschaften im Programmsystem AC<sup>2</sup> nach den neuesten Standards der IAPWS (SBRS – AC<sup>2</sup>)*

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

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

**Finanzierung:** BMWi



**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 AC<sup>2</sup> 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.

#### 4.4.2.5 *Stromspeicher für regenerative Versorgungsstandorte: Power-to-Gas-to-Power*

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

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

**Finanzierung:** EFRE (SAB)



**Laufzeit:** 08/2015 – 07/2018

### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Projekt wurden verfahrenstechnische Bewertungen für verschiedene Varianten der Langzeitspeicherung überschüssiger (aus nicht regelfähigen regenerativen Stromerzeugern oder aus unzureichend abregelbaren konventionellen Stromerzeugern) Elektroenergie vorgenommen. Konsens ist, dass Elektroenergie für große Zeithorizonte vorzugsweise als chemisch gebundene Energie in Gasen gespeichert werden kann.

Es wurden folgende Komponenten und verfahrenstechnologische Varianten für die Stromspeicherung bzw. indirekte Energiespeicherung eines dezentralen regenerativen Energiestandortes vertieft untersucht:

- Überschüssige regenerative Elektroenergie → Elektrolyse/Methanisierung ( $H_2/CH_4$ ) → Speicherung
- Speicherung in eigenen lokalen Druckbehältern / im Gasnetz
- Rückverstromungsverfahren: Gasmotor, Gasturbine, Brennstoffzelle
- Erzeugung des Grundstoffes Methanol (keine Rückverstromung)
- Einsatz von überschüssiger Elektroenergie für Heizzwecke, Substitution von Erdgas
- Erzeugung von speicherbarem Sauerstoff für einen Oxyfuel-Block
- Methan-/Methanol-Erzeugung im Kraftwerksbetrieb statt Abregelung der Blöcke
- Einsatz von gespeichertem Methan für die Zünd- und Stützfeuerung in Kraftwerken

#### 4.4.2.6 Oszillation im Feuerungssystem

**Projektleitung:** Dipl.-Ing. Ulrich-Steffen Altmann

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. Ulrike Gocht

**Finanzierung:** CombTec GmbH

**Kooperationspartner:** Lausitz Energie Kraftwerke AG



**Laufzeit:** 07/2017 – 10/2018

### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ergebnisse werden laut Vereinbarung mit dem Auftraggeber nicht veröffentlicht.

#### 4.4.2.7 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)



**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.

*4.4.2.8 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) 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:** 07/2017 – 10/2018

**Bearbeitungsstand/Ergebnisse:**

Durch die zunehmende Verbreitung von dezentralen Anlagen zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen (Strom, Wärme) in konsequenter Kraft-Wärme-Kopplung, speziell unter Nutzung der thermochemischen Vergasung von Biomasse, entsteht ein Zielkonflikt zwischen wirtschaftlichem Betrieb und Erfüllung komplexer Versorgungsaufgaben bei Einhaltung von Umweltauflagen. Der wirtschaftliche Einsatz setzt eine Integration dieser Anlagen in bestehende Versorgungssysteme voraus, dabei muss ein flexibler Anlagenbetrieb zur Erreichung eines Optimums zwischen der zu lösenden Versorgungsaufgabe und den Anlagenbetriebsbedingungen gefunden werden. Durch Eingriffe auf der Ebene der thermochemischen Reaktionen soll ein neues Vergasungsverfahren entwickelt werden, das die im Biobrennstoff enthaltene Solarenergie besser in chemische Energie des Brenngases überführt als bisherige Verfahren. Grundidee ist die Nutzung selektiver katalytischer Wirkungen von mineralischen Zuschlagstoffen. Innovative Mess- und Regelkonzepte sowie Speichertechnologien sollen das Problem der zeitversetzten Entstehung und Nutzung von Wärme lösen und damit die bedarfsgerechte Bereitstellung von elektrischer Regelleistung für Versorgungsnetze ermöglichen. Ziel ist es, den Anlagenbetrieb online zu bewerten und damit Exergieverluste auf ein Minimum zu beschränken. Positive wirtschaftliche Effekte werden erwartet für sächsische Hersteller von Komponenten derartiger Anlagen (Steuer-, Regelungs-, Speichertechnik) sowie für Betreiber (Ressourcenschonung durch Kraft-Wärme-Kopplung) sowie nachfolgend durch sich etablierende sächsische Dienstleister im Bereich Wartung. Die prozessbedingt anfallenden Rest- und Abfallstoffe sollen sowohl mengenmäßig reduziert als auch hinsichtlich deren Zusammensetzung beeinflusst werden, so dass der Umgang damit wirtschaftlicher wird. Neue Technologien der Emissionsminderung im instationären (An-/Abfahren) sowie im stationären Teil- und Nennlastbetrieb sollen entwickelt und unter praxisnahen Bedingungen erprobt werden. Die Gewinnung wichtiger Substanzen aus den Reststoffen und deren Nutzung als Sekundärrohstoffe werden untersucht.

*4.4.2.9 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 – 10/2018

**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 HS Zittau/Görlitz 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 HS Zittau/Görlitz zu bearbeitenden Kapitel begonnen.

#### 4.4.2.10 FH-Impuls 2016: LaNDER<sup>3</sup> - 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)



**Laufzeit:** 08/2017 – 12/2018

#### **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. 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.

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 Versuchsständen 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:

- Holzvergasungs-Anlage mit Wärmeübertragern (10 kWth)
- Motor-BHKW (30 kWel, 70 kWth)
- stationäre Gasanalysetechnik
- sensibler Wärmespeicher (Speichervolumen: 2 m<sup>3</sup>)
- übergeordnete Anlagenleittechnik



*Abb. 4-33 Übersicht des Holzgas-Blockheizkraftwerks*

#### *4.4.3.2 Holzhackschnittel-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 Holzhackschnittel-Trocknungsanlage errichtet. Sie erlaubt eine vollautomatisierte kontinuierliche Trocknung von Holzhackschnitteln (HHS). Zu dem Versuchsstand gehören:

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



Abb. 4-34 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. 4-35 Testfeld für Wärmespeicher

#### 4.4.3.4 Versuchsstand Trocknungskinetik von Schüttgütern

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

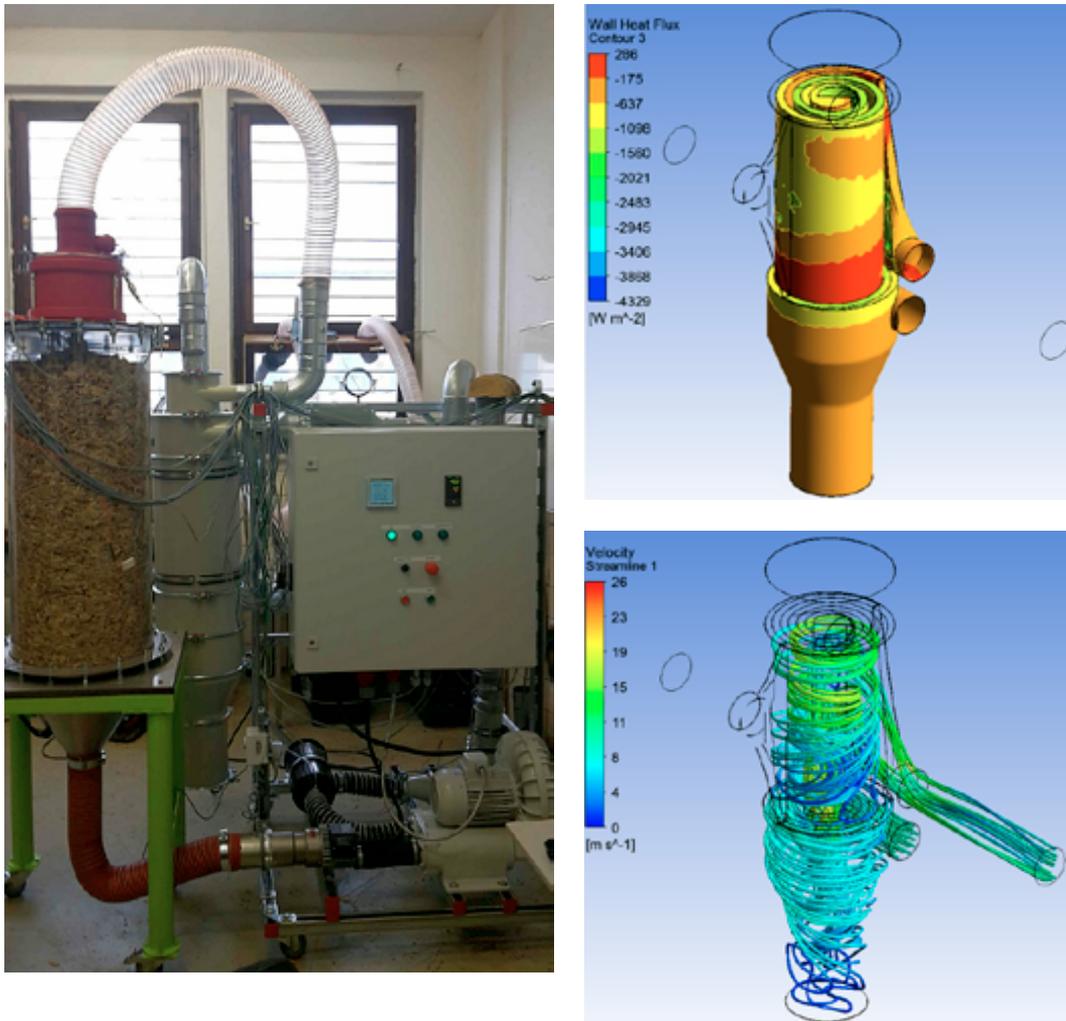
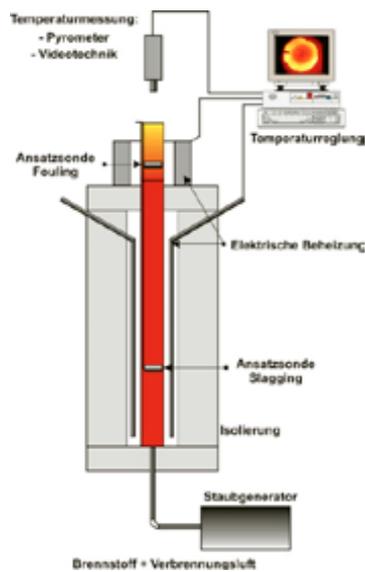


Abb. 4-36 kleintechnischer Trocknungsversuchsstand

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

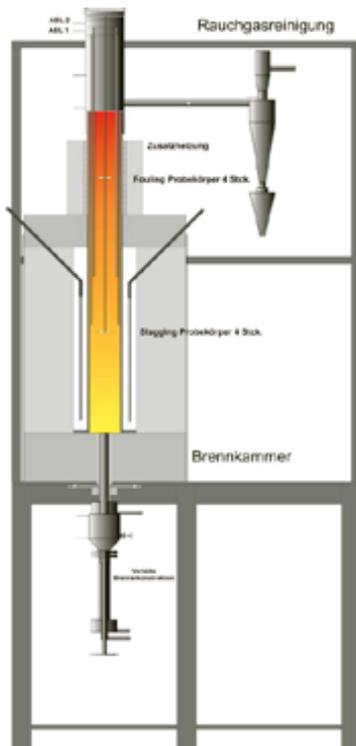
Temperatur Nachbrennkammer (Probekörper) regelbar: 800 – 1100 °C

Abb. 4-37 Mikroverbrennungsreaktor MR 1500

- Reaktionsphasen: Zündung, Flüchtigenverbrennung, 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. 4-38 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

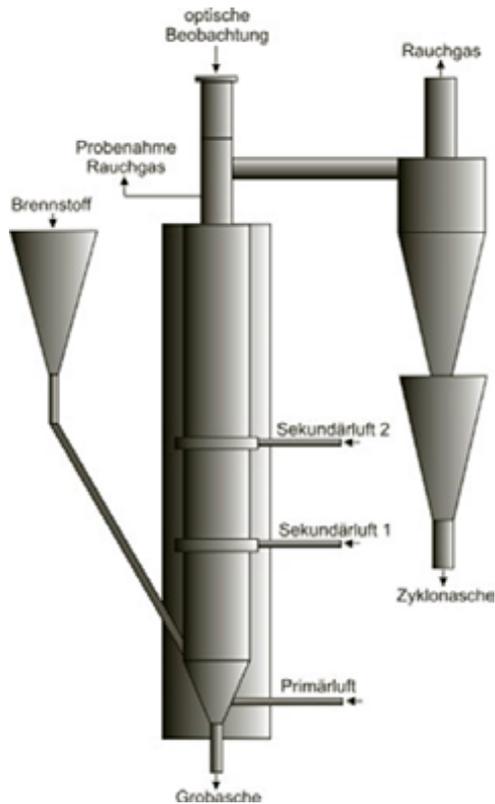


Abb. 4-39 Modell-Zyklonfeuerungsmodell ZBK 2

#### 4.4.3.8 Rauchgasreinigungsstrecke

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

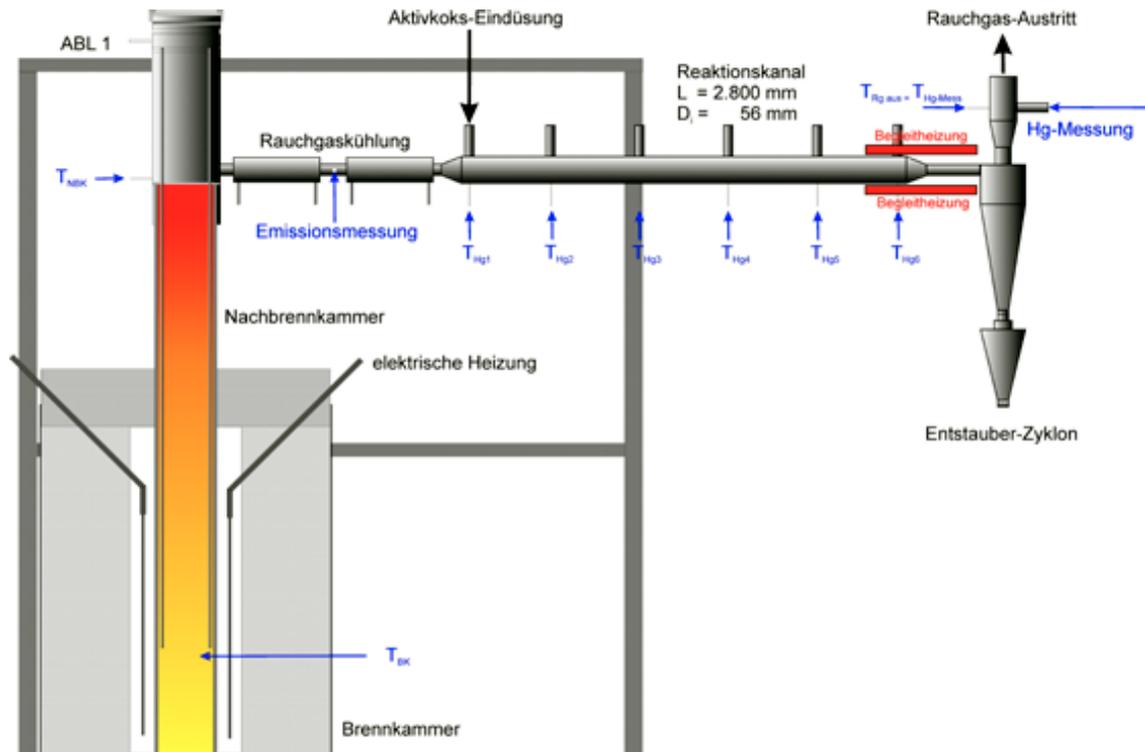


Abb. 4-40 Rauchgasreinigungsstrecke - nachgeschaltet der Mikrobrennkammer MB 1500

#### 4.4.3.9 Messtechnische Ausstattung (Verbrennungstechnik)

- Messwerterfassungs- und Auswertesystem
- schnelles Messwerterfassungssystem für instationäre Vorgänge (Abbrandkinetik)
- Rauchgasanalyzesystem
- 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

Burkhardt, G., Egeler, R., Herdin, G., Krodel, T., Kuffer, G., Nowack, A., Noel, Y., Quicker, P., Reichle, E., Sager, C., Schneider, R., Seifert, U., Zeymer, M., Zschunke, T.: VDI-Richtlinie 3461 „Emissionsminderung; Thermochemische Vergasung von Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplung (Emission control; Thermochemical gasification of biomass in combined heat and power configurations)“, Weißdruck, Düsseldorf, 01.12.2018

Schneider, R.: Rundumschlag zu „Biomass to Power and Heat“, Artikel in „Energie aus Pflanzen“, Ausgabe 03/2018, Juni 2018

##### 4.4.4.2 Proceedings und Forschungsberichte

Schneider, R., Pohl, R., Silbermann, S., Titze, E., Sénéchal, U., Synowzik, S., Grusla, S., Zschunke, T.: 3. Zwischenbericht zum SAB-Projekt Nr. 100231464 (THERMOCHEMISCHES VERSUCHSFELD (TCV) III, Thermochemische und fluiddynamische Optimierung einer Biomasse-Festbettvergasung mit BHKW), August 2018

*Titze, E.:* Untersuchungen zur Dämpfung von Volumenstrom-Pulsationen in Rohrleitungen, Forschungsbericht, Mai 2018

#### 4.4.4.3 Vorträge und Präsentationen

*Titze, E.:* PCM-Latentwärmespeicher – Überblick und Anwendung im Projekt TCV III –, Vortrag zum IPM-Kolloquium, Zittau, 07.03.2018

*Sénéchal, U.:* Theoretische Untersuchungen und numerische Berechnungen am thermochemischen Versuchsfeld (TCV), Poster zum Fachkolloquium „Biomass to Power and Heat 2018“, Zittau, 06.06.2018

*Schneider, M.:* Internationaler Ringversuch Asche-Schmelzverhalten, Poster zur Landtagsmittel-Projektekonzferenz 2018, Zittau, 07.11.2018

*Gocht U., Hänel J., Kunick M., Kretzschmar H.-J.:* Accurate and Fast Calculation of Thermophysical Properties for Water and Steam in the ATHLET Code Using the Spline-Based Table Look-Up Method (SBTL) Based on IAPWS-95, AC2-User Meeting, GRS/Garching, 19.-21.11.2018

*Salomo, B., Schneider, R.:* Systemanalyse der NO<sub>x</sub>-Emissionen einer Biomasse-KWK-Anlage, Vortrag zum IPM-Kolloquium, Zittau, 12.12.2018

*Senfft von, M., Schneider, R.:* Electricity & Heat generated from wood (Long-term cooperation with HSZG), Vortrag zum Trans3Net-Workshop, Zittau, 18.12.2018

#### 4.4.5 Ausgewählte Abschlussarbeiten von Studierenden

Thema: **Berechnung und Darstellung der thermischen Verluste an einem bestehenden Holzvergaser-BHKW im Rahmen des Forschungsprojektes "TCV" am Standort der Hochschule Zittau/Görlitz**

Bearbeiter: Mickael Ruben Kaiway

Betreuer: Dr.-Ing. Ulf Sénéchal, Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider

Auftraggeber: Hochschule Zittau/Görlitz

Thema: **Erfassung des Potentials für die Umstellung der Wärmeversorgung im Süden der Stadt Zittau**

Bearbeiter: Thomas Grabowsky

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

Auftraggeber: Stadtwerke Zittau GmbH

Thema: **Messtechnische Untersuchung des Emissionsverhaltens eines handelsüblichen Pelletkessels in instationären Betriebszuständen**

Bearbeiter: Augustinus Giyai

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

Auftraggeber: Biotech Energietechnik GmbH

**Thema:** **Energetische Bilanzierung und verfahrenstechnische Bewertung eines Holzvergaser-BHKW**

**Bearbeiter:** Martin Kurz

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

**Auftraggeber:** Biotech Energietechnik GmbH

**Thema:** **Einsatz eines Laser-Doppler-Anemometers zur Volumenströmbestimmung in einem Holzvergasungsprozess**

**Bearbeiter:** Felix Rothe

**Betreuer:** Dr.-Ing. Ulf Sénéchal

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz

## 4.5 Messen und wissenschaftliche Veranstaltungen

Datum	Thema/Bezeichnung	Veranstalter
16.01.2018	Sächsischer Biomassetag	LfULG Sachsen
06.-07.06.2018	Biomass to Power and Heat 2018	Hochschule Zittau/Görlitz
03.-04.07.2018	7. Fachforum Thermische Energiespeicher	Messe Düsseldorf GmbH
27.-28.09.2018	18. Fachkongress Holzenergie	Fachverband Holzenergie im BBE
23.-24.10.2018	Kraftwerkstechnisches Kolloquium	TU Dresden
07.11.2018	Landtagsmittel-Projektkonferenz	Hochschule Zittau/Görlitz
19.-21.11.2018	AC2-User Meeting	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
26.11.2018	3. Herbstworkshop "Energiespeichersysteme"	TU Dresden
13.12.2018	Doktorandenseminar des Kompetenzverbundes Ost für Kerntechnik (KompOst)	Hochschule Zittau/Görlitz
18.12.2018	Trans3Net-Workshop	TGZ Bautzen GmbH

## 4.6 Pressemitteilungen

### 4.6.1 Deutsche Reaktorsicherheitsforschung ohne Zukunft?

Ein wichtiges Grundanliegen beschäftigte das alljährliche Doktorandenseminar des Kompetenzzentrum Ost für Kerntechnik (KOMPOST). Auch nach dem Ausstieg Deutschlands aus der Kerntechnik im Jahr 2022 soll es im Land weiterhin Ingenieure geben, die das Wissen bündeln und an Studierende weitergeben können. In diesem Jahr lud die Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) durch ihr Institut für Prozessautomatisierung, Prozesstechnik und Messtechnik (IPM) am 13. Dezember ihre Partner ins Zittauer Gebirge ein. Die Gäste von der TU Dresden (TUD), dem Helmholtz-Zentrum

Dresden-Rossendorf (HZDR) sowie dem VKTA Rossendorf wurden durch den Rektor Professor Albrecht begrüßt.



Abb. 4-41 Begrüßung der Teilnehmer durch den Rektor der Hochschule Zittau/Görlitz, Prof. Albrecht (links), Plenarvortrag des wissenschaftlich-technischen Direktors der Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit (GRS), Herrn Stoll (rechts)

Im Anschluss beantwortete der wissenschaftlich-technische Direktor der Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit, Herr Stoll die Frage „Reaktorsicherheitsforschung in Deutschland ohne Zukunft?“ mit einem klaren Nein. Zudem führte er anhand von Beispielen zukünftige Herausforderungen, insbesondere auch im internationalen Kontext, aus. Um diese anzugehen, unterstrich er den langfristigen Bedarf an qualifizierten Ingenieuren.



Abb. 4-42 Doktoranden des KOMPOST (links) stellten ihre Themen einem breiten Fachauditorium vor (rechts)

Im Hauptteil der Veranstaltung präsentierten Doktorandinnen und Doktoranden ihre durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse in den von ihnen bearbeiteten öffentlich geförderten Projekten. Insgesamt neun Präsentationen und Poster dienten der Darstellung und Diskussion der Projektfortschritte auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheitsforschung. Die Themen umfassen beispielsweise Experimente und Simulationsrechnungen zur sicheren Wärmeabfuhr aus dem Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente sowie aus dem Reaktor selbst, Analysen zu Neutronenflussschwankungen in Druckwasserreaktoren und Untersuchungen für den Betrieb von Generation IV-Reaktoren.

Unter den ca. 50 Teilnehmern befanden sich neben den Vortragenden der vier Institutionen des KOMPOST und ihren fachlichen Betreuern auch Vertreter der Industrie, von Institutionen des Bundes und der Projektträger sowie interessierte Angehörige und Studierende der HSZG. Auch wenn der Ausstieg aus der Kerntechnik beschlossen wurde, werden neue fachliche Herausforderungen die Forschung beschäftigen. Der Schwerpunkt verschiebt sich dabei vom Betrieb der kerntechnischen Anlagen zum

Rückbau und der Endlagerung. Bereits jetzt wird qualifiziertes Ingenieurpersonal dafür gesucht.

#### 4.6.2 Der sprechende Castor



Abb. 4-43 Daniel Fiß. ©Saxony<sup>5</sup>/HSMW

Castor-Behälter beinhalten eine strahlende, radioaktive Fracht. Aber was macht man mit dem gefährlichen Inhalt? Die Endlagersuche für den Atommüll dauert weiter an, doch die Behälter sind da und müssen überwacht werden. Genau vor diesem Problem steht auch das Kernkraftwerk im beschaulichen Springfield. Homer Simpson schildert Daniel Fiß, Mitarbeiter im Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik der HSZG, sein bisheriges Vorgehen. Castor öffnen, umrühren, wieder schließen und ab mit dem Behälter in die Natur. Kein Wunder, dass Homers Arzt nur den Kopf schüttelt. Zum Glück hat es ihn nun nach Zittau verschlagen, um sich nach besseren Methoden umzusehen.

Geballte Wissenschaft in 10 Minuten, verpackt in spannenden, anschaulichen Vorträgen - diesem Wettbewerb um die beste "Slam-Präsentation" stellte sich Daniel Fiß aus dem IPM. Zusammen mit fünf Mitbewerbern trat er am 25. Oktober im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida um den Pokal des 1. Saxony<sup>5</sup> Science Slams in die Arena. Auch die Kollegen aus Zittau konnten live über die Facebookseite von MDR Wissen verfolgen, wie die Präsentationen beim Publikum ankamen.



Abb. 4-44 Das Fernsehstudio der Hochschule Mittweida war gut besucht. ©Saxony5/HSMW

"Grundlegende F&E-Arbeiten zu Methoden der Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde hochradioaktive Abfälle bei verlängerter Zwischenlagerung" (Ein Kooperationsprojekt zwischen der TU Dresden und dem IPM der HSZG) - Was nach einem sperrigen Titel klingt, überzeugt sehr wohl durch seinen Inhalt: Wie schaut man in einen Castor-Behälter, um herauszufinden, was während der Zwischenlagerung der Brennstäbe darin vorgeht?

Neben radiographischen Messverfahren, die die Strahlungsverteilung im Castor ermitteln, das Röntgen mithilfe von kosmischer Strahlung sowie Experimenten, die die Wärmeverteilung im Behälter nachstellen, haben die Forscher mit zwei weiteren Verfahren Erfolge vermelden können.

Die Schwingungsanalyse lässt den Castor "tanzen", auch wenn sich dies nur im Mikrometerbereich nachweisen lässt. Bei der passiven akustischen Emission hieß es Ohren auf für Homer, denn wenn ein Stab im Castor platzt, wird der Schall messbar. Die Wissenschaftler aus dem IPM wollen nun die Experimente mit einem realen Castor-Behälter wiederholen und ein Konzept erarbeiten, wie die strahlende Fracht in einem Zwischenlager mittelfristig überwacht werden und somit ein Monitoring der Brennstäbe aussehen könnte.

Zum Sieg slammte sich am Donnerstagabend der Mittweidaer Lokalmatador Prof. Kristan Schneider. Sein Fachgebiet der mathematischen Populationsgenetik präsentierte er am Beispiel des Paarungsverhaltens von Menschenaffen. Das Publikum honorierte seine Ausführungen mit tobendem Applaus. Doch auch Homer Simpsons Ausflug an die HSZG kam gut an und trug dazu bei, Forschung zum gesellschaftlich kontrovers diskutierten Thema Atommüll vorzustellen.



Abb. 4-45 And the winner is...©Saxony<sup>5</sup>/HSMW

Alle Slams können auf dem Youtube Channel von Saxony<sup>5</sup> nacherlebt werden. Die komplette Veranstaltung ist bei Facebook als Stream zu finden.



#### 4.6.3 Lausitz Energie Kraftwerke AG an der HSZG



Abb. 4-46 Abteilung Standorte und Revisionen des Instandhaltungsmanagements der Lausitz Energie Kraftwerke AG zu Gast im Laborsaal Grundlagenstudium der Fakultät EI der HSZG

Am 25.09.2018 waren 24 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG) zu Gast am Standort Zittau der Hochschule Zittau/Görlitz.

Die Gäste informierten sich über die Lehr- und Forschungsaktivitäten der Hochschule, insbesondere der Fakultät Elektrotechnik und Informatik (F EI) sowie des Institutes für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM).

Nach einem Einführungsvortrag zu aktuellen Aspekten in Lehre und Forschung wurden verschiedene Labore der Fakultät EI besichtigt, so der Laborsaal Grundlagenstudium, das Hochspannungslabor und diverse kleinere Labore (EMV, Regelungs- und Antriebstechnik).

Über den fachlichen Austausch zu Problemstellungen des Instandhaltungsmanagements in der Energietechnik und Elektrotechnik hinaus wurde das Interesse bekundet den engen Austausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zu pflegen, um auch in Zukunft den Herausforderungen auf dem Gebiet der Energieversorgung gerecht werden zu können. Die Notwendigkeit hierfür qualifizierten Ingenieur-nachwuchs auszubilden und den Firmen als Absolventen bereit zu stellen, wurde bekräftigt.



#### 4.6.4 IPM-Mitarbeiter schließt Promotion erfolgreich ab

Am 14.02.2018 verteidigte Sebastian Schmidt vom Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM) erfolgreich seine Dissertationsschrift an der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden. Die Dissertationsschrift trägt den Titel „Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Zustandsüberwachung des Reaktordruckbehälters während auslegungs-überschreitender Unfälle in Druckwasserreaktoren“ und wurde durch die Promotionskommission mit dem Prädikat „magna cum laude“ ausgezeichnet.



Abb. 4-47 Sebastian Schmidt (3. v. l.) sichtlich erleichtert nach bestandener Verteidigung zusammen mit der Promotionskommission: (v. l.) Prof. Lange (TUD), Prof. Cheng (KIT), Prof. Hampel (TUD), Prof. Beckmann (TUD) und Prof. Lippmann (TUD)

Herr Schmidt arbeitete vom 01.07.2012 bis 30.09.2015 als Forschungsmitarbeiter im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhaben „Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zur Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns (NIZUK)“. Verbundpartner hierbei waren die Hochschule Zittau/Görlitz (BMBF-Fördernummer: 02NUK018A) und die Technische Universität Dresden (BMBF-Fördernummer: 02NUK018B). Die Leitung des Vorhabens und die Betreuung der Promotion erfolgten durch Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch (Direktor IPM) und Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Hampel (AREVA-Stiftungsprofessur für bildgebende Messverfahren für die Energie- und Verfahrenstechnik am Institut für Energietechnik an der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden).

Dem Vorhaben lag die zentrale Fragestellung zugrunde, ob die messtechnische Erfassung einer Kernschmelze im Reaktordruckbehälter eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor, wie bspw. 2011 in Fukushima stattgefunden, möglich ist. Eine erste wesentliche Herausforderung bestand darin, eine geeignete Datenbasis als Grundlage für die Untersuchungen zu erstellen. Diese konnte im Verlauf des Vorhabens durch die Mitarbeiter der Technische Universität Dresden mittels umfangreichen Monte-Carlo-Simulationen zum Gammastrahlungstransport innerhalb und außerhalb eines Reaktordruckbehälters für einen generischen Druckwasserreaktor ermittelt werden.

Eine weitere wesentliche Herausforderung des Verbundvorhabens war die Entwicklung eines Messverfahrens zur Kernzustandsdiagnose bzw. eines sog. Kernzustandsüberwachungsverfahrens. Diese Herausforderung zu lösen, war Zielstellung der Promotion von Herrn Schmidt. Durch die Anwendung von modellbasierten Structural-Health-Monitoring-Methoden, die Definition von Kernzuständen während eines Kernschmelzunfalls sowie die Entwicklung von geeigneten Klassifikationsmethoden (u. a. künstliche neuronale Netze vom Typ Multilayer Perzeptron) konnte die Entwicklung des Kernzustandsüberwachungsverfahrens erfolgreich realisiert werden. Darüber hinaus ist es Herrn Schmidt während seiner Promotion gelungen, mittels des Versuchsstands NICoLe (NonInvasive Condition monitoring of Level and core) das entwickelte Verfahren experimentell zu validieren.



#### 4.6.5 Aserbaidsschan zu Gast an der Hochschule Zittau/Görlitz

Vom 18. bis zum 23. März besuchte eine Gruppe von aserbaidsschanischen Studierenden die HSZG. Den 15 jungen Männern und Frauen, welche derzeit an der Azerbaijan State Oil and Industry University in der Hauptstadt Baku studieren, wurde ein buntes Programm sowohl auf dem Campus Zittau als auch in Görlitz geboten.

Dr. Clemens Schneider, Projektmanager am Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM), hielt zunächst im Energietechnischen Kabinett (ETK) einen Vortrag über die Hochschule, das IPM und dessen Forschungsaktivität im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors (ZKWL). Anschließend konnten die Studierenden das ETK und das ZKWL besichtigen und wurden über Lehr- und Forschungsthemen der Energietechnik informiert. Während der Besichtigung der Großversuchsanlagen des ZKWL zeigten sich die Studierenden beeindruckt über die umfangreiche Forschungsinfrastruktur.



Abb. 4-48 Einführungsvortrag im Seminarraum des Energietechnischen Kabinetts (ETK)

#### 4.6.6 Eine Frage der Partikel

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 wird bis März 2019 ein auf ein Fünftel der Originalgröße herunterskaliertes Modell der Fortluftanlage in Zittau errichtet. An dieser Anlage wird mit modernsten Strömungsmessverfahren das Verhalten angesaugter Partikel im Kanal untersucht. Die gewählte Messposition muss dabei eine repräsentative Probenahme ermöglichen und somit vorhandene radioaktive Partikel in der Abluft zuverlässig auffinden. Als Folge können entsprechende Gegenmaßnahmen in der Abluftanlage eingeleitet werden. Vom Erfolg der Experimente im Modellkanal hängt ab, ob die Anlage am "Schacht Konrad" errichtet wird. In den Versuchen wird mit nicht radioaktiven Modellpartikeln gearbeitet. Am 14. Dezember trafen sich die beteiligten Partner, die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), die VPC GmbH, die ULT AG und das IPM bereits zum zweiten Arbeitstreffen. Der Schwerpunkt der Beratung lag auf der Auslegung der Lüfterstrecke. Die Gewinnung der BGE als Kooperationspartner ist für die HSZG und das IPM von hoher Bedeutung für den Ausbau des Forschungsschwerpunktes der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung und trägt zur Stärkung des Standortes bei.



*Abb. 4-49 Am zielgenauen Aufspüren von radioaktiven Partikeln in der Abluft forscht das IPM.*

## 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

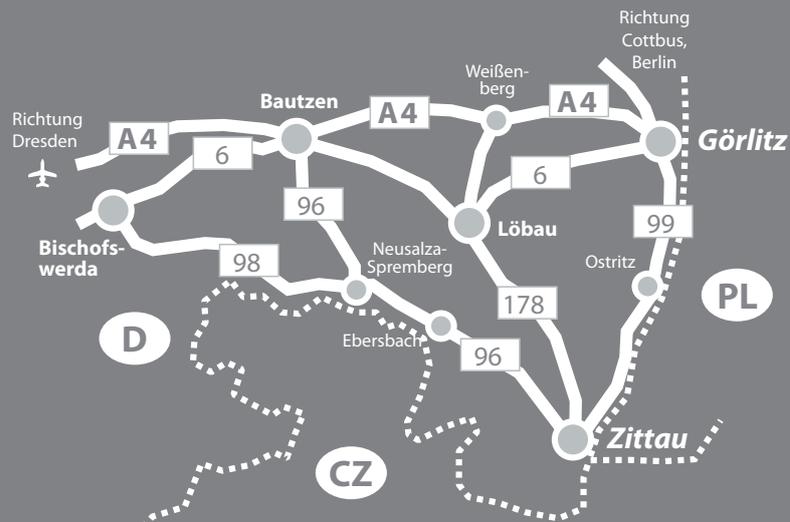
KKW Gundremmingen

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



**Hochschule Zittau/Görlitz**  
**Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM)**

Postfach 1455, D-02754 Zittau

+49(0)3583 612-4383 // [ipm@hszg.de](mailto:ipm@hszg.de) // [www.hszg.de/ipm](http://www.hszg.de/ipm)