



Hochschule  
Zittau/Görlitz

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



## *Jahresforschungsbericht 2015*

*Institut für Prozeßtechnik,  
Prozeßautomatisierung  
und Meßtechnik*

**IPM**

HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ

FORSCHEN\_OHNE\_GRENZEN

## Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung.....	3
2	Statistische Angaben .....	4
3	Struktur.....	5
3.1	Organigramm.....	5
3.2	Leitung des Institutes .....	5
3.3	Übersicht der Professuren.....	5
3.4	Forschungsgruppen.....	6
3.4.1	Fachgebiet Mechatronische Systeme .....	6
3.4.2	Fachgebiet Kerntechnik/Soft Computing .....	7
3.4.3	Fachgebiet Messtechnik/Prozessautomatisierung .....	7
3.4.4	Fachgebiet Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik.....	9
3.4.5	Fachgebiet Angewandte Elektronik .....	10
4	Forschungsrelevante Aktivitäten des IPM .....	11
4.1	Mechatronische Systeme .....	11
4.1.1	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	11
4.1.2	Versuchsanlagen .....	19
4.1.3	Publikationen .....	24
4.1.4	Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten .....	25
4.1.5	Betreuung von Promovenden .....	26
4.2	Kerntechnik/Soft Computing.....	27
4.2.1	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	27
4.2.2	Versuchsanlagen .....	30
4.2.3	Messtechnik .....	33
4.2.4	Publikationen .....	35
4.2.5	Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten .....	37
4.2.6	Betreuung von Promovenden .....	37
4.3	Messtechnik/Prozessautomatisierung.....	38
4.3.1	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	38
4.3.2	Versuchsanlagen .....	45
4.3.3	Publikationen .....	49
4.3.4	Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten .....	51
4.4	Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik.....	53
4.4.1	Forschungs- und Entwicklungsprojekte .....	53
4.4.2	Versuchsanlagen .....	62
4.4.3	Publikationen .....	64
4.4.4	Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten .....	65
4.5	Messen und Wissenschaftliche Veranstaltungen.....	66
4.5.1	10. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz .....	66
4.5.2	Reaktorsicherheitsforschung auf internationalem Niveau .....	67
4.5.3	Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors .....	69

4.5.4	Studierende von übermorgen erkunden ZKWL .....	75
4.6	Wissenschaftliche Veranstaltungen – Gesamtübersicht .....	76
4.7	Verantwortliche Mitwirkung in Gremien .....	77
4.8	Kooperative Promotionsverfahren .....	79
4.8.1	Doktorand erhält zweiten „Student Best Paper Award“ in Folge .....	80
4.8.2	Dissertation erfolgreich verteidigt .....	82
5	Bisherige Auftraggeber und Kooperationspartner.....	84

## 1 Einleitung

Das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM) ist eine zentrale Einrichtung der Hochschule Zittau/Görlitz nach § 92 SächsHSFG.

Haupttätigkeitsfeld ist die drittmittelfinanzierte Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Energietechnik und Mechatronik. Die Arbeit der Professoren erfolgt im Hauptamt. Die Gründung des IPM geht auf das Jahr 1993 zurück.

Zum IPM gehörten im Jahr 2015 fünf Fachgebiete mit insgesamt 38 Mitarbeitern und 5 Professoren. Zusätzlich arbeiteten ca. 20 Studierende aus dem In- und Ausland im Rahmen ihrer Praktika und Abschlussarbeiten am Institut.

Mit nunmehr 70 Computerarbeitsplätzen und ca. 1400 m<sup>2</sup> Laborfläche ist das Institut die größte Struktureinheit der Hochschule Zittau/Görlitz. Der überwiegend anwendungsorientierte Charakter der Forschung spiegelt sich in dem hohen Anteil an Industrieprojekten wider.

Aber auch die über viele Jahre kontinuierliche Anzahl von BMWi bzw. BMBF geförderten Projekten sind Resultat der erfolgreichen Arbeit.

Dies drückt sich in den im Jahr 2015 eingeworbenen Drittmitteln aus. Mit der Summe von 3,37 Millionen EURO stellt das IPM die Hälfte der Drittmittel der Hochschule insgesamt. Auch 46 % der Industriedrittmittel der Hochschule wurden 2015 im IPM generiert.

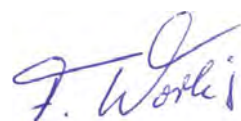
Für das Institut und die Hochschule von besonderer Bedeutung war ganz sicher die festliche Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors im Beisein des Sächsischen Staatsministers der Finanzen, Prof. Dr. Georg Unland. Daraus resultiert auch die Wahl für das Foto auf der Titelseite des diesjährigen Heftes. Einen ausführlichen Bericht finden Sie auf Seite 69. Als Anerkennung für die Leistung beim Aufbau des Labors wurden an diesem Tag die beteiligten Forschungsgruppen des IPM mit dem Hans-Joachim Hildebrand-Preis geehrt.

Die Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Energietechnik an der Hochschule wird auf Jahre mit diesem modernen Labor verbunden sein. Auch im Hinblick auf die Meisterung der neuen Herausforderungen im Zeitalter von Digitalisierung und Industrie 4.0 wird das Zittauer Kraftwerkslabor einen wichtigen Beitrag leisten, sozusagen als „Energielabor 4.0“.

Schlüssel des Erfolges sind die engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes. Diesen sowie allen Mitstreitern und Unterstützern gilt der Dank der Institutsleitung.

Der Jahresforschungsbericht spiegelt einen Ausschnitt des wissenschaftlichen Lebens am IPM im Jahr 2015 wider.

Zittau, im Juni 2016

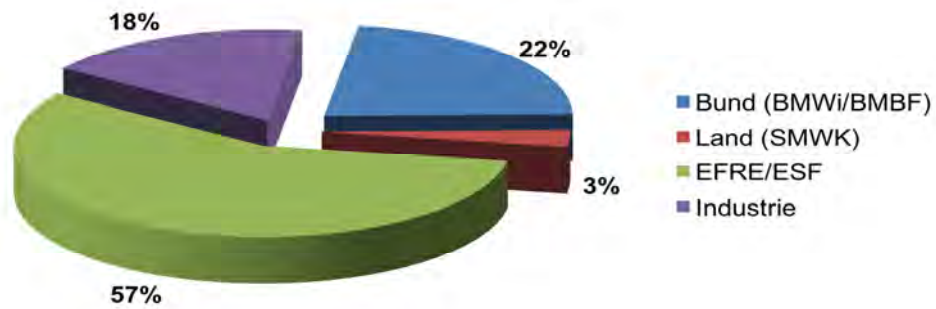


Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz  
Direktor IPM

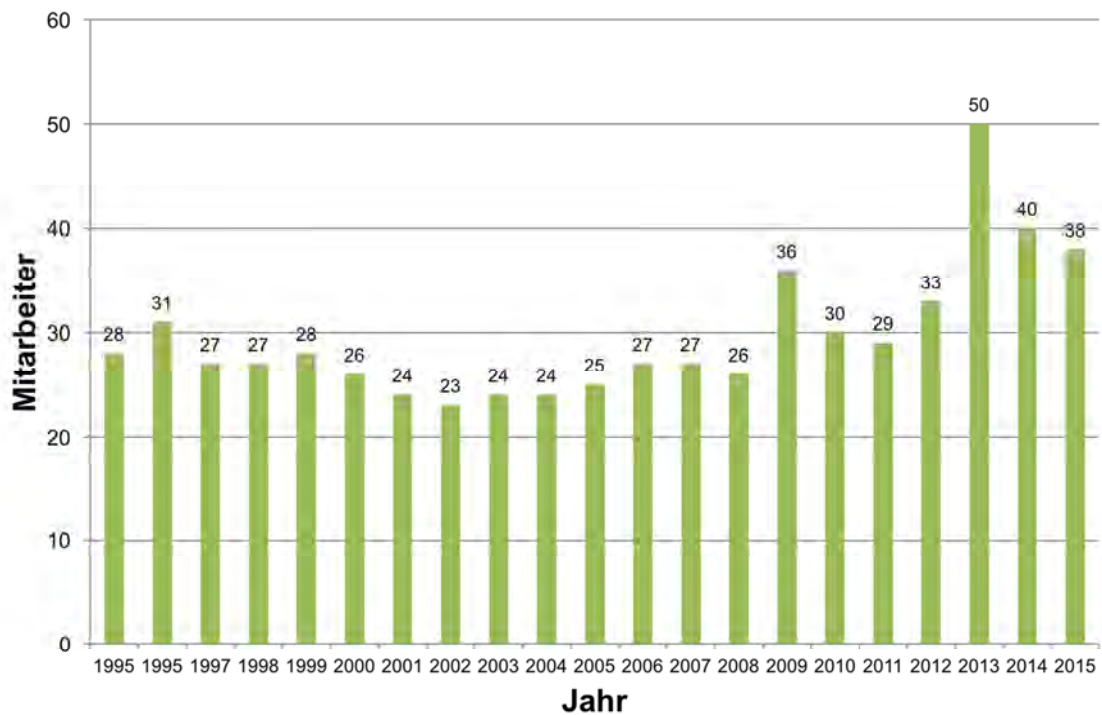
## 2 Statistische Angaben

Hochschullehrer: 5  
Mitarbeiter (VZÄ): 38 (Stand Dezember 2015)  
Drittmittel: 3,37 Mio. €

### Drittmittelverteilung 2015



### Entwicklung der Mitarbeiterzahlen



### 3 Struktur

#### 3.1 Organigramm



#### 3.2 Leitung des Institutes

Direktor: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Stellv. Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Projektmanager: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Sekretariat: Frau Bärbel Münzberg

#### 3.3 Übersicht der Professuren

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

## 3.4 Forschungsgruppen

### 3.4.1 Fachgebiet Mechatronische Systeme

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Stephan Düsterhaupt  
Dipl.-Ing. (FH) Christoph Hadank  
M.Eng. Li Li  
Dipl.-Ing. (FH) Holger Neumann  
Dipl.-Inf. (FH) Ivo Noack  
M.Eng. Christian Panescu  
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Reinicke  
Dipl.-Ing. Torsten Rottenbach  
Dipl.-Übers. (FH) Elisa Rudolph  
Dipl.-Ing. (FH) Olaf Schreiber  
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Ullrich  
Dipl.-Ing. (FH) Christian Vanek

#### **Arbeitsfelder:**

- Entwurf und Projektierung automatisierungstechnischer und mechatronischer Systeme
- Rapid Prototyping, CAE, Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme, FEM
- Magnetlagertechnik
- Auslegung und Konstruktion, Regelungstechnik, Leistungselektronik, Diagnose
- Sensortechnik
- Überwachung und technische Diagnose
- ANSYS, MADYN, MATLAB/Simulink



### 3.4.2 Fachgebiet Kerntechnik/Soft Computing

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Sören Alt (Laborleiter)  
M.Eng. Hassan Chahi  
Dr.-Ing. Stefan Kittan  
Dipl.-Ing. (FH) Doreen Kratzsch  
Matthias Pfeiffer  
Dr.-Ing. Stefan Renger  
Dr.-Ing. André Seeliger  
Frank Zacharias

#### **Arbeitsfelder:**

- Anlagen- und Reaktorsicherheit
- Modellierung und Simulation
- Modellgestützte Messverfahren, Soft Computing
- Bildverarbeitung: Objekterkennung, Tracking, Optische Qualitätskontrolle...
- Thermohydraulik, Zweiphasenströmungen Wasser/Dampf/Inertgase
- Methodische und experimentelle Untersuchungen
- Fuzzy Systeme (Mamdami, Takagi-Sugeno-Kang)
- Maschinelles Lernen: Künstliche Neuronale Netze (Multilayer Perceptron, Self-Organising Map...), Support Vector Machines (SVM)
- Genetische Algorithmen, Zelluläre Automaten, Multiagentensysteme
- Regelungstechnik, Prozessführung
- Energie- und Verfahrenstechnik
- Nichtlineare Dynamische Systeme
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen
- Simulationstechnik, Simulationscodes ATHLET, RELAP, CFX, COCOSYS

### 3.4.3 Fachgebiet Messtechnik/Prozessautomatisierung

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.-Inf. Jana Hänel  
Steffen Härtelt  
Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette  
M.Eng. Sebastian Schmidt



### **Arbeitsfelder:**

#### ***Energiespeicher für thermische Prozesse mit den Schwerpunkten Dampfspeicher, Verdrängungsspeicher, Phasenwechselspeicher***

- 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 des inversen Problems
  - Simulationsgestützte Analyse des statischen und dynamischen Verhaltens der entwickelten Messverfahren
  - Verwendete Software: DynStar, Matlab/Simulink, R
- Experimentelle Untersuchungen (Versuchsanlage NiCoLe)
  - 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

#### 3.4.4 Fachgebiet Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik

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) Thomas Gubsch  
Dipl.-Ing. (FH) Martin Kurz  
Dipl.-Ing. (FH) Ralf Pohl  
Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo  
Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider  
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Ullrich  
Dipl.-Ing. (FH) Mareike Weidner

#### **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

### **3.4.5 Fachgebiet Angewandte Elektronik**

Fachgebietsleiter: Prof. Dr.-Ing. Stephan Kühne

#### **Arbeitsfelder:**

- Entwicklung von Messverfahren der Analog- und Digitaltechnik
- Entwicklung von Baugruppen der Leistungselektronik im unteren kW-Bereich
- Entwicklung von Stellgliedern für elektrische Antriebe (Gleich- und Wechselrichter)
- Kontaktlose Energieübertragung
- Auswerte- und Verarbeitungselektronik der Messtechnik

## 4 Forschungsrelevante Aktivitäten des IPM

### 4.1 Mechatronische Systeme

#### 4.1.1 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

##### 4.1.1.1 Entwicklung neuartiger Magnetlagerkonzepte

<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) S. Düsterhaupt, Dipl.-Ing. (FH) H. Neumann, Dipl.-Ing. T. Rottenbach, Dipl.-Ing. (FH) C. Vanek
<b>Finanzierung:</b>	Industrie
<b>Kooperationspartner:</b>	Industrie
<b>Laufzeit:</b>	seit 2009

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Gestiegene Anforderungen an Lagerungen bezüglich Geräuscharmheit, Laufruhe oder Wartungsarmut in medizinischen oder energietechnischen Bereichen lassen sich teilweise nur durch den Einsatz von Magnetlagern erfüllen. Dazu müssen Magnetlager als vollständige Einheit aus Lager, Sensorik, Leistungselektronik und Software entwickelt werden. Nur durch die richtige Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander lassen sich die Vorteile wie Unwuchtkompensation oder geräuscharmer Lauf in vollem Umfang nutzen. Ziel des Projektes ist der Aufbau eines Prototyps für ein solches Lager.

Für Grundlagenuntersuchungen wurde ein Kleinversuchsstand entwickelt und aufgebaut. An dem Versuchsstand können verschiedene Regelstrategien und Einflüsse von materialtechnischen Eigenschaften untersucht werden. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme konnten experimentelle Untersuchungen im angestrebten Drehzahlbereich bis 350 U/min durchgeführt und mit Ergebnissen von Simulationsrechnungen verglichen werden. Hauptschwerpunkt der Untersuchungen war die Validierung dynamischer Simulationsmodelle.

Auf Basis der vom Industriepartner bereitgestellten Daten des entwickelten Prototyps wurde ein Simulationsmodell entwickelt und das Regelkonzept erarbeitet. Die vom Kleinversuchsstand ZML 320 abweichende konstruktive Gestaltung des Prototyps erforderte einen Neuentwurf der Reglerstruktur. Diese wurde in das Simulationsmodell implementiert und parametrisiert. Mit dem auf den Prototyp angepassten Regelalgorithmus wurde dieser anhand von Simulationsrechnungen getestet. Bei der Parametrisierung der Regler wurde das Ziel verfolgt, Störgrößen möglichst gut auszuregulieren. Die Untersuchungen wurden für das Anheben des Rotors aus der Randlage und den Drehzahlhochlauf auf Maximaldrehzahl durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten bildeten die Grundlage für die Inbetriebnahme des Prototyps. In der Zeit vom 06.-17. Juli 2015 erfolgte gemeinsam mit dem Industriepartner die Inbetriebnahme des Prototyps bei diesem vor Ort. Dazu war es notwendig, den Reg-

ler an die konkrete Ausführung des Prototyps anzupassen und zu parametrieren. Anhand aufgezeichneter Messdaten konnte das Systemverhalten analysiert und entsprechend den Erfordernissen angepasst werden. Der Prototyp wurde erfolgreich in Betrieb genommen und getestet. Für eine industrielle Nutzung des entwickelten Magnetlagers ist der als Labormuster aufgebaute Prototyp mit entsprechender Leit-, Bedien- und Sicherheitstechnik zu erweitern.

#### 4.1.1.2 Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Erhöhung der Energieeffizienz von Turbomaschinen in Kraftwerksanlagen durch innovative Lagerkonzepte

<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) S. Düsterhaupt, Dipl.-Ing. (FH) H. Neumann, M.Eng. C. Panescu, Dipl.-Ing. (FH) S. Reinicke, Dipl.-Ing. T. Rottenbach, Dipl.-Ing. (FH) C. Vanek
<b>Finanzierung</b>	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Europäischer Fond für regionale Entwicklung (EFRE)
<b>Kooperationspartner:</b>	Stadtwerke Zittau GmbH
<b>Laufzeit:</b>	01.09.2011 - 31.08.2014, verlängert bis 31.03.2015



Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

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

Gesamtziel des Vorhabens ist die Steigerung der Energieeffizienz von Turbomaschinen durch die Erhöhung des Wirkungsgrades. Dabei wurde das Ziel verfolgt, wissenschaftliche und technische Grundlagen zur Entwicklung geeigneter Fanglagerkonzepte für Großmaschinen mit aktiv magnetgelagerten Rotoren zu erarbeiten. Dazu wurden die theoretischen Grundlagen für die Auslegung, Modellierung und Simulation von Gleit- und Wälzlagerungen erarbeitet und ein geeigneter Großversuchsstand zur Qualifizierung von Fanglagerungen entwickelt, konstruiert und aufgebaut. Damit ist es möglich, Fanglagerungen unter extremen Umgebungsbedingungen zu testen und Modelle zu validieren.

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in drei komplexen Aufgabenpaketen:

- Entwicklung von Modellen zur Fanglagerauslegung und –simulation
- Aufbau der Versuchsanlage
- Experimentelle Untersuchungen von Fanglagerungen

Im ersten Arbeitspaket wurde die Interaktion zwischen Rotor und Fanglager unter Berücksichtigung der physikalischen Zusammenhänge, insbesondere der Statik und

Dynamik des Rotor-Fanglager-Kontaktes auf der Grundlage von Auslegungsrechnungen und Simulationsrechnungen analysiert.

Gegenstand des zweiten Schwerpunktes war die Planung, Auslegung und Errichtung eines Großversuchsstandes, des Magnet- und Fanglagerprüfstandes MFLP, zur Untersuchung von Magnetlagern einschließlich der dazu notwendigen Fanglagerung unter extremen Prozess- und Umgebungsbedingungen. Dieser wurde in einer ehemaligen Maschinenhalle der Stadtwerke Zittau GmbH errichtet, die dazu grundlegend umgebaut und ertüchtigt werden musste. Die Umbaumaßnahmen betrafen die Erneuerung des Baukörpers und die Infrastruktur. Nach Abschluss der Umbauarbeiten erfolgten der Aufbau und die Dokumentation des Versuchsstandes einschließlich der erforderlichen peripheren Anlagen. Dazu wurde die Versuchsstandsperipherie errichtet, angeschlossen und getestet. Parallel dazu wurde die Software für die Leittechnik und die Messwerterfassung/-archivierung erstellt und Funktionstests durchgeführt. Anschließend erfolgten der vollumfängliche Test der Versuchsanlage MFLP und die Leistungsanalyse aller Komponenten. Das umfasste die Inbetriebnahme, Funktionsuntersuchung sowie den Test aller Sensoren und Aktoren des Versuchsstandes einschließlich des Antriebes im Zusammenspiel mit der PLT-Software. Diese beinhaltet ein Warn- und Alarmsystem, womit ein mehrstufiges Sicherheitskonzept softwaretechnisch realisiert wurde. Sofern die PLT versagt, erfolgt das Ansprechen der installierten Hardwareschutzkette.



**Abbildung 1: Versuchsanlage Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP im Zittauer Kraftwerkslabor**

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme der Versuchsanlage MLFP wurden im Aufgabenpaket 3 im Rahmen der Forschungskoope-ration zwischen der Schaeffler



Technologies AG und der Hochschule Zittau/Görlitz – IPM erste Fanglageruntersuchungen durchgeführt (siehe Abschnitt 4.1.1.3). Parallel dazu wurde die Projektskizze zum Folgevorhaben „Energieeffiziente Magnetlagerungen für Anwendungen unter extremen Umgebungsbedingungen“ und der dazugehörige Projektantrag ausgearbeitet und eingereicht. Während der feierlichen Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors am 5. November 2015 wurde durch den Sächsischen Staatsminister der Finanzen, Prof. Dr. Georg Unland, der Zuwendungsbescheid für das Nachfolgeprojekt übergeben.

#### **4.1.1.3 Forschungskooperation zwischen der Schaeffler Technologies AG und der Hochschule Zittau/Görlitz - IPM**

<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz
<b>Mitarbeiter:</b>	M.Eng. C. Panescu, Dipl.-Ing. T. Rottenbach, Dipl.-Ing. (FH) C. Vanek
<b>Finanzierung:</b>	Schaeffler Technologies AG
<b>Kooperationspartner:</b>	Schaeffler Technologies AG
<b>Laufzeit:</b>	seit Juni 2013

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung zwischen der Schaeffler Technologies AG & Co. KG und der Hochschule Zittau/Görlitz wurde die Zusammenarbeit zu Forschungs- und Entwicklungsleistungen auf dem Gebiet der Magnet- und Fanglagertechnik weiter ausgebaut. Untersuchungsgegenstand waren Magnet- und Fanglager an den am IPM installierten Großversuchsanlagen SFDT und MFLP.

In Vorbereitung des Projektes „Experimentelle Ermittlung von Kenngrößen am Axiallager des Versuchsstandes SFDT“ wurde ein Konzept zur experimentellen Aufprägung quasistatischer und sprungförmiger mechanischer Belastungen auf das Axialmagnetlager des Versuchsstandes erstellt und umgesetzt. Neben der Untersuchung des Störgrößenverhaltens des Systems wurde die Möglichkeit der Untersuchung des Führungsgrößenverhaltens durch Aufprägung sprung- und sinusförmiger Signale vorgesehen. In Abstimmung mit dem Industriepartner erfolgte die experimentelle Untersuchung von drei Lagerkonfigurationen bei verschiedenen Betriebszuständen und Arbeitspunkten. Ziel dabei war es, die theoretisch vorab bestimmten Lagerparameter durch Experimente zu validieren und das Zeitverhalten des realisierten Systems zu ermitteln.





**Abbildung 2: Vorrichtung zur rampen- und sprungförmigen Belastung des Axialmagnetlagers**

Auf dem Gebiet der Fanglagerung wurde für experimentelle Untersuchungen der Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP ertüchtigt und genutzt. Dazu wurde der Versuchsstand zusätzlich mit Messtechnik des Industriepartners ausgestattet. Im ersten Arbeitspunkt wurden in experimentellen Untersuchungen die Messketten kalibriert und die während des Betriebes der Anlage auftretenden Rausch- und Störanteile für alle relevanten Betriebszustände untersucht. Weiterhin wurde die Versuchsstandssteuerung an die Erfordernisse der in der Versuchsmatrix vorgesehenen Experimente angepasst. Im zweiten Arbeitspunkt erfolgten zahlreiche Fanglageruntersuchungen für verschiedene Lagerkonfigurationen. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen lag auf der Ermittlung des Verschleißes und dessen Auswirkungen auf das dynamische Verhalten der Lagerung. Ziel war es, Aussagen zur Lebensdauer von Fanglagern in Abhängigkeit der Lagerkonfiguration bzw. der maximalen Anzahl von Abwürfen zu erhalten.

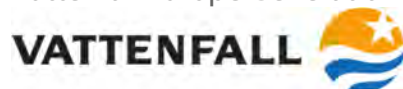
#### **4.1.1.4 Verbesserung der Betriebsflexibilität und Energieeffizienz von bestehenden Kraftwerken durch den Einsatz von magnetgelagerten Turbospeisepumpen (TSP) als Ersatz für die vorhandenen konventionell gelagerten Anlagen**

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

**MitarbeiterInnen:** Dipl.-Ing. (FH) C. Hadank, Dipl.-Ing. T. Rottenbach, Dipl.-Ing. (FH) C. Vanek

**Finanzierung:** Vattenfall Europe Generation AG

**Kooperationspartner:** Vattenfall Europe Generation AG



**Laufzeit:** 01.10.2013 - 31.10.2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Projekt ordnet sich in die langjährige Forschungskoooperation zwischen der Hochschule Zittau/Görlitz und der Vattenfall Europe AG ein und zeigt einmal mehr das Interesse von technologieorientierten Unternehmen an den in den letzten Jahren erzielten Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Magnetlagertechnik. Mit der magnetgelagerten Pumpe im Kraftwerk Boxberg wurde gezeigt, dass Magnetlager auch unter den rauen Bedingungen im Kraftwerk stabil und zuverlässig arbeiten. Diese Erfahrungen bildeten die Grundlage für die Adaption dieser Technologie für eine Speisepumpenantriebsturbine (SPAT), die im Jahr 2014 im Kraftwerk Jänschwalde installiert und seit März 2015 in den Dauerbetrieb überführt wurde.



**Abbildung 3: Magnetgelagerte Speisepumpenantriebsturbine im Kraftwerk Jänschwalde**

Das Projekt war in zwei Schwerpunkte gegliedert:

Der erste Schwerpunkt umfasste die Begleitung der Inbetriebnahme der ölfreien SPAT im Vattenfall-Kraftwerk Jänschwalde mit dem Ziel, eine optimale Betriebsführung in der Anlage zu erreichen. Dazu wurden an der Großversuchsanlage „Schmiermittelfreie Dampfturbine“ an der Hochschule Zittau/Görlitz weiterführende experimentelle Untersuchungen zur Optimierung der Lagerkühlung unter nachgestellten Betriebsbedingungen durchgeführt. Parallel dazu wurde ein Messtechnik-Konzept zur Datenerfassung, Archivierung und Datenvorauswertung einschließlich der Datenfernübertragung und Remote-Control des Messrechners erstellt, umgesetzt und im Kraftwerk installiert. Die dazu erforderliche Software wurde auf Basis von LabVIEW erstellt. Es werden alle zur Darstellung des Systemzustandes relevan-

ten Daten der SPAT und der Magnetlagerung erfasst, wie z. B. Rotorpositionen, Lagerströme, Dampftemperaturen und -drücke, Rotordrehzahl etc.


Im zweiten Schwerpunkt wurde zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades durch generellen Verzicht auf die Lagerkühlung eine Machbarkeitsstudie zu Hochtemperaturmagnetlagern durchgeführt. Dabei wurde auf Grundlage einer Literaturrecherche untersucht, inwiefern die an der magnetgelagerten ölfreien Speisepumpenantriebsturbine eingesetzte Lagerkühlung durch die Verwendung temperaturbeständigerer Werkstoffe künftig entfallen kann. Dazu wurden die Auswirkungen der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Eigenschaften von Magnetlagerwerkstoffen, wie die für die Funktion der Magnetlager maßgeblichen elektrischen und magnetischen als auch die mechanischen und chemischen Eigenschaften untersucht. Im Anschluss erfolgte eine Analyse verfügbarer Magnet-, Leiter- und Isolierwerkstoffe für Hochtemperaturmagnetlager. Anhand der Auslegung eines Hochtemperaturmagnetlagers wurden die Auswirkungen hoher Temperaturen auf den Auslegungsprozess und den Betrieb eines solchen Lagers dargestellt. Unter Berücksichtigung der ermittelten temperaturabhängigen Parameter der Werkstoffeigenschaften wurden aktive Magnetlager für Temperaturbereiche zwischen 300 °C und 500 °C statisch ausgelegt, modelliert und berechnet.

#### 4.1.1.5 Untersuchungen von Komponenten und Methoden zur Verbesserung der Energieeffizienz elektrischer Traktionen unter Einbeziehung von Schwungmassespeichern

**ProjektleiterIn:** Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz, Prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

**MitarbeiterInnen:** Dipl.-Ing. (FH) H. Neumann, Dipl.- (FH) S. Reinicke; Dipl.-Übers. (FH) E. Rudolph

**Finanzierung:**

SAB  Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

 Ziel 3 | Cíl 3  
Ahoj sousede. Halo Nachbar.  
2007-2013. www.ziel3-cil3.eu

**Kooperationspartner:** Technische Universität Liberec

**Laufzeit:** 01.12.2013 - 15.01.2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

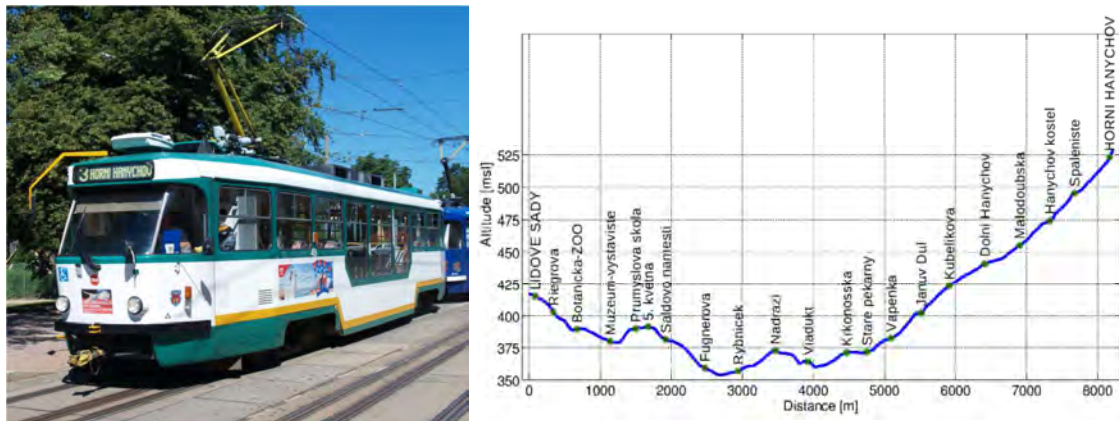
Im Rahmen des Programmes zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik entstand diese wissenschaftliche Kooperation zwischen der Technischen Universität in Liberec und der Hochschule Zittau/Görlitz.

Ziel des Projektes war es, anhand der technischen Daten des Straßenbahnbetriebes der Städte Liberec und Jablonec nad Nisou ein Energierückgewinnungssystem zu entwerfen, das durch den Einsatz von Schwungmassespeichern in der Lage ist, durch Rückführung von Bremsenergie auf Leistungsspitzen zu reagieren und somit den Energiebedarf zu senken. Dazu ist es erforderlich, die beeinflussenden Parameter zu ermitteln und entsprechende mathematische Modelle zu entwerfen, die die



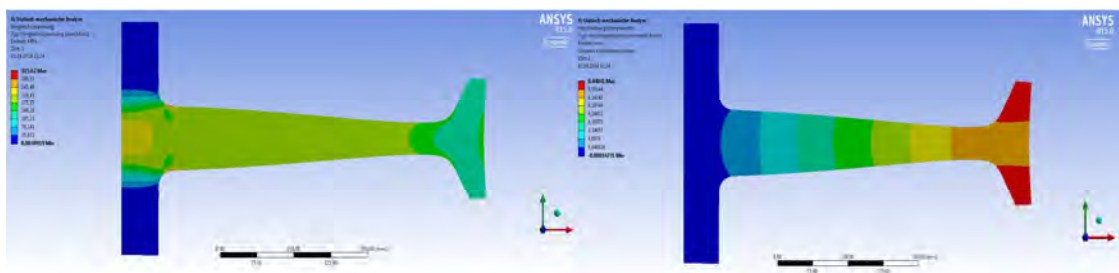
Grundlage für die Entwicklung eines KERS (Kinetic Energy Recovery System) bilden. Weiterhin ist es erforderlich, die Anforderungen an den Entwurf des Schwungmassespeichers mittels Simulationsergebnissen zu analysieren. Die ermittelten Spezifikationen sind behilflich bei der Erstellung eines Lastenheftes. Dieses dient in Verbindung mit der Analyse der elektrischen Antriebe dem Design zur Realisierung des KERS.

Im Projekt wurde die von den Verkehrsbetrieben Liberec DPMLJ betriebene Straßenbahnstrecke zwischen Dolní Hanychov und Lidové sady in Liberec analysiert. Die Strecke wird von zwei Umformerstationen in Dolní Hanychov und in der Tatrastraße mit Energie versorgt. Beide Umformerwerke wurden hinsichtlich ihrer Verbrauchs- und Abgabemengen untersucht. Ebenso wurden die auf der Strecke fahrenden Straßenbahnen auf Verbrauch und bereits vorhandene Rückgewinnungsmöglichkeiten analysiert, es wurden Messungen und Simulationen durchgeführt und ausgewertet.



**Abbildung 4: Eingesetzte Straßenbahn T3 (links) und untersuchte Strecke (rechts)**

Auf Basis der Untersuchungs-, Mess- und Simulationsergebnisse wurde eine Schwungscheibe ausgelegt, die die Grundlage für die Erstellung eines Lastenheftes bildet.



**Abbildung 5: Ausgelegte Schwungscheibe – Analyse der Spannungen und Verformungen**

Die Lagerung der Schwungscheibe wird durch aktive Magnetlager realisiert. Aus den Schwungrad- und Magnetlagerspezifikationen wurden die Anforderungen an den Antrieb des Schwungmasse-Energiespeichers abgeleitet, die in der Auswahl einer geeigneten Motor-Generator-Einheit des Herstellers Siemens resultierten. Anschließend wurden durch Simulationen Teilmodelle der einzelnen Systemkomponenten erstellt, die die Darstellung des Gesamtsystems ermöglichen.



**Abbildung 6: Schwungscheibe mit aktiver Radial- und Axialmagnetlagerung**

Mithilfe der erzielten Ergebnisse konnte eine betriebswirtschaftliche Bewertung wie auch eine Prognose zur Energieeffizienz abgegeben werden. Abschließend wurde ein Abschlussbericht sowohl in deutscher als auch tschechischer Sprache verfasst. Für 2016 ist ein Folgeprojekt mit dem Ziel der Schaffung der technischen Grundlagen für einen Prototyp auf Basis eines Pflichtenheftes geplant. Das Pflichtenheft soll neben den werkstoffwissenschaftlichen und konstruktiven Details der Schwungmasse Lösungen bezüglich der elektrischen Maschine, der Magnet- und Fanglagerung und der Leistungselektronik enthalten. Parallel zu diesen Arbeiten werden Untersuchungen bezüglich der Energie- und Leistungsbilanz der Traktion in Abhängigkeit der Jahreszeit, der tageszeitabhängigen Fahrzeuggesamtmasse und des Geschwindigkeitsprofils durchgeführt und durch messtechnische Untersuchungen validiert. Daraus wird ein Konzept zur Steuerung und Optimierung der Energieflüsse im Bahnnetz abgeleitet und in ein Energiemanagementsystem integriert.

## 4.1.2 Versuchsanlagen

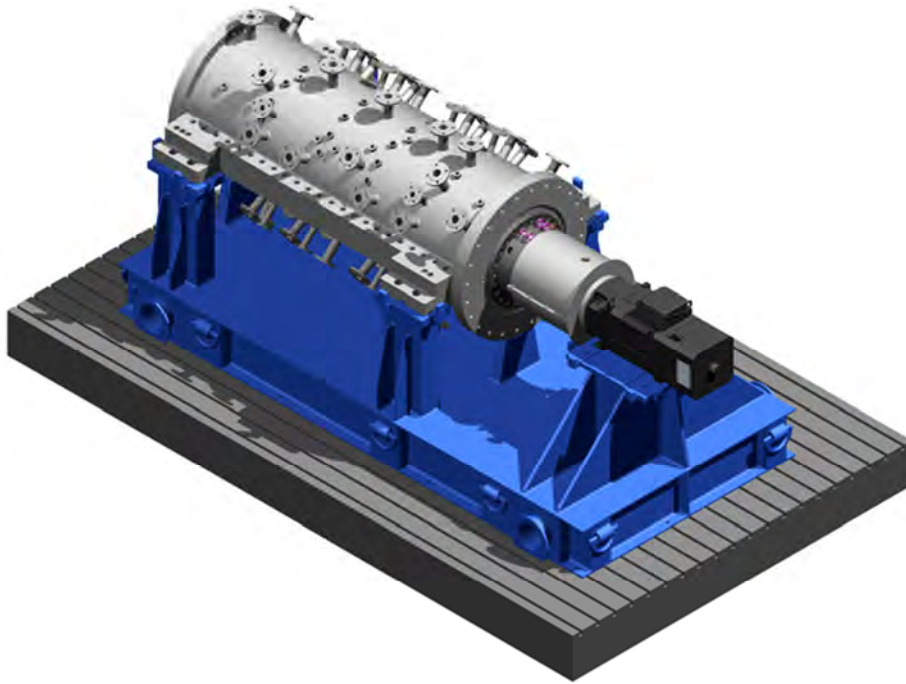
### 4.1.2.1 Versuchsanlage „Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP“

Der Magnet- und Fanglager-Prüfstand (MFLP) - Abbildung 7 - wurde im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors errichtet. Er dient der Untersuchung von Magnet- und Fanglagern unter kraftwerksrelevanten Umgebungsbedingungen, vor allem hinsichtlich deren Langzeitstabilität. Wesentliche Eigenschaften des Prüfstandes sind:

- Rotor mit einer Masse von ca. 1,3 t
- Druckfester Rezipient mit Kammersystem
- Separat regelbare Dampfanschlüsse an jeder Kammer zur Beaufschlagung mit überhitztem Wasserdampf (bis zu 3 bar und 250 °C)
- Modularer Aufbau der Fanglageraufnahmen im Rezipienten für den Einbau unterschiedlichster Fanglagerkonfigurationen

- Notfanglager als Sicherungseinrichtung beim Test von zu untersuchenden Fanglagern bis an die Auslegungsgrenze
- Horizontal geteilter Rezipient für einfache Montage und Demontage von Magnet- und Fanglagerkomponenten

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



**Abbildung 7: Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP**

#### 4.1.2.2 Magnet- und Fanglagerprüfstand FLP 500

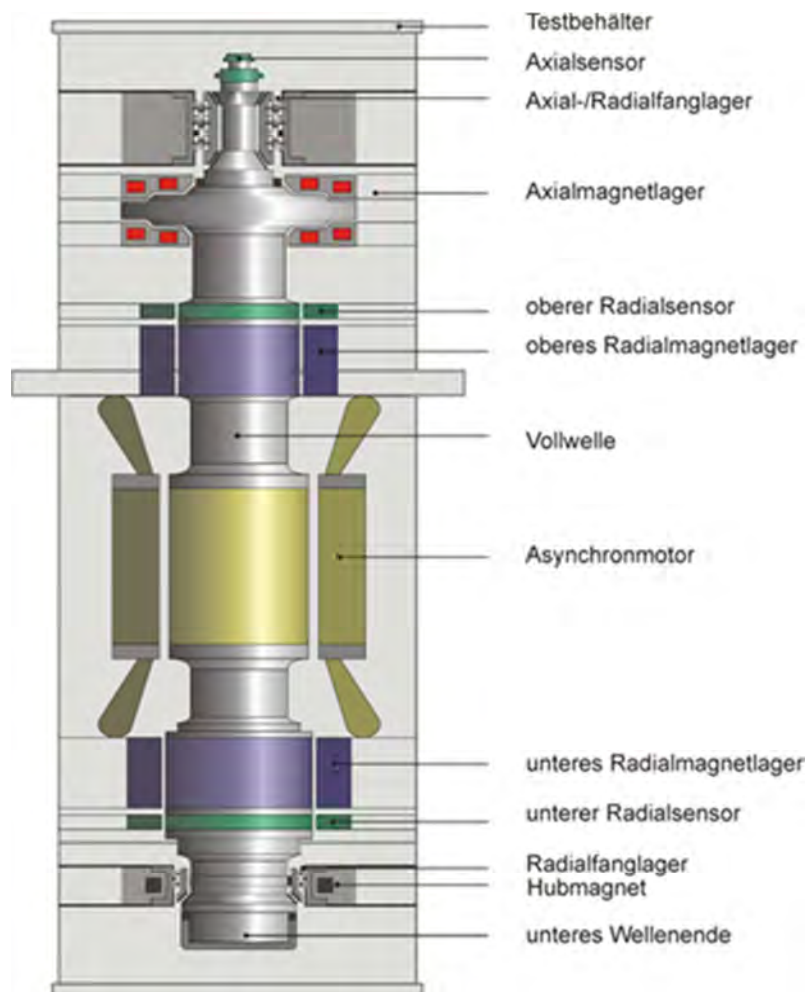


**Abbildung 8: Magnet- und Fanglagerprüfstand FLP 500**

Die Großversuchsanlage FLP 500 - Abbildung 8 und Abbildung 9 - 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 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





**Abbildung 9: Aufbauschema 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; unten 10 kN
- Max. Lagerstrom: 50 A

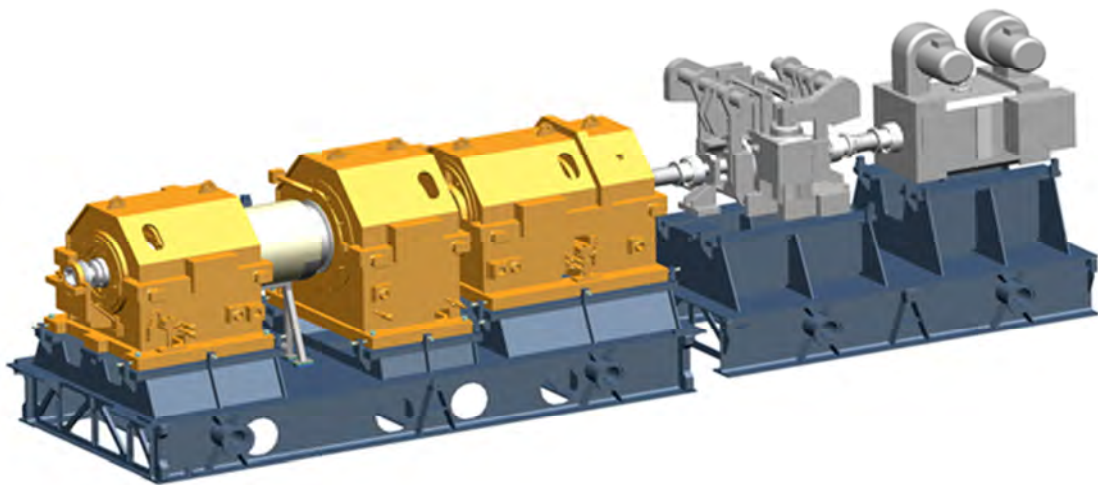
#### 4.1.2.3 Versuchsanlage SFDT „Schmiermittelfreie Dampfturbine“

Die Versuchsanlage SFDT - Abbildung 10 - dient zur Untersuchung von thermischen und mechanischen Einflüssen auf Magnet- und Fanglager. Das Versuchsfeld befindet sich in einer separaten Halle auf dem Gelände der Hochschule Zittau/Görlitz. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Horizontaler Rotor mit einer Masse von ca. 2,5 t

- Thermische Belastungseinrichtung mit 40 kW Heizleistung
- Elektro-magneto-mechanische Belastungseinrichtung mit einer maximalen radialen Kraftaufprägung von 35 kN
- Schutzbunker zum Schutz des Bedienpersonals
- Luft und Wasserkühlsystem für die Magnetlager

Mit dem Versuchsaufbau können die Betriebsbedingungen einer magnetgelagerten Industriedampfturbine nachgestellt werden. Dabei werden verschiedene Betriebsmodi der Turbine simuliert und die damit verbundenen thermischen und mechanischen Lasten auf die Lager aufgebracht.



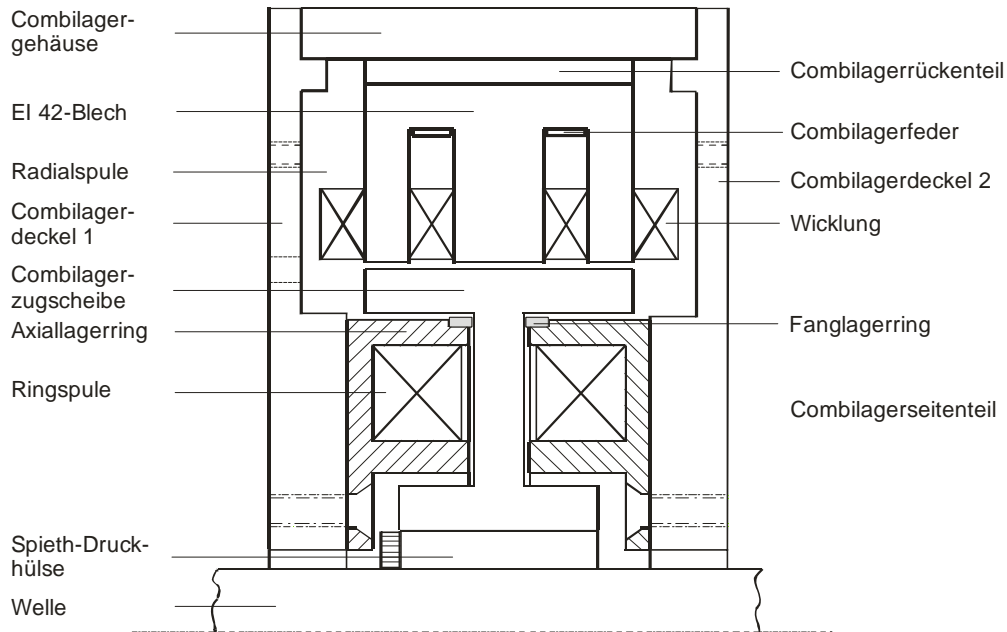
**Abbildung 10: Versuchsanlage SFDT**

#### 4.1.2.4 Kleinversuchsstand ZMB120 (Zittau Magnetic Bearing)

Der Kleinversuchsstand ZMB120 ist eine Eigenentwicklung des Fachgebietes Mechatronische Systeme des IPM. Bei diesem Versuchsstand wurde die Anzahl der Lagerstellen von üblicherweise drei – zwei Radialmagnetlager und ein Axialmagnetlager – durch die Kombination von Radial- und Axialmagnetlager in einer Baueinheit auf zwei reduziert.

Wesentliche Eigenschaften und Vorteile der Versuchsanordnung sind:

- Kombiniertes Radial- und Axialmagnetlager:
  - Einsparung einer Lagerstelle
  - Reduzierung des Platzbedarfes durch Verkürzung des Rotors
  - Verbesserung der Rotordynamik durch Erhöhung der Rotoreigenfrequenzen
- Geringe Lagerverluste durch Verwendung von Homopolarlagern
- Einfach zu fertigende Magnetlagerrotorteile (massive Drehteile, keine Blechung)
- Variable Positionierung der Lager durch lösbare Befestigung der Rotorteile



**Abbildung 11: Schnittdarstellung des kombinierten Axial- und Radialmagnetlagers**

Der Versuchsstand wurde zum Nachweis der Funktion des Lagerkonzeptes und zur Validierung und Verifikation von Simulationsmodellen eingesetzt.

### 4.1.3 Publikationen

#### 4.1.3.1 Proceedings

S. Düsterhaupt, F. Worlitz: Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP – Versuchsanlage zum Test von Magnet- und Fanglagerungen unter extremen Bedingungen, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August – 01. September 2015, Zittau, Deutschland

J. M. Gouws, J. J. van Rensburg; C. Vanek: An investigation into backup bearing lifetime using quantified rotor delevitation severity indicators, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August – 01. September 2015, Zittau, Deutschland

L. Li: Experimentelle Untersuchung des Konzeptes adaptiver Zustandsregelung anhand Parameteridentifikation, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August – 01. September 2015, Zittau, Deutschland

#### 4.1.3.2 Vorträge und Präsentationen

S. Düsterhaupt, F. Worlitz: Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP – Versuchsanlage zum Test von Magnet- und Fanglagerungen unter extremen Bedingungen, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August–01. September 2015, Zittau, Deutschland

J. M. Gouws, J. J. van Rensburg; C. Vanek: An investigation into backup bearing lifetime using quantified rotor delevitation severity indicators, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August–01. September 2015, Zittau, Deutschland

L. Li: Experimentelle Untersuchung des Konzeptes adaptiver Zustandsregelung anhand Parameteridentifikation, 10. Workshop Magnetlagertechnik, 31. August–01. September 2015, Zittau, Deutschland

#### 4.1.3.3 Poster

Zittauer Kraftwerkslabor der Hochschule Zittau/Görlitz – Magnet- und Fanglagerprüfstand MFLP, Poster zur feierlichen Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors, 05. November 2015, Zittau, Deutschland

Experimentelle Untersuchungen von Magnet- und Fanglagern unter extremen Umgebungsbedingungen, Poster zur feierlichen Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors, 05. November 2015, Zittau, Deutschland

Praxisnahe Forschung auf dem Gebiet aktiver Magnetlager, Poster zur feierlichen Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors, 05. November 2015, Zittau, Deutschland

#### 4.1.4 Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten

**Thema 1:** *Untersuchung statischer und dynamischer Rotor-Fanglagerkontakte - Praktikumsarbeit*

**BearbeiterIn:** Elisa Heinrich

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

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 2:** *Analyse spezifischer Eigenschaften der Magnetlager an der magnetgelagerten Speisewasserantriebsturbine (SPAT) im Kraftwerk Jänschwalde - Praktikumsarbeit*

**BearbeiterIn:** Martin Massalsky

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

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 3:** *Implementierung von Methoden zur Zustandsdiagnose in eine bestehende Softwarelösung für aktive Magnetlager - Masterarbeit*

**BearbeiterIn:** Radek Pujman

**BetreuerIn:** Dipl.-Ing. (FH) Ivo Noack

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 4:** *Entwicklung und Test eines Algorithmus zur Identifikation des Messrauschens im Regelkreis der Magnetlager - Bachelorarbeit*

**BearbeiterIn:** Yixin Gong

**BetreuerIn:** M. Eng. Li Li

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

#### 4.1.5 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



**M.Eng. Li, Li:** Klassische Verfahren und Softcomputing zur Inbetriebnahme und Optimierung von Magnetlagern, Technische Universität Ilmenau, Fakultät Informatik und Systemanalyse

**M.Eng. Fiebig, Jan-Rainer:** Implications of active magnetic bearings for industrial turbines, North-West University, Potchefstroom, South Africa

## 4.2 Kerntechnik/Soft Computing

### 4.2.1 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

#### 4.2.1.1 Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV (Kurztitel: Zinkborat; FKZ 150 1491)

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dr.-Ing. S. Kittan, M. Pfeiffer, Dr.-Ing. S. Renger, Dr.-Ing. A. Seeliger
<b>Finanzierung:</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)   Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
	Projektträger: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit GRS mbH
<b>Kooperationspartner:</b>	Technische Universität Dresden (TUD) Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
<b>Laufzeit:</b>	01.03.2015 - 28.02.2018

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Falle eines Kühlmittelverluststörfalls (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 Druckwasserreaktor-Anlage (DWR) anzunehmende Leckgrößen und Nachkühlbedingungen sowie damit verbundene thermo-hydraulische Randbedingungen im Sicherheitsbehälter (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 der 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.

#### 4.2.1.2 Entwicklung eines Demonstrators für die Diagnose von Maschinentransformatoren

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Inf. J. Hänel
<b>Drittmittelgeber:</b>	Vattenfall Europe Generation AG
<b>Laufzeit:</b>	I. Quartal 2015 - IV. Quartal 2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Um die Betriebstüchtigkeit von Transformatoren zu gewährleisten, ist eine Zustandsüberwachung nötig. Dies geschieht durch Erfassung von Systemparametern (Monitoring) und durch Vergleich dieser Parameter mit dem Soll-Zustand, um daraus Fehler zu ermitteln und Instandhaltungsmaßnahmen zu planen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde, aufbauend auf den Erkenntnissen vorheriger Projekte, ein Demonstrator entwickelt, welcher die Algorithmen zur Zustandsbewertung von Transformatoren für den Anwender nutzbar macht. Der Demonstrator beinhaltet außer der Auswertemethode einen Adapter, der die Daten aus einer Transformator Datenbank ausliest und aufbereitet, sowie einen Reportgenerator, der die Diagnoseergebnisse in einer Reportdatei grafisch darstellt und alle wichtigen Informationen zum Zustand eines Transformators ausgibt. Die Daten wurden von Transformatoren aus dem Kraftwerk Boxberg und dem Kraftwerk Jänschwalde von Vattenfall zur Verfügung gestellt.

Es wurde auf Fuzzy-Logik basierende Methoden umgesetzt und getestet.

#### 4.2.1.3 Dichtegeliebene vertikale Austauschbewegungen von Gasen in Stab-bündelgeometrien und Untersuchungen zum radialen Strahlungsverhalten in ausgewählten beheizten Stabbündel-Konfigurationen

Innerhalb Verbundprojekt SINABEL: Sicherheit der Nasslager für abgebrannte Brennelemente: Experimentelle Analyse, Modellbildung und Validierung für System- und CFD-Codes

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. S. Alt, M.Eng. H. Chahi
<b>Drittmittelgeber:</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)





**Kooperationspartner:** Technische Universität Dresden – Institut für Strömungsmechanik  
Technische Universität Dresden – AREVA-Stiftungsprofessur für Bildgebende Messverfahren für die Energie- und Verfahrenstechnik  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf – Institut für Fluidodynamik  
Technische Universität Dresden – Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik

**Laufzeit:** 10/2013 - 09/2017

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Anhand von kombinierten Experimenten und Simulationen sollen gesicherte Kenntnisse über die Wärmetransportprozesse für den Fall eines teilweise bzw. vollständig ausgedampften Brennelement-Lagerbeckens (BE-LB) sowohl innerhalb der Brennstabbündel von BE als auch in den Zwischenräumen zwischen den BE geliefert werden, um damit über die Modellbildung und -anwendung die Entwicklung der axialen und radialen Stabtemperaturprofile bei unterschiedlichen Störfallszenarien prognostizieren zu können.

Auf Basis von Analysen zu den lufttechnischen Anlagen in DWR wurden Randbedingungen des Strömungsverhaltens oberhalb der Brennelemente im BE-Lagerbecken bestimmt. Als Grenzen des Stoff- und Wärmeaustausches sind Funktion oder Ausfall der lufttechnischen Anlagen relevant. Da sich DWR-Lagerbecken im Vergleich zu SWR im Sicherheitsbehälter befinden, ist ein Szenario mit Luftkontakt zur Atmosphäre für DWR wegen der konstruktiven Gegebenheiten eher unwahrscheinlich.

Basierend auf der geforderten Luftwechselzahl in den Betriebsräumen eines DWR wurden der maximale Volumenstrom und damit die maximale Überströmgeschwindigkeit sowie der relevante Parameterbereich für Temperatur und Feuchtigkeit der überströmenden Luft für die vorgesehenen Experimente mit DWR-Spezifika festgelegt. Ein auf diese Bedingungen abgestimmtes Versuchskonzept „Dichtegetriebene Vertikale Austauschbewegungen von Gasen (DVABEG)“ wurde erstellt.

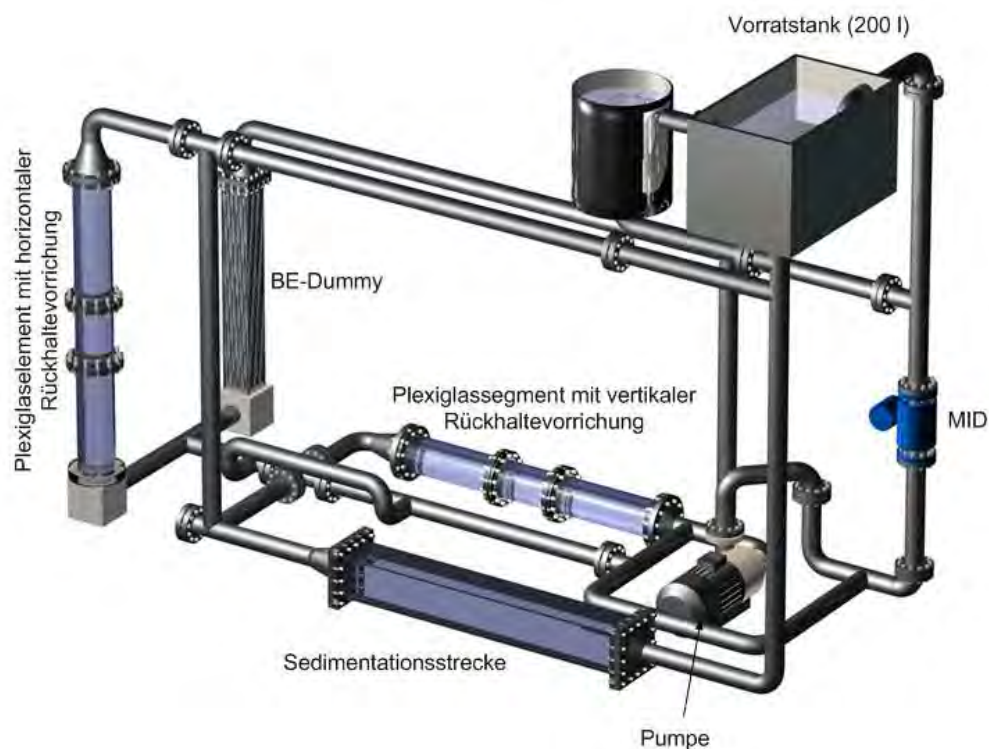
Nach der Erstellung des Versuchskonzeptes für den Versuchsstand DVABEG auf Basis der durch eigene Recherchen und mit den Projektpartnern in den Arbeitstreffen im ersten Halbjahr abgestimmten Randbedingungen wurden die Komponenten der Anlage (z. B. Überströmgehäuse, Gestell, Rohrleitungen, Reduzierungen, Statikmischer, Befeuchtungsstrecke, Radialventilator, Elektro-Heizregister, Befeuchtungsanlage, Abluftanlage und Messtechnik) erworben und im Labor als Versuchsanlage montiert bzw. errichtet. Die Montage der strömungsführenden Rohrleitungen und Gehäuse sowie die Einbindung der für die Konditionierung der Gase erforderlichen Komponenten sind erfolgt. Mit den Arbeiten zur elektrischen Versorgung und Ansteuerung sowie zur messtechnischen Erfassung der Versuchsdaten wurde begonnen.

## 4.2.2 Versuchsanlagen

### 4.2.2.1 Ringleitung II

Der modular aufgebaute Versuchsstand mit zu- und abschaltbaren vertikalen und horizontalen Versuchsstrecken aus Plexiglas dient der Untersuchung von Einzeleffekten und des Integralverhaltens von Mehrphasenströmungen. Besonderheiten dieser Versuchsanlage sind:

- Optische Kontrolle und Anwendung der Digitalen Bildverarbeitung an den Plexiglas-Komponenten
- Analyse des Anlagerungs- und Penetrationsverhaltens von Feststoffpartikeln an Rückhaltevorrichtungen bei verschiedenen Volumenströmen
- Integraleexperimente zur Analyse des Sedimentations- und Resuspensionsverhaltens von Feststoffpartikeln bei verschiedenen Volumenströmen
- Analyse des Anlagerungsverhaltens freigesetzter Feststoffpartikel an komplexen Geometrien, z. B. Brennelemente-Dummys
- Erweiterbarkeit um zusätzliche Module wie z. B. Heizstabkonfigurationen



**Abbildung 12:** Schematische Darstellung der „Ringleitung II“

#### 4.2.2.2 Zittauer Strömungswanne (ZSW)

Der Versuchstand dient der Untersuchung des Integralverhaltens einer Kühlmittelströmung mit Feststoffpartikeln. Er hat ein Volumen von 18 m<sup>3</sup>.

- korrosionsbeständige Materialien (Edelstahl, Plexiglas), d. h. Temperaturbeständigkeit bis 80 °C.
- Länge der ZSW mit 6,0 m entspricht etwa einer mittleren Strecke vom Leckstrahleintritt bis zum Containmentsumpfsieb in DWR-Anlagen
- Füllhöhe von 2,6 m entspricht einem vergleichbaren Füllstand im Containmentsumpf in DWR-Anlagen nach Kühlmittelverluststörfall in der Phase des Sumpfumwälzbetriebes
- Umwälzpumpe ist so ausgelegt, dass entsprechende Leerrohrgeschwindigkeiten an den Rückhaltevorrückungen wie in DWR-Anlagen eingestellt werden können
- Möglichkeit der Anordnung von Downstream-Komponenten (Feinfilter, BE-Dummy) hinter variierbaren Rückhaltevorrückungen, die vor dem Ansaugkasten angebracht sind

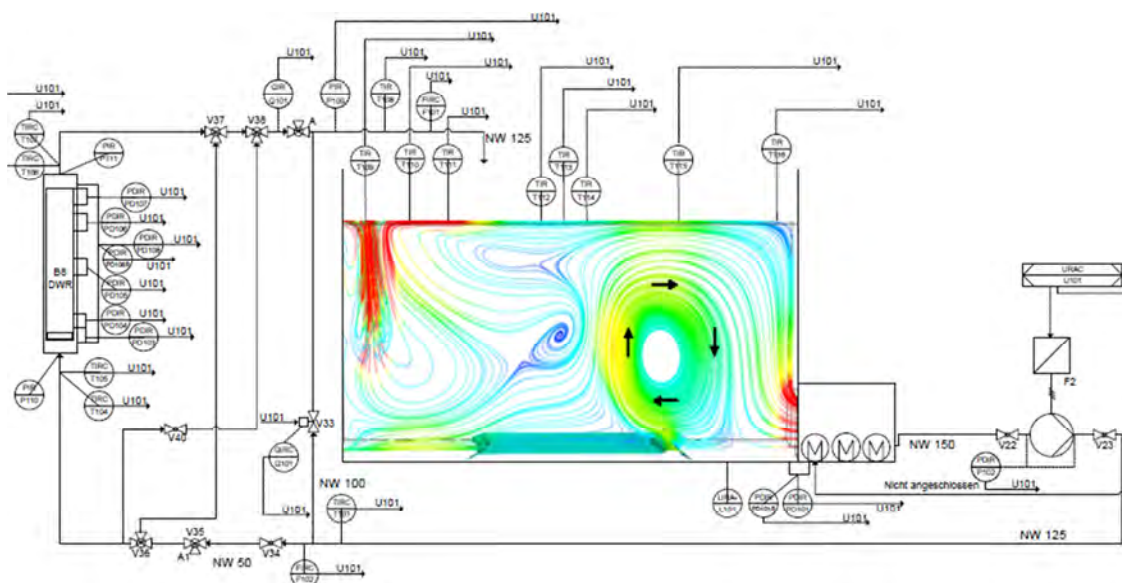
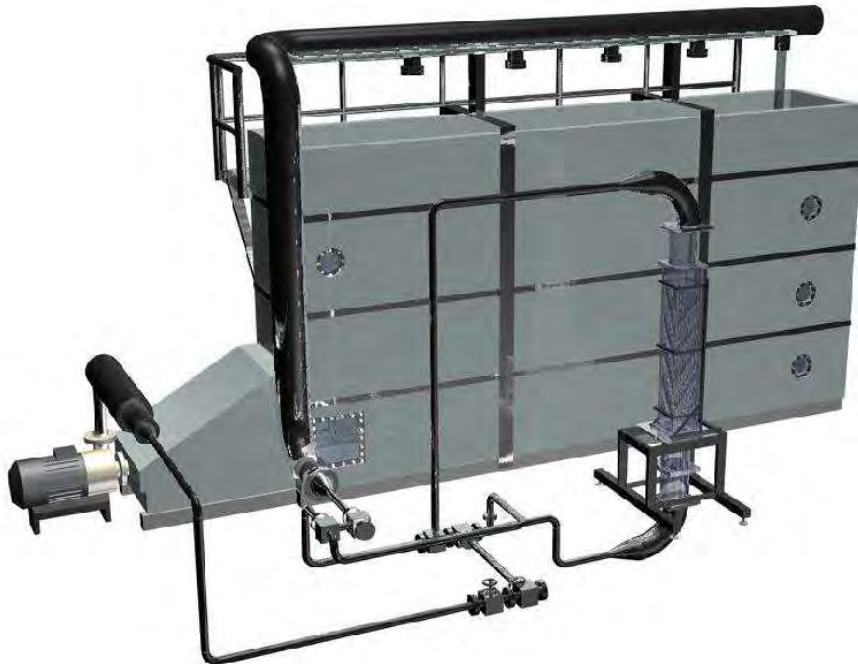


Abbildung 13: Instrumentierung und simuliertes Strömungsprofil (Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf) der „Zittauer Strömungswanne“ (ZSW)

### 4.2.2.3 Brennelemente-Dummy

Der verkürzte Brennelemente-Dummy besteht aus:

- 16x16 Brennstabdummys, 20 Kontrollstäben, drei Abstandshaltern
- BE-Kopf, BE-Fuß mit 3x3 mm Debris-Screen Filter (IDF)



**Abbildung 14:** Schema des Versuchsstandes „Zittauer Strömungswanne“ mit Brennelemente-Dummy

Der BE-Dummy ist mit einem Gehäuse aus Plexiglas umhüllt und kann an die Zittauer Strömungswanne angeschlossen werden. Experimente ermöglichen das Messen und Aufzeichnen der Differenzdrücke über den BE-Fuß, die Abstandshalter, den BE-Kopf sowie den gesamten BE-Dummy.

### 4.2.2.4 Brennelemente-Cluster

Der BE-Cluster besteht aus vier verkürzten BE-Dummys mit folgendem Aufbau:

- 16x16 Brennstabdummys, 20 Kontrollstäbe, zwei Abstandshalter
- BE-Kopf, BE-Fuß mit 3x3 mm integriertem Debris-Filter (IDF)
- separate Ein- und Ausströmbereiche bzw. Massenströme für jeden Dummy
- 8 magnetisch-induktive Durchflussmesser zur Messung der Massenströme an jeder einzelnen Ein- bzw. Ausströmung

Die BE-Dummys sind mit einem Gehäuse aus Plexiglas umhüllt und können an die Zittauer Strömungswanne angeschlossen werden. Mögliche Konfigurationen für die Untersuchung der Quervermischung sind 2x2 oder 1x4. Die Messtechnik ist identisch zum Einzel-BE-Dummy.

## 4.2.3 Messtechnik

### 4.2.3.1 Particle Analyzer

Auf Grundlage des Laserdiffraktionsverfahrens werden mit dem Messsystem Partikelgrößen und Größenverteilungen bestimmt. Die Berechnung erfolgt aus dem Beugungsmuster der gemessenen Intensität eines durch eine dispergierte Partikelprobe, die das Messvolumen durchströmt, gestreuten Lichts eines Laserstrahls.

- Analyse von Pulvern und Suspensionen
- Partikelgrößenbestimmung mittels Laserdiffraktion
- erfassbares Größenspektrum:  $0,05\mu\text{m}$  -  $900\mu\text{m}$

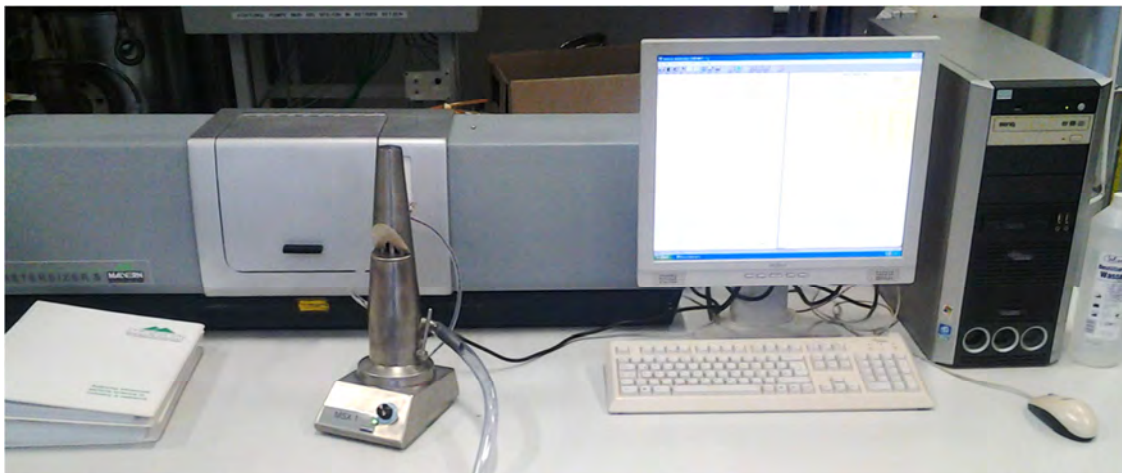


Abbildung 15: Particle Analyzer

### 4.2.3.2 Infrarotkamera

- Bildwiederholfrequenz: 60 Hz
- Temperatursensitivität: 50 mK
- Auflösung : 320 x 240
- 2 Temperaturbereiche:  $-20$  bis  $120\text{ }^\circ\text{C}$  und  $0$  bis  $350\text{ }^\circ\text{C}$
- Spektralbereich:  $7,5 - 13\ \mu\text{m}$ ; Nahbereich:  $100\ \mu\text{m}/\text{Pixel}$



Abbildung 16: Infrarotkamera



#### 4.2.3.3 Highspeedkamera

Aufnahme von schnellen dynamischen Prozessen und bewegten Objekten (z. B. Luftblasen, Freistrahler, Partikeltransport in Strömungen)

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

#### 4.2.3.4 Digitales Mikroskop

- 2,1 Megapixel CCD Sensor
- Teleobjektiv für die hochauflösende Aufnahme mit einer Vergrößerung von 20x bis 200x
- Tiefenschärfezusammenstellung
- Echtzeit-Bildoptimierung



Abbildung 17: Mikroskopie-Arbeitsplatz

#### 4.2.3.5 Weitere optische Messtechnik



**Abbildung 18:** Kompaktes Mehrkamerasystem für den Einsatz in Forschung und Industrie

- Portables USB-Mehrkamerasystem
- Digitale Lasersensoren für Objektvermessungen und Bestimmung von Trübungsgraden in transparenten Medien
- Unterwasserkamera mit digitalem Framegrabber

#### 4.2.4 Publikationen

##### 4.2.4.1 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

A. Seeliger, S. Alt, W. Kästner, S. Renger, H. Kryk, U. Harm: Zinc corrosion after loss-of-coolant accidents in pressurized water reactors - Thermo- and fluid-dynamic effects. Nuclear Engineering and Design (in review), 2015

##### 4.2.4.2 Proceedings

S. Renger, S. Alt, W. Kästner, A. Seeliger, H. Kryk: Investigation of the release of zinc in the reactor sump and the behavior of dissolved zinc at hotspots in the reactor core after a loss of coolant accident. The 16<sup>th</sup> International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16), 2015, 30. August–04. September 2015, Chicago, USA

H. Chahi, W. Kästner, S. Alt: System analysis from integral experiment on BWR to separate effect on PWR. Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT), 05.–07. Mai 2015, Berlin

H. Chahi, W. Kästner, S. Alt: System analysis and isothermal separate effect experiments of the accident behavior in PWR spent fuel storage pools. The 16<sup>th</sup> Internation-



al Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16), 30. August–04. September 2015, Chicago, USA

#### **4.2.4.3 Vorträge und Präsentationen**

S. Alt: R&D Activities - Reactor Safety Research in the Competence Field „Energy and Environment“. Meeting IRSN - HSZG, 26. November 2015, Zittau

J. Hänel, W. Kästner: Demonstrator für die Diagnose von Maschinentransformatoren. ERFA Transformatoren 2015, Heizkraftwerk Klingenberg/Heizkraftwerk Lichterfelde, Berlin (Vattenfall Europe Generation AG), 03.–04. November 2015

J. Hänel: Demonstrator für die Diagnose von Maschinentransformatoren. Vortrag zur Softwareschulung für den Demonstrator zur Trafodiagnose, Cottbus, 25. November 2015

W. Kästner: Vorstellung des Projektes „Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV“. Kick-Off Meeting „Lokale Effekte im DWR-Kern infolge Zinkborat-Ablagerungen nach KMV“, 11. Juni 2015, Dresden

W. Kästner: Ergebnisse der Forschungsvorhaben „Partikelentstehung und -transport im Kern von Druckwasserreaktoren“ (Phase 1 und 2). Kick-Off Meeting „Lokale Effekte im DWR-Kern infolge Zinkborat-Ablagerungen nach KMV“, 11. Juni 2015, Dresden

S. Kittan: Modellierung und Simulation der Dynamik von Anlagerungs- und Penetrationsprozessen in partikelbelasteten Kühlmittelströmungen. Vortrag zur Dissertationsverteidigung, TU Ilmenau, 2015

S. Renger: Current Investigations - Local Effects in PWR Core in Consequence of Zinc Borate Depositions. Meeting IRSN - HSZG, 26. November 2015, Zittau

A. Seeliger: Sump Strainer Clogging - Investigations regarding Loss of Coolant Accident with Release of Insulation Material. Meeting IRSN - HSZG, 26. November 2015, Zittau

A. Seeliger: Downstream Effects - Formation of Zinc Corrosion Products at Water-Chemical PWR Post-LOCA Conditions - Thermo- and Fluid-Dynamic Effects. Meeting IRSN - HSZG, 26. November 2015, Zittau

H. Chahi, W. Kästner, S. Alt: Isothermal Separate Effect Experiments of the Accident Behavior in PWR Spent Fuel Storage Pools. 10. Doktorandenseminar des Kompetenzverbundes für Kerntechnik Ost, 08. Dezember 2015, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

#### **4.2.4.4 Fachbücher, Monographien**

S. Kittan: Modellierung und Simulation der Dynamik von Anlagerungs- und Penetrationsprozessen in partikelbelasteten Kühlmittelströmungen. Dissertation, TU Ilmenau, 2015

#### 4.2.4.5 Forschungsberichte

J. Hänel: Entwicklung eines Demonstrators für die Diagnose von Maschinentransformatoren. Abschlussbericht Projekt Vattenfall, Zeitraum I. Quartal 2015 – IV. Quartal 2015, 2015

W. Kästner, S. Alt, S. Renger, A. Seeliger, M. Wagenknecht: Partikelentstehung und -transport im Kern von Druckwasserreaktoren (Phase 2) - Teilprojekt: Thermo- und fluiddynamische Mechanismen, Abschlussbericht des Projektes FKZ 150 1468, 2015

#### 4.2.5 Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten

**Thema 1:** *Entwicklung einer Konzeption zum automatisierten Betrieb einer Versuchsanlage*

**BearbeiterIn:** Marcel Riemer

**BetreuerIn:** Prof. Dr.-Ing. W. Kästner, Dr.-Ing. S. Kittan

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 2:** *Entwicklung eines Funktionsblockes zur Optimierung von Reglern für das Programmsystem DynStar*

**BearbeiterIn:** Robin Schied

**BetreuerIn:** Prof. Dr.-Ing. W. Kästner, Dr.-Ing. S. Kittan

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

#### 4.2.6 Betreuung von Promovenden

Prof. Dr.-Ing. W. Kästner:

**Dipl.-Ing. (FH) Kratzsch, Doreen:** Verfahren zur Zustandsbewertung von Leistungstransformatoren und Generierung von Fail-Safe-Kriterien, Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung

**Dipl.-Ing. (FH) Kittan, Stefan:** Modellierung/Simulation der Dynamik von Anlagerungs- und Penetrationsprozessen in partikelbelasteten Kühlmittelströmungen, Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung

## 4.3 Messtechnik/Prozessautomatisierung

### 4.3.1 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

#### 4.3.1.1 Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Steigerung der Energieeffizienz in thermischen Energieerzeugungsanlagen durch Optimierung von Strömungs- und Speicherprozessen in Wasser-Dampf-Strömungen bei hohen Drücken und Temperaturen

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) S. Braun, Dipl.-Ing. (FH) T. Klette, Dipl.-Ing. (FH) C. Schneider
<b>Finanzierung:</b>	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Europäischer Fond für regionale Entwicklung (EFRE) 
<b>Kooperationspartner:</b>	Stadtwerke Zittau
<b>Laufzeit:</b>	05.09.2011 - 31.03.2015

#### Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Vorhaben ist Bestandteil des Zittauer Kraftwerklabors. Es ordnet sich in die Profillinie „Energie und Umwelt“ der Hochschule Zittau/Görlitz ein.

Im Rahmen der Bearbeitung des Vorhabens erfolgte eine ausführliche Literaturrecherche zur Energiespeicherung mit thermischen Energiespeichern (TES). Dabei wurden die Parameter und Randbedingungen bestehender Speichermedien je nach Einsatz und Funktionsprinzip betrachtet und klassifiziert. Unter Betrachtung einer Kraftwerksanlage der Leistungsklasse 1 GW<sub>el</sub> erfolgte die Analyse möglicher Einbindpunkte zur Integration eines thermischen Energiespeichers in eine Kraftwerksanlage. Die Relevanz der Einbindpunkte wurde im Hinblick auf die vorliegenden Parameter und die damit verbundene Effizienz festgelegt. Die Auswahl des Speichermediums erfolgte unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Parameter sowie Speicherdichte, Speicherleistung, Umweltverträglichkeit, Verfügbarkeit und des Aufwandes zur Integration in existierende thermische Energieanlagen. Im Ergebnis dieser Bewertung erwies sich Wasser als optimales Speichermedium unter den geforderten Randbedingungen. Zur verfahrenstechnischen Nachbildung eines thermischen Kraftwerksprozesses für die Untersuchung der Einbindung thermischer Energiespeicher in derartige Anlagen erfolgte die Konzeption, Konstruktion und der Aufbau der Versuchsanlage THERESA. Die Hauptkomponenten wurden in Anlehnung an eine industrielle thermische Energieumwandlungsanlage nachgebildet und ermöglichen die Untersuchung und Entwicklung von Innovationen zur Flexibilisie-

rung derartiger Anlagen. Der hauptsächliche Bestandteil der Versuchsanlage THERESA ist der Verdrängungsspeicher. Dieser wurde zusammen mit dem Mischvorwärmer als Modell in der Simulationsumgebung DynStar realisiert. Hierzu wurde der Be- und Entladezustand des Verdrängungsspeichers betrachtet. Zur Modellierung eines Verdrängungsspeichers wurden die dazu notwendigen Modelle zur Berechnung des statischen und dynamischen Verhaltens entwickelt und angewendet. Zur Ableitung von Instandhaltungsmaßnahmen erfolgte eine Analyse möglicher Schadensursachen am Speicher. Auf Grundlage dieser Überlegungen fand im Anschluss die Vorstellung verschiedener Möglichkeiten der Ist-Zustandsaufnahme und deren Bewertung hinsichtlich der Einsatzfähigkeit statt. Daraus lassen sich sowohl ein Inspektions- als auch ein Wartungsplan, worin Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus der Leistungsfähigkeit und auch der Funktionsfähigkeit des Speichers enthalten sind, ableiten.

Die Anlage ermöglicht die Bereitstellung von Satttdampf mit einem maximalen Druck von 160 bar bei 350 °C, sowie von überhitztem Dampf mit 60 bar bei 350 °C für individuelle Anwendungen und Untersuchungen. Für experimentelle Untersuchungen ist die Nachbildung spezifischer Prozesszustände einer thermischen Energieumwandlungsanlage wesentlich.



**Abbildung 19:      Impressionen Inbetriebnahme der Versuchsanlage THERESA**

#### 4.3.1.2 Hochtransientes Thermisches Energiespeichersystem für eine anlagen-schonende und energieeffiziente Flexibilisierung thermischer Energieanlagen – Modellentwicklung und experimentelle Validierung

**Projektleitung:** Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch  
**Mitarbeiter:** S. Härtelt, Dipl.-Ing. (FH) D. Kratzsch  
**Finanzierung:** Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), Europäischer Fond für regionale Entwicklung (EFRE)



**Laufzeit:** 01.12.2015 - 30.11.2018

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ziel der Arbeiten ist es, einen Beitrag zur Flexibilisierung von thermischen Energieanlagen unterschiedlicher Nennleistung zur Bereitstellung von Regelenergie für die Stabilisierung des Verbundnetzes und zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit der sächsischen Wirtschaft mit Elektroenergie zu leisten. Das Vorhaben ordnet sich in die Richtlinie „Zukunftsfähige Energieversorgung – RL Energie/2014“ vom 07.05.2015 ein. Gegenstand des Vorhabens ist die anwendungsorientierte Forschung an innovativen Energietechniken. Die Untersuchungen umfassen experimentelle Analysen für die Speicherung thermischer Energie im Minuten- und Stundenbereich und die Ableitung statischer und dynamischer Kenngrößen zur Bewertung der Einsatzmöglichkeiten eines entwickelten thermischen Energiespeichersystems. Weiterhin erfolgt die methodische Weiterentwicklung und Validierung von Modellen zur simulationsgestützten Auslegung thermischer Energiespeichersysteme. Abschließend erfolgt der Transfer der Ergebnisse in die sächsische Wirtschaft. Als Ergebnis liegt ein experimentell validiertes und skalierbares Gesamtmodell für ein hochtransientes thermisches Speichersystem vor. Das Gesamtmodell ermöglicht die Auslegung entsprechender Speichersysteme für thermische Energieanlagen.

Der Antragsteller verfügt über umfassende Erfahrungen im Bereich der Energie- und Kraftwerkstechnik sowie auf dem Gebiet der Prozessautomatisierung. Insbesondere bietet die im Rahmen des Förderprogramms „Energie und Klimaschutz-RL EuK 2007“ errichtete Thermische Energiespeicheranlage (THERESA) im Zittauer Kraftwerklabor die Basis für die experimentellen Untersuchungen des thermischen Energiespeichersystems. Die Kombination von methodischen und experimentellen Untersuchungen trägt maßgeblich zur schnellen Umsetzung der Ergebnisse bei.

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

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

**Mitarbeiter:** Dr.-Ing. C. Schneider

**Finanzierung:**



Europa fördert Sachsen.



**Laufzeit:**

01.08.2015 - 31.07.2018

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Größere Differenzen zwischen Energiebereitstellung aus alternativen Quellen und Energiebedarf führen zu hohen dynamischen Anforderungen im Hinblick auf die Laständerungsgeschwindigkeiten sowie die erforderliche Mindestlastabsenkung an die bestehenden thermischen Kraftwerksanlagen. Neben der Trockenbraunkohle-technologie besteht im Einsatz thermischer Energiespeicher in bestehenden thermischen Kraftwerken hohes Potenzial zur Flexibilisierung dieser Anlagen, um den Ausbau der „Erneuerbaren Energiequellen“ weiterhin technisch umzusetzen. Im geplanten Vorhaben sollen Beiträge für die Entwicklung einer allgemeingültigen Auslegungsmethode unter Verwendung von Kenngrößen für die Dimensionierung und Integration von thermischen Energiespeichern in einen thermischen Prozess entwickelt werden.

Das Vorhaben liefert einen wesentlichen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen (z. B. Braunkohle) und zur Vermeidung klimaschädlicher Gase. Insbesondere der sparsame und optimierte Einsatz des Primärenergieträgers Braunkohle liegt im gesamtgesellschaftlichen Interesse. Ein reduzierter Kohleeinsatz bei maximierter Energieausbeute sorgt u. a. dafür, dass die bisher erschlossenen Tagebaugebiete die bestehenden Kraftwerksanlagen länger mit Kohle versorgen können. Dadurch besteht die Option, dass die gesellschaftliche Akzeptanz für die Verstromung von Braunkohle steigt.

Weiterhin liefert das Vorhaben einen Beitrag zur Sicherung der Stabilität der Energieversorgung in Deutschland. Die Steigerung der Flexibilität thermischer Kraftwerksanlagen gestattet es, schneller auf Laständerungsanforderungen im Netz zu reagieren. Dadurch wird ein weiterer Ausbau erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Gewährleistung der Versorgungssicherheit mit Elektroenergie möglich.



#### 4.3.1.4 Zittauer Kraftwerkslabor – Ertüchtigung der Versuchsanlagen und Know-How-Sicherung, Teilprojekt Versuchsanlage THERESA

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) T. Klette, Dipl.-Ing. (FH) S. Braun
<b>Finanzierung:</b>	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)
<b>Laufzeit:</b>	01.07.2015 - 31.12.2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Zittauer Kraftwerkslabor (ZKWL) wurde in den Jahren 2011-2015 aus Mitteln der Europäischen Union und des Freistaates Sachsen errichtet. Im Kern beinhaltet das ZKWL drei Großversuchsanlagen (THERESA, MFLP, TCV) zur Energieforschung auf den Gebieten Energiespeicherung, energieeffiziente Turbomaschinen und Biomassenutzung.

Im Rahmen des Vorhabens wurde insbesondere die Inbetriebnahme der Versuchsanlage THERESA vorangetrieben und auf Grundlage durchgeführter methodischer und experimenteller Arbeiten Projektanträge vorbereitet. Darüber hinaus haben sich die MitarbeiterInnen umfassend mit dem Betriebsverhalten der komplexen Versuchsanlagen vertraut gemacht. Das Projekt war eine wesentliche Voraussetzung für die Know-how-Sicherung, um die Vorbereitung und Durchführung der geplanten und zum Teil beantragten Projekte personell und anlagentechnisch abzusichern.

#### 4.3.1.5 Flexibles Kraftwerk – Analyse thermischer Energiespeicher

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) T. Klette
<b>Finanzierung:</b>	Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG



<b>Kooperationspartner:</b>	Sächsische Aufbaubank (SAB)
<b>Laufzeit:</b>	01.11.2015 - 30.10.2016

Bearbeitungsstand/ Ergebnisse:

Durch den zunehmenden Anteil von volatil bereitgestellter Elektroenergie aus regenerativen Quellen und den damit verbundenen Angebotsschwankungen im Energieverbundnetz ergibt sich die Notwendigkeit die Betriebsflexibilität und Lastdynamik von thermischen Kraftwerken zu erhöhen.

Neben der Erweiterung der Regelbereiche von Grundlastkraftwerken bieten die Entwicklung und Integration von Speichertechnologien in den Kraftwerksprozess ein hohes Potenzial, um die temporären Differenzen zwischen angebotenen und nachgefragten Energiemengen auszugleichen. Regelenergie zählt bereits heute zu

den wichtigsten Produkten des Strommarktes. Es ist zu erwarten, dass sich durch die Fähigkeit, größere Bereiche zwischen Minimal- und Maximallast abdecken zu können, neue Marktchancen für die Bestandskraftwerke ergeben. Insbesondere werden simulationsgestützte Untersuchungen zur Erhöhung der Kurzzeitdynamik von Kraftwerksanlagen durchgeführt.

#### 4.3.1.6 Angepasste Modellierung des Anlagenverhaltens OKG-2 zur Analyse des Verhaltens des Reaktorschutzsystems

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

**Mitarbeiter:** M.Eng. C. Vogel

**Finanzierung:** E.ON Kernkraft GmbH



**Laufzeit:** 01.02.2014 - 30.04.2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Das Vorhaben beinhaltet die Umsetzung der erforderlichen Prozess- und Leittechnikmodelle im Simulationsprogramm DynStar. Ziel ist es, das Verhalten des Reaktors im Zusammenspiel mit den Leittechniksystemen zu untersuchen. Dabei wird in verschiedenen Szenarien das Ansprechen von sicherheitsrelevanten Grenzwerten (Reaktordruck, Neutronenfluss) untersucht. Die Anregung und Auslösung werden im Leittechnikmodell (RPS/DPS) verarbeitet.

Die Prozessmodelle wurden einzeln verifiziert und anschließend zu einem Gesamtprozessmodell zusammengefasst. Das Gesamtprozessmodell wurde anhand ausgewählter Transienten validiert. Des Weiteren wurden alle notwendigen Funktionsbausteine für die Umsetzung der Leittechnikmodelle im Simulationssystem DynStar umgesetzt.

Im Anschluss erfolgte die Validierung des Gesamtleittechnikmodells und die Kopplung zum Gesamtmodell (Prozess- und Leittechnikmodell). Abschließend erfolgte die Analyse zum Verhalten des Reaktorschutzsystems.

#### 4.3.1.7 Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zu Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns

<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch
<b>Mitarbeiter:</b>	Dipl.-Ing. (FH) D. Fiß, S. Härtelt, M.Eng. S. Schmidt
<b>Finanzierung:</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)   Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>Kooperationspartner:</b>	Technische Universität Dresden (TUD)
<b>Laufzeit:</b>	01.07.2012 - 31.10.2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ziel des Verbundvorhabens „Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zur Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns“ (NI-ZUK) war die Entwicklung eines Diagnoseverfahrens zur Ermittlung des Kernzustandes während einer Kernschmelze in Druckwasserreaktoren. Dazu wurde im Teilprojekt der Hochschule Zittau/Görlitz mit dem Titel „Einsatz von Soft Computing-Methoden für die Kernzustandsdiagnose“ (Förderkennzeichen: 02NUK018A) auf der Grundlage ausführlicher Literaturrecherchen ein Verfahren zur Kernzustandsdiagnose entwickelt und mittels dem Versuchsstand NiCoLe validiert.

Auf Basis ausführlicher Literaturrecherchen wurden die Vorgänge in der frühen und späten In-Vessel-Phase eines Kernschmelzunfalls analysiert. Im Ergebnis der Recherarbeiten konnten drei mögliche Kernschmelzsznarien identifiziert werden. Für diese Szenarien wurden signifikante Kernzustände definiert. Diese bildeten beim Projektpartner TU Dresden die Grundlage für Strahlentransportrechnungen (Monte-Carlo-Simulationen), um die sich einstellende Gammaflussverteilung außerhalb des RDBs während eines Kernschmelzunfalls zu ermitteln. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulationsergebnisse erfolgte die Entwicklung eines Kernzustandsdiagnoseverfahrens. Dieses enthält klassische und moderne (Soft Computing) Methoden der Signalverarbeitung für die Diagnose des Kernzustandes.

Die Validierung des Entwicklungsprozesses und der Methoden zur Kernzustandsdiagnose erfolgte mit Hilfe des Versuchsstands NiCoLe. Dieser wurde innerhalb des Projekts entwickelt und aufgebaut und dient zur Erzeugung und Messung unterschiedlicher Gammaflussverteilungen. Mit Abschluss der Validierungsexperimente konnte die korrekte Funktionsweise der entwickelten Methoden zur Kernzustandsdiagnose erfolgreich nachgewiesen werden.



**Abbildung 20: Der Versuchsstand "NICoLe"**

### 4.3.2 Versuchsanlagen

#### 4.3.2.1 Versuchsanlage THERESA

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

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

Der Druckbehälter/Dampferzeuger dient zum Aufbau des Dampfpolsters zur Druckhaltung und zur Produktion von Sattedampf. Zur möglichen Untersuchung von Einbauten sind die Deckel- und Bodenflansche wiederverschließbar ausgeführt. Zusammen mit dem Bodenflansch ist ein elektrischer Tauchheizkörper mit einer Heizleistung von 200 kW<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 Mischvorwärmer. Dieser ist für Prozessbedingungen bis max. 60 bar und 350 °C ausgelegt. Der Speicher wird mit überhitztem Dampf, Sattedampf, Sattwasser und Heißwasser be- und entladen. Aufgrund der Verfügbarkeit in thermi-

schen 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, die unter den vorgesehenen Parametern den Aufbau einer thermischen Trennschicht mit einer möglichst kleinen Mischzone ermöglichen.

Der Mischvorwärmer wurde ebenfalls unter Berücksichtigung strömungstechnischer Analysen entwickelt, um eine bestmögliche Durchmischung von Wasser und Dampf innerhalb eines stark begrenzten Volumens zu ermöglichen. Weiterhin ist der Mischvorwärmer zur Entnahme eines Teilmassestromes 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.

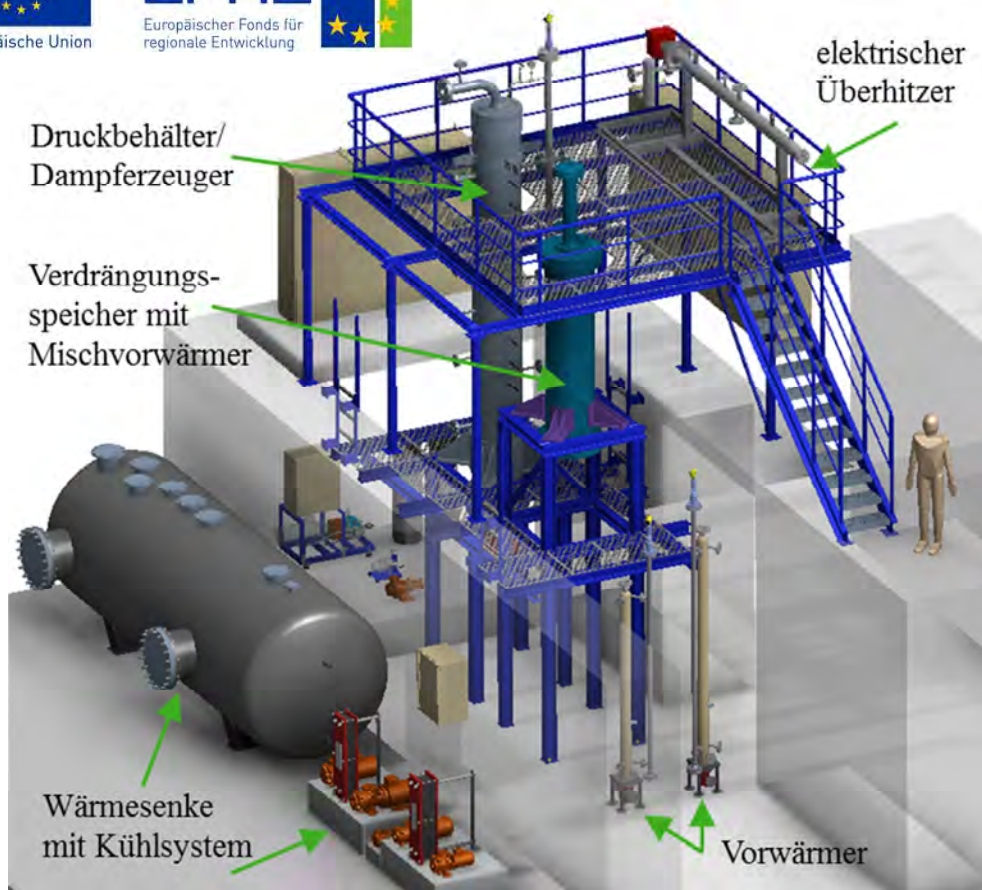
Die Bereitstellung des Deionates wird durch das Speisewassersystem gewährleistet. Auf diese Weise kann das Medium mit konstanter Temperatur über die gesamte Versuchsdauer bereitgestellt werden.

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

- Die erste Vorwärmung des Speisewassers erfolgt mit Hilfe von Prozessdampf der Stadtwerke Zittau, welcher an die Versuchsanlage THERESA angebunden wurde.
- Das Kühlsystem der Versuchsanlage THERESA ist mit dem Fernwärmenetz der Stadtwerke verbunden. Somit kann die Restwärme 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 Magnetfanglager-Prüfstand (MFLP). Dadurch ist die Bereitstellung von Dampf mit definierten Parametern für den MFLP aus der Versuchsanlage THERESA möglich.





**Abbildung 21: Versuchsanlage THERESA**

#### 4.3.2.2 Versuchsanlage „Unterkühltes Sieden“

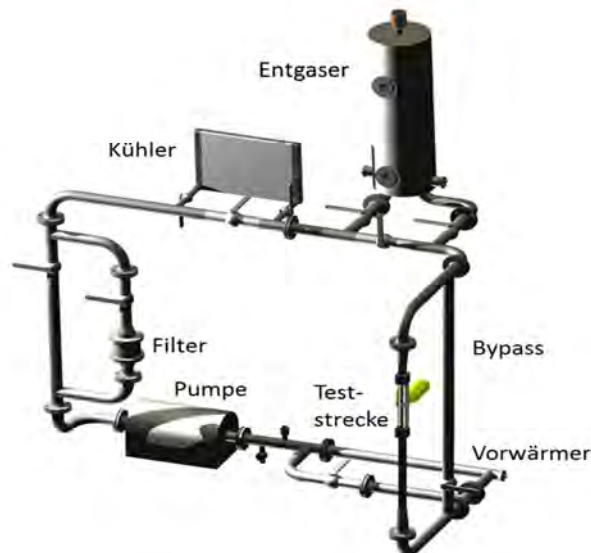
Die Versuchsanlage wurde zur Untersuchung verschiedener Wärmeübergangsphänomene bei unterschiedlichen Siedezuständen und Parametern im Rahmen eines BMBF-Projektes konstruiert und aufgebaut. Besonderheiten der Anlage sind:

- rechteckiger Strömungskanal: Testsektion mit optischem Zugang
- Borsilikatglas für optischen Zugang zur Heizfläche
- Kalziumfluoridfenster als Rückwand mit einer elektrisch leitfähigen und optisch transparenten Beschichtung

Die Versuchsanlage ermöglicht die Erfassung der Wandtemperatur mit Infrarot-Thermographie bei unterschiedlichen Siedezuständen sowie die Bestimmung des lokalen und globalen Wärmestroms auf der Metallfolie.

Die Ergebnisse der Experimente dienen der Entwicklung von Wandsiedemodellen für die Simulation geometrisch unabhängiger Wärmeübergangsphänomene.





**Abbildung 22: Versuchsanlage „Unterkühltes Sieden“**

#### 4.3.2.3 Versuchsanlage NiCoLe

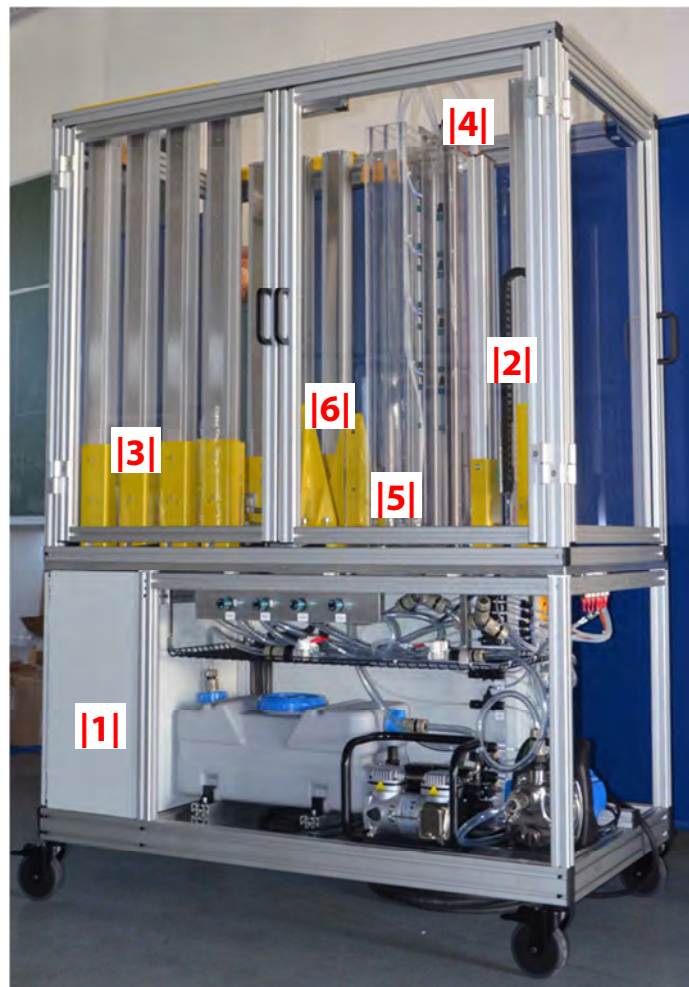
Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhabens "Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zur Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns" wurde der zugehörige Versuchsstand erfolgreich in Betrieb genommen. Das gemeinsame Verbundprojekt ist eine Zusammenarbeit zwischen dem IPM (Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch) und der TU Dresden (Projektleiter Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Hampel). Die Aufgabe des Versuchsstands ist die experimentelle Ermittlung von Gammaflussverteilung für die Validierung des Kernzustandsdiagnosesystems zur weiteren Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken.

Abbildung 23 zeigt den aus den folgenden sechs Teilsystemen bestehenden Versuchsstand:

- |1| Gestell und Schaltschrank
- |2| Strahlungsmesssystem
- |3| Quellenverfahrssystem
- |4| Luftblasensystem
- |5| Wasserbarriere
- |6| Stoffbarriere.

Das Quellenverfahrssystem |3| positioniert die acht Cs-137-Quellen in der Höhe. Damit wird die während eine Kernschmelze auftretende Quelltermverlagerung nachgebildet. Die Stoffbarriere |6| wird benötigt um lokale Abströmpfade am Rand des aktiven Kerns und die Selbstabschirmung nachzubilden. Die Stoffbarriere setzt sich aus verschiedenen Konturen zusammen und kann mit einem Linearmotor horizontal (durch die Strahlungsebene) bewegt werden. Die Wasserbarriere |3| besteht aus zwei unabhängigen Wassertanks, die hintereinander in Strahlungsrichtung angeordnet sind. Mit den Wassertanks wird der Füllstand im Plenum und Ringraum simuliert. Um das

Sieden des Kühlmittels nachzuempfinden, enthält der „Plenum“-Tank das Luftblasensystem [4], mit dessen Hilfe Luft eingespeist wird. Das Strahlungsmesssystem besteht aus acht Szintillationszählern, welche gleichverteilt in vertikaler Richtung angeordnet sind, um die Gammaflussverteilung messtechnisch zu erfassen.



**Abbildung 23: Versuchsstand "NICoLe"**

### 4.3.3 Publikationen

#### 4.3.3.1 Proceedings

S. Schmidt, A. Kratzsch, D. Fiß, S. Härtelt: *Validation Results of a System for Core State Diagnosis during Severe Accidents in Pressurized Water Reactors*. 46. Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 05.-07. Mai 2015

S. Schmidt, C. Brachem, D. Fiß, S. Härtelt, A. Kratzsch, U. Hampel: *A new Method for the Diagnosis of the State of the Reactor Pressure Vessel Inventory during Severe Accidents*. 46. Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 05.-07. Mai 2015

S. Schmidt, A. Kratzsch, D. Fiß, S. Härtelt: *Validation of an Innovative Core State Diagnosis System for Severe Accidents in PWR by using an Experimental Rig*. 23<sup>rd</sup> International Conference on Nuclear Engineering (ICONE23), Chiba, Japan, 17. – 21. Mai 2015

A. Kratzsch, D. Fiß, C. Vogel, T. Gebhardt, F. Dräger: *Advanced analysis of the structure of a reactor protection system*. 23<sup>rd</sup> International Conference on Nuclear Engineering (ICONE23), Chiba, Japan, 17. – 21. Mai 2015

C. Schneider, S. Braun, T. Klette, A. Kratzsch, N. Jentsch: *Auswirkungen der Integration eines thermischen Energiespeichers in ein Bestandskraftwerk*, 47. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Technische Universität Dresden, 13. - 14. Oktober 2015

C. Schneider, S. Braun, T. Klette, W. Kästner, A. Kratzsch: *Möglichkeiten der Integration thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess – Ein Beitrag zur Stabilisierung des Energieverbundnetzes*, Smart Energy 2015, Dortmund, 12. -13. November 2015

#### **4.3.3.2 Vorträge und Präsentationen**

U. Hampel, S. Schmidt, A. Kratzsch: *Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren*. 2. Projektstatusgespräch zur BMBF-geförderten Nuklearen Sicherheitsforschung, Dresden, 25. März 2015

S. Schmidt, A. Kratzsch, D. Fiß, S. Härtelt: *Validation Results of a System for Core State Diagnosis during Severe Accidents in Pressurized Water Reactors*. 46. Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 05.–07. Mai 2015

S. Schmidt, C. Brachem, D. Fiß, S. Härtelt, A. Kratzsch, U. Hampel: *A new Method for the Diagnosis of the State of the Reactor Pressure Vessel Inventory during Severe Accidents*. 46. Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 05.–07. Mai 2015

S. Schmidt, A. Kratzsch, A.; Fiß, D.; Härtelt S.: *Validation of an Innovative Core State Diagnosis System for Severe Accidents in PWR by using an Experimental Rig*. 23<sup>rd</sup> International Conference on Nuclear Engineering (ICONE23), Chiba, Japan, 17.–21. Mai 2015 – ausgezeichnet mit dem Preis „Student Best Paper Award“

A. Kratzsch, D. Fiß, C. Vogel, T. Gebhardt, F. Dräger: *Advanced analysis of the structure of a reactor protection system*. 23<sup>rd</sup> International Conference on Nuclear Engineering (ICONE23), Chiba, Japan, 17.–21. Mai 2015

C. Schneider, S. Braun, T. Klette, A. Kratzsch, N. Jentsch: *Auswirkungen der Integration eines thermischen Energiespeichers in ein Bestandskraftwerk*, 47. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Technische Universität Dresden, 13.–14. Oktober 2015

A. Kratzsch: *Energieeffizienzsteigerung in thermischen Energieanlagen, Versuchsanlage THERESA, best practice - Von der Idee zur erfolgreichen Umsetzung*, Energy Saxony-Strategieforum Masterplan Energieforschung, Dresden, 06. November 2015

A. Kratzsch, C. Schneider, S. Braun, T. Klette, W. Kästner: *Möglichkeiten der Integration thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess – Ein Beitrag zur Stabilisierung des Energieverbundnetzes*, Smart Energy 2015, Dortmund, 12.–13. November 2015

S. Schmidt, A. Kratzsch, D. Fiß, S. Härtelt: *Non-Invasive Nuclear Reactor State Monitoring during Severe Accidents – Results for the BMBF Cooperative Project NIZUK*

(part 2). 10. Doktorandenseminar des Kompetenzzentrums Ost für Kerntechnik, Dresden-Rossendorf, 08. Dezember 2015

#### 4.3.3.3 Forschungsberichte

S. Schmidt, A. Kratzsch, D. Fiß, S. Härtelt: Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren zur Detektion von Füllstandsänderungen und der Deformation des Kerns – Teilprojekt: Einsatz von Soft Computing-Methoden für die Kernzustandsdiagnose, Abschlussbericht zum Vorhaben FKZ 02NUK018A, 2015

C. Schneider, A. Kratzsch, W. Kästner: Fallanalyse zum Einsatz von thermischen Energiespeichern im Kraftwerksprozess - Integration thermischer Energiespeicher in konventionelle Bestandskraftwerke, Abschlussbericht zum Vorhaben HZG-IPM-2015/MTPA012/01/01.01/F mit Vattenfall, 2015

C. Schneider, S. Braun, T. Klette, A. Kratzsch, W. Kästner: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Steigerung der Energieeffizienz in thermischen Energieerzeugungsanlagen durch Optimierung von Strömungs- und Speicherprozessen in Wasser-Dampf-Strömungen bei hohen Drücken und Temperaturen, Abschlussbericht zum Vorhaben 100081304

S. Braun, T. Klette: Zittauer Kraftwerkslabor - Ertüchtigung der Versuchsanlagen und Know-how-Sicherung, Teilprojekt Versuchsanlage THERESA, Abschlussbericht zum Vorhaben 61007008

#### 4.3.4 Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten

**Thema 1:** *Entwicklung einer Regelung für einen elektrisch beheizten Dampferzeuger in der Versuchsanlage THERESA*

**BearbeiterIn:** Andreas Thiem

**BetreuerIn:** Dipl.-Ing. (FH) Torsten Klette

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 2:** *Entwicklung einer Kondensatstauregelung für einen Wärmeübertrager in der Versuchsanlage THERESA*

**BearbeiterIn:** Lukas Jahner

**BetreuerIn:** Dr.-Ing. Clemens Schneider

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 3:** *Helping System for DynStar*

**BearbeiterIn:** Ena Gasparov

**BetreuerIn:** Dipl.-Ing. (FH) Daniel Fiß

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 4:** *Anwendung von Kernzustandsdiagnosemethoden zur Füllstandsdiagnose für einen Heißwasserspeicher*

**BearbeiterIn:** Ahmed Al Wahaibi

**BetreuerIn:** M.Eng. Sebastian Schmidt

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 5:** *Investigation of the dynamic preheater model for the test facility THERESA*

**BearbeiterIn:** Nikita Melnykov

**BetreuerIn:** Dr.-Ing. Clemens Schneider

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

## 4.4 Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik

### 4.4.1 Forschungs- und Entwicklungsprojekte

#### 4.4.1.1 Untersuchungen zur Fahrweise von Holzvergaser-BHKW in Bezug auf Regelenergiebereitstellung



<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) Bert Salomo, Dipl.-Ing. (FH) Martin Kurz
<b>Finanzierung:</b>	Vattenfall Europe New Energy GmbH
<b>Laufzeit:</b>	11/2014 bis 01/2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Ziel der Kurzstudie „Untersuchung zur Fahrweise von Holzvergaser-BHKW in Bezug auf Regelenergiebereitstellung“ war es, die prinzipielle Eignung von Holzvergaseranlagen kleiner Leistung hinsichtlich ihrer Eignung zur Bereitstellung negativer Regelleistung zu untersuchen. Durch eine stetige Verbesserung von Holzvergaseranlagen kleiner Leistung in den letzten Jahren konnte eine gewisse Marktdurchdringung erreicht werden. Es werden je nach Engagement des Anlagenbetreibers Jahresvolllaststunden von über 7000 h erreicht. Des Weiteren lässt der erreichte Automatisierungsgrad einen automatischen Anlagenbetrieb sowie Schalteingriffe von außen zu. Um den geforderten Nachweis zu erbringen, wurden zahlreiche Versuchsfahrten an einem Holzvergaser-BHKW der Fa. Spanner Re<sup>2</sup> erfolgreich durchgeführt. Der Versuchsablauf richtete sich dabei nach dem Musterprotokoll zur Bereitstellung negativer Minutenregelleistung. Um das Anlagenverhalten möglichst realitätsnah abzubilden, wurde beispielsweise die Stillstandszeit der Anlage variiert. In allen durchgeführten Versuchsreihen konnte das Holzvergaser-BHKW im Technikum der HSZG die Anforderungen zum Erbringen negativer Minutenregelleistung erfüllen. In einem abschließenden Versuch wurde untersucht, ob es möglich ist, die Bereitstellung negativer Regelleistung nicht nur durch eine Komplettabschaltung der Anlage, sondern durch eine Reduzierung der Leistung zu realisieren. Dies entspricht keinem normalen Anlagenbetriebszustand. Eine Reduzierung der elektrischen Leistung des BHKW konnte bis auf ca. 85% realisiert werden.



#### 4.4.1.2 Entwicklung eines neuartigen Zyklonwärmeübertragers mit Kondensationsenergienutzung zur Effizienzsteigerung von Biomassetrocknungsanlagen (ZETA)

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) B. Salomo, Dipl.-Ing. (FH) M. Weidner, Dipl.-Ing. (FH) R. Pohl, Dipl.-Ing. (FH) M. Kurz
<b>Finanzierung:</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)   Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>Kooperationspartner:</b>	ULT AG Löbau
<b>Laufzeit:</b>	06/2015 – 08/2017

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Durch die mit dem EEG geschaffenen Rahmenbedingungen sind in den letzten Jahren überall in Deutschland dezentrale Trocknungseinheiten geschaffen worden, die die Abwärme aus mittelgroßen Bioenergie-Kraftwerken sinnvoll verwerten. Auf diesen Trocknungsstationen werden in speziellen Trocknungscontainern biogene Reststoffe oder Scheitholz getrocknet. Die verwendeten Trocknungscontainer bestehen im Wesentlichen aus umgebauten Transportcontainern für Hakenlifter-LKWs. Diese Trocknungscontainer sind hinsichtlich Preis und Robustheit sehr attraktiv. Auch lässt sich ihr Handling sehr gut in eine allgemeine Logistik-Infrastruktur integrieren. Allerdings haben diese Container den Nachteil, dass sie sehr ineffizient arbeiten, also aus der zur Verfügung gestellten Wärme nur wenig Trocknungsleistung generieren. Zudem ist die Qualität des Output-Materials oft unbefriedigend.

Ziel des Projektes ist es daher, ein Produkt zu entwickeln und auf den Markt zu bringen, das die Vorteile der bisherigen Trocknungscontainer beibehält (einfache Befüllbarkeit, Transportierbarkeit, Robustheit) und zugleich die Trocknungseffektivität deutlich verbessert und damit die Standzeiten der Container stark verringert. Dieses Produkt muss einerseits als völlig neuer „ZETA-Trockner“ angeboten werden und andererseits als „Nachrüstungs-Aggregat“ für bestehende Trocknungscontainer erhältlich sein.

Der innovative Kern dieses Projektes beruht auf der Neuentwicklung eines innovativen Zyklonwärmeübertragers (ZETA-Zyklon). Er vereint die Vorteile eines geringen Druckverlustes bei einer Staubabscheidung aus Gasen mit den Eigenschaften eines Luft/Luft-Wärmeübertragers. Er verbessert parallel beide integrierten Teilprozesse entscheidend bzw. lässt den Einsatz in der Holztrocknung erstmalig zu. Der ZETA-Zyklon ist aufgrund der erzwungenen inneren Kondensation erstmalig in der Lage, Partikel abzuscheiden, die kleiner sind als die Grenzkorngröße, die durch Zentrifugalabscheidung möglich wäre.

Des Weiteren wird der Kondensationseffekt genutzt, um eine hocheffektive Luft/Luft-Wärmeübertragung mit einer sehr kleinen zur Verfügung stehenden Wärmeübertragungsfläche zu realisieren. Eine feingliedrige, schmutzempfindliche Be-rippung ist nicht mehr notwendig. Dadurch kann nicht nur das Potenzial der sensiblen Wärme sondern auch die latente Energie der Abluft genutzt werden.

Die Hochschule Zittau/Görlitz ist in allen Arbeitspaketen vertreten. Als wissenschaftlicher Partner und Projektkoordinator werden die theoretischen Grundlagen und die Versuche an den Versuchsanlagen durch die Hochschule koordiniert, betreut sowie ausgewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen am Prototyp gehen direkt in die Weiterentwicklung des ZETA-Trockners ein. Für eine energieeffiziente Betriebsweise dieses innovativen Produkts sind zahlreiche Simulations- und Validierungsrechnungen notwendig, die an der HSZG durchgeführt werden.

Die Aufgabenstellung der HSZG lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Modellierung/Simulation von Betriebsparametern
- Entwicklungen von Detaillösungen bei der Strömungsführung
- Durchführung und analytische Begleitung von Versuchsfahrten
- Unterstützung der Komponentenoptimierung
- Auswertung durch mathematische Modelle und Finden von Regelgrößen
- Überführung stationärer Rechenmodelle hin zu instationären Optimierungsrechnungen

#### **4.4.1.3 Entwicklung eines Stützfeuerungs-systems auf Basis von Trockenbraunkohle zur Erhöhung der Flexibilität bestehender Dampfkraftwerke, Forschungsarbeiten zur Optimierung der Kesselfeuerung**

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Math. (FH) T. Förster, Dipl.-Ing. U. Gocht, Dipl.-Ing. S. Grusla, Dipl.-Ing. (FH) T. Gubsch
<b>Finanzierung:</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>Kooperationspartner:</b>	Vattenfall Europe Generation AG, Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Lehrstuhl Kraftwerkstechnik, TU Hamburg-Harburg - Institut für Energietechnik
<b>Laufzeit:</b>	10/2012 - 09/2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Rahmen dieses Projektes erfolgten wissenschaftlich-technische Untersuchungen zur Entwicklung eines für den dauerhaften Betrieb geeigneten Stützfeuerungs-systems auf Basis von Trockenbraunkohle, die Unterstützung bei der Planung und Er-richtung eines Prototyps, dessen Integration in einen bestehenden braunkohlebe-

feuerten Kraftwerksblock sowie die Überprüfung der Funktionalität einschließlich substantieller Belastungstests. Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, die Lastflexibilität bestehender Kraftwerke zu steigern und deren Betrieb zu optimieren.

Ein Schwerpunkt, welcher bei der Steigerung der Lastflexibilität eines Dampferzeugers zu berücksichtigen ist, liegt naturgemäß im Verhalten der Feuerung. Der Betrieb bei reduzierten Teillasten führt dazu, dass Komponenten des Dampferzeugers und der Feuerung außerhalb des normalen Betriebsbereiches arbeiten.

Der im Zuge der Errichtung des Prototyps betrachtete 500-MW<sub>el</sub>-Braunkohleblock im Kraftwerk Jänschwalde ist in einer Duo-Anordnung ausgeführt, d. h. zwei Dampferzeuger versorgen einen Turbinenstrang. Das Projektziel der Absenkung der Mindestlast auf z. B. 20 % bedeutet für diese und ähnliche Duo-Anlagen daher das Abfahren von einem der beiden Dampferzeuger und den Betrieb des anderen mit ca. 40 % der Feuerungswärmeleistung bei Nennlast. Die Erkenntnisse aus der technischen Bewertung des Schwachlastbetriebes der Duo-Anordnung sollten in einem weiteren Schritt auf eine Neuanlage in Mono-Anordnung (1 Dampferzeuger + 1 Turbine) übertragen werden, bei der zur Erreichung einer Mindestlast von 20 % auch die Dampferzeugerlast auf ca. 20 % gesenkt werden muss.

Um den Betrieb der umzurüstenden Dampferzeuger bei reduzierten Teillasten sowie im Stützbrennerbetrieb sicherzustellen und frühzeitig etwaige Betriebsprobleme zu identifizieren, waren projektbegleitende Forschungsarbeiten notwendig, welche als „Arbeitsschwerpunkt 2.4 – Optimierung der Kesselfeuerung“ in dem Gesamtprojekt Berücksichtigung fanden.

Die Untersuchungen wurden in fünf Aufgabenfelder unterteilt, welche einzeln abgrenzbare Teilaufgaben darstellen, aber nur in ihrer Gesamtheit wissenschaftlich fundierte und praxisrelevante Forschungsergebnisse für den Betrieb der Feuerung eines Dampferzeugers mit Stützfeuerungs-system auf der Basis von Trockenbraunkohle liefern.

Aufgabenfeld	Arbeitsziel
Feuerraumauslegung	Betrachtung und Optimierung unterschiedlicher verfahrenstechnischer Varianten des TBK-Stützbrennereinsatzes
Feuerraumdiagnose und -überwachung	Analyse und Optimierung des Feuerungsverhalten des Dampferzeugers bei Einsatz des TBK-Stützbrenners
Verschlackung und Verschmutzung	Minimierung des Verschlackungs- und Verschmutzungsrisikos bei Einsatz des TBK-Stützbrenners
Leittechnische und systemtechnische Überwachung	Dynamisches Simulationsmodell für die Feuerung zur Berechnung feuerungstechnisch relevanter Vorgänge in der Brennkammer

Unterstützung des Test- und Versuchsbetriebs	Optimierung der Funktionsweise hinsichtlich Temperaturverteilung in der Brennkammer, Verschlackungs- und Verschmutzungsbildung in der Brennkammer, Konzentration von Gasen und Schadstoffemissionen und deren Verteilung in der Brennkammer
--	---

#### 4.4.1.4 Begleitung und Auswertung von Verbrennungsversuchen

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) B. Salomo, Dipl.-Ing. (FH) R. Schneider
<b>Finanzierung:</b>	Unterauftrag der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
<b>Kooperationspartner:</b>	Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Fa. A.P. Bioenergie-technik GmbH, Fa. Josef BINDER Maschinenbau- und Handelsges. m.b.H.
<b>Laufzeit:</b>	02/2015 - 04/2015

##### Motivation und Ziel:

Unter dem Fokus des Einsatzes alternativer biogener Brennstoffe zur Wärmebereitstellung kommt besonders der halmgutartigen Biomasse eine bedeutende Rolle zu. Jedoch hat sich deren energetische Nutzung bislang nicht durchgesetzt, da durch die damit verbundenen schwierigen brennstofftechnischen Eigenschaften (Aschegehalt, Ascheschmelztemperatur) und Inhaltsstoffe (Schwefel, Chlor) Probleme entstehen und diese nur durch zusätzliche technische Aufwendungen beherrscht werden können.

Eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung von Holz stößt in vielen Ländern an ihre Grenzen. Der weitere Ausbau der energetischen Nutzung dieser biogenen Ressource wird unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit immer schwieriger. Dem gegenüber ist bezüglich des Potenzials für die energetische Nutzung von Stroh in Deutschland davon auszugehen, dass etwa 8 bis 13 Millionen Tonnen des jährlichen Strohaufkommens von 30 Millionen Tonnen in Deutschland unter Berücksichtigung der Humusbilanz nutzbar sind. Dieses beachtliche, energiewirtschaftliche Potenzial sollte gerade für den kleinen Leistungsbereich der Wärmebereitstellung genutzt werden.

Eine Möglichkeit der Bereitstellung von Brennstoffen aus halmgutartiger Biomasse bildet die Pelletierung, die in kleinerem Umfang bereits praktiziert wird. In diesem Zusammenhang beschäftigt sich die Arbeitsgruppe „Moorkunde und Paläoökologie“ der Universität Greifswald im Rahmen des ESF-Projektes „Paludi-Pellets“ mit der Verwertbarkeit von Biomasse aus nassen bzw. wiedervernässten Moorstandorten. In einem Unterauftrag des Projektes wurden durch die Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) Verbrennungsversuche mit pelletierter Biomasse aus nassen Moorstandorten (Schilf, Seggen) in marktüblichen Biomassefeuerungsanlagen durchgeführt. Als

Ergebnis der Verbrennungsversuche wurde aus technischer Sicht die Bewertung der Einsetzbarkeit von Brennstoffen aus Paludikulturen in marktüblichen Biomasseheizkesseln vorgenommen. Darüber hinaus wurden als Ergebnis der durchgeführten Laboranalysen mögliche Verwertungsstrategien der entsprechenden Aschen aus den Biomasseheizkesseln aufgeführt.

Vorgehen:

Es wurden an zwei ausgesuchten, marktüblichen Heizkesseln zur Biomasseverbrennung jeweils zwei Verbrennungsversuche mit Schilf- und Seggenpellets geplant, organisiert und begleitet. Für die Durchführung der Verbrennungsversuche wurden folgende Anlagen ausgewählt:

- Feuerungssystem der Fa. Josef BINDER Maschinenbau- und Handelsges. m.b.H. (300 kW Nennleistung; Standort Bärnbach, Österreich)
- ÖKOTHERM® Biomasse-Heizanlage der Fa. A.P. Bioenergietechnik GmbH (450 kW Nennleistung; Standort Hirschau, Deutschland)

Bei der Durchführung der Versuche erfolgte die Erfassung der Abgaszusammensetzung ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , Staub) und des Betriebsverhaltens der Anlagen (Leistung, Störungen, Wirkungsgrade). Darüber hinaus wurden Proben der eingesetzten Brennstoffe und der entsprechend anfallenden Reststoffe genommen und im Labor hinsichtlich ihrer Zusammensetzung etc. analysiert. Eine umfangreiche fotografische Dokumentation der Versuche wurde begleitend erstellt. Anschließend erfolgte eine Beschreibung und Auswertung der durchgeführten Arbeiten inkl. der Zusammenstellung und Diskussion der ermittelten Daten und Ergebnisse.

Zusammenfassung:

Die Verbrennungsversuche zum Abbrand- und Emissionsverhalten der halmgutartigen Brennstoffe Seggen- und Schilfpellets haben deren prinzipielle Eignung als Brennstoff in dafür geeigneten Verbrennungsanlagen bestätigt. In Bezug auf das Verbrennungsverhalten konnten während der Versuchsfahrten an den beiden untersuchten Kesseln keine betriebsstörenden Einflüsse (z. B. Verschmutzung und Verschlackung) durch die eingesetzten biogenen Brennstoffe festgestellt werden. Die konstruktive Ausführung der Kessel ließ entweder nur wenig Schlacke entstehen oder war durch technische Maßnahmen in der Lage, die anfallende Schlacke sicher aus dem Kessel zu befördern.

Es wurde deutlich, dass jeder Kessel auf die spezifischen Brennstoffeigenschaften eingestellt werden muss. Insbesondere die Brennstoffdosiereinrichtung, die Primär- sowie Sekundärluftregelung, der Ascheaustrag und ggf. nachgeschaltete Abgasentstauber müssen angepasst werden. Dies hat zum Teil starke Auswirkungen auf die Kesselleistung. Die maximale Kesselleistung wurde nicht immer erreicht, da ansonsten Emissionsgrenzwerte (insbesondere Stickoxide und Staub) nicht mehr eingehalten werden können.

Während der Verbrennungsversuche wurden die zur Einhaltung der TA Luft maßgeblichen Emissionsgrenzwerte (Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )) kontinuierlich sowie die Staubemissionen diskontinuierlich erfasst.

Aufgrund der erhöhten Stickstoffgehalte der eingesetzten Brennstoffe war erwartungsgemäß eine höhere Konzentration an NO<sub>x</sub> im Abgas nachweisbar. Dies wird jedoch nur dann zu einem Problem, wenn die getroffene Luftfahrweise zusätzlich zum brennstoffabhängigen NO<sub>x</sub> auch thermisches NO<sub>x</sub> bildet. In Addition dieser beiden Emissionsquellen von NO<sub>x</sub> konnte der Grenzwert der TA Luft nicht immer eingehalten werden. So waren insbesondere aufgrund des hohen Stickstoffgehaltes der Seggenpellets die NO<sub>x</sub>-Emissionen relativ hoch und überschritten an einer Anlage die entsprechenden Grenzwerte deutlich. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind jedoch durch eine angepasste Anlagenfahrweise (z. B. Einstellungen der Luftstufung) reduzierbar. Insbesondere die Primärlufteinstellung hat einen signifikanten Einfluss sowohl auf die NO<sub>x</sub>- als auch auf die Staubemissionen. Die gemessenen Konzentrationen von CO und SO<sub>2</sub> im Abgas lagen bei beiden Anlagen unter den Grenzwerten und stellten somit kein Problem dar.

Die erfassten Staubemissionen variierten stark zwischen den beiden Anlagen. Die eingesetzte Filtertechnik ist bei beiden Kesseln unterschiedlich ausgeführt. Beim Einsatz eines nach dem Gaszyklon eingesetzten Gewebefilters kam es zu keinen Grenzwertüberschreitungen. In Abhängigkeit der Staubbeladung im Abgas variierte lediglich der Abreinigungszyklus. Ein Gaszyklon allein ist nicht immer in der Lage, die Staubemissionen auf das geforderte Maß zu reduzieren. Das liegt zum einen an dem hohen Aschegehalt der Brennstoffe und zum anderen an der gewählten Luftfahrweise mit einem hohen Primärluftanteil. Dies führt zu einem Aufwirbeln des Brennstoffbetts, wodurch mehr Asche ausgetragen wird. Zu beachten ist jedoch hierbei, dass eine Reduzierung der Primärluft zu einer Verminderung der Kesselleistung führt.



#### 4.4.1.5 Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie (AUFWERTEN)

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) R. Schneider
<b>Finanzierung:</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
<b>Kooperationspartner:</b>	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
<b>Laufzeit:</b>	04/2014 – 07/2019

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 Agroforstflächenpotenzials;
- 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.

#### 4.4.1.6 Durchführung von Messkampagnen an Holzvergasungsanlagen

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) B. Salomo, Dipl.-Ing. (FH) M. Kurz, Dipl.-Ing. (FH) R. Schneider, Dipl.-Ing. (FH) M. Weidner
<b>Finanzierung:</b>	Spanner Re <sup>2</sup> GmbH
<b>Laufzeit:</b>	03/2015 – 07/2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Durchführung von Messkampagnen an Holzvergasungsanlagen“ wurden Einzelphänomene der Holzvergasung an konkreten Aufgabenstellungen untersucht und ausgewertet. Die Messaufgaben erfolgten vornehmlich am Standort Zittau an der Versuchsanlage des Thermochemischen Versuchsfeldes. Folgende Aufgabenstellungen wurden bearbeitet und ausgewertet:

- Ermittlung der NO/NO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>-Konzentrationen im Produkt und Abgas sowie Aufstellung möglicher Einflussfaktoren
- Verstehen der Bildung und Reduktion von Teeren und Schlacke, Vergleichmäßigung der Oxidationszone im Vergasungsprozess
- Messung des Benzolaustrages beim Startvorgang der Anlage

#### 4.4.1.7 Vorarbeiten zur Untersuchung der direkten Katalyse der Holzvergasung

<b>ProjektleiterIn:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
<b>MitarbeiterInnen:</b>	Dipl.-Ing. (FH) R. Schneider, Dipl.-Ing. (FH) M. Kurz
<b>Finanzierung:</b>	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK)
<b>Laufzeit:</b>	08/2015 – 12/2015

Bearbeitungsstand/Ergebnisse:

Bei der thermochemischen Vergasung von Biomasse laufen die chemischen Reaktionen nach Erkenntnissen, die im Vorläuferprojekt "Thermochemisches Versuchsfeld" experimentell bestätigt wurden, auch im stationären Betriebszustand nicht bis zum chemischen Gleichgewichtszustand. Vielmehr stellt sich am Austritt ein partielles Gleichgewicht ein. Ziel des Projektes ist es, neu zu konzipierende und durchzuführende Versuchsreihen dahingehend auszuwerten, dass das partielle Gleichgewicht mathematisch beschrieben werden kann. Die Abhängigkeit der Abweichung des Gleichgewichtes vom Einsatz von Katalysatormaterial soll anschließend untersucht werden. Damit soll ein Beitrag zur Vertiefung des Verständnisses über die Holzvergasung geleistet werden.

## 4.4.2 Versuchsanlagen

### 4.4.2.1 Holzvergaser BHKW

Am Standort 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 Holz hackschnitzeln bereitgestellt.

Zu dem Versuchsstand gehören:

- Holzvergaser-Anlage mit Wärmeübertragern (10 kW<sub>th</sub>)
- Motor-BHKW (30 kW<sub>el</sub>, 70 kW<sub>th</sub>)
- stationäre Gasanalysetechnik
- sensibler Wärmespeicher (Speichervolumen: 2 m<sup>3</sup>)
- übergeordnete Anlagenleittechnik



**Abbildung 24:** Übersicht des Holzgas-Blockheizkraftwerks

#### 4.4.2.2 Holzhackschnitzel-Trocknungsanlage

Für gezielte Untersuchungen der Effizienz der Biomassetrocknung und des Einflusses des Wassergehalts auf den Vergasungsprozess in der Versuchsanlage Holzvergaser-BHKW (siehe Abschnitt 4.4.2.1) wurde in Halle Z VIIb 7 eine Holzhackschnitzel-Trocknungsanlage errichtet. Diese erlaubt eine vollautomatisierte kontinuierliche Trocknung von Holzhackschnitzeln (HHS). Zu dem Versuchsstand gehören:

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



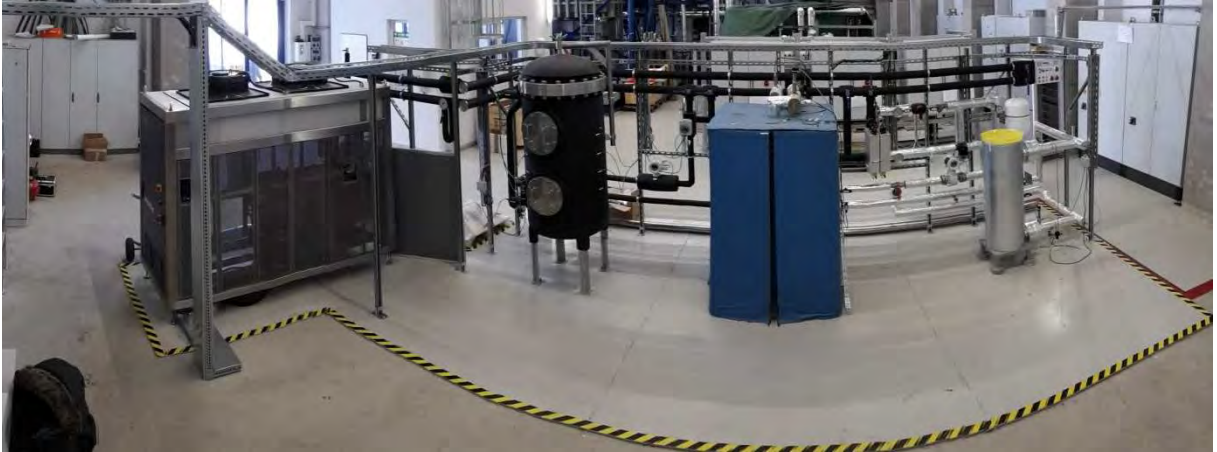
**Abbildung 25: Trocknungsanlage für Holzhackschnitzel**

#### 4.4.2.3 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)





**Abbildung 26: Testfeld für Wärmespeicher**

### 4.4.3 Publikationen

#### 4.4.3.1 Proceedings

M. Zeymer, Y. Noël, R. Schneider: Abgasemissionen von kleintechnischen Holzvergasungsanlagen: Stand der Technik, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Mai 2015, Springer-VDI-Verlag, ISSN 0949-8036, S. 167-171.

T. Zschunke, M. Weidner, R. Schneider: Tagungsband zum Fachkolloquium „Biomass to Power and Heat 2015“ der Hochschule Zittau/Görlitz, ISBN 978-3-941521-22-3, Zittau

#### 4.4.3.2 Vorträge und Präsentationen

B. Salomo: Thermochemisches Versuchsfeld im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors, Vortrag zum Fachkolloquium „Biomass to Power and Heat 2015“, Zittau, 06.–07. Mai 2015

B. Salomo: Thermochemisches Versuchsfeld im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabors, Vortrag zum IPM-Kolloquium, Zittau, 15. Juli 2015

T. Zschunke: Aufrüstung einer Biomasse-Wärmeversorgung zur Kraft-Wärme-Kopplung - Betrachtungen zu Grenzwirkungsgrad, Grenzkosten und Wirtschaftlichkeit, Vortrag zum 12. Herstellertreffen der AG „Vergasung von Biomasse“ der FEE e.V., Pommelsbrunn, 10.–11. August 2015

R. Schneider: Status quo der kleintechnischen Holzvergasung, Vortrag zum Stammtisch des Maschinenring Merseburger Land, Hohenmölsen, 26. November 2015

#### 4.4.4 Ausgewählte Abschlussarbeiten der Studenten

**Thema 1:** *Durchführung analytischer Untersuchungen der Holzkohle gewonnen aus verschiedenen Biomassekonversions-Prozessen*

**BearbeiterIn:** Barbora Zezulova

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

**Auftraggeber:** Hawaii Natural Energy Institute

**Thema 2:** *Autarke bedarfsgerechte Stromversorgung für eine dezentrale Versorgungsaufgabe mit Gasspeicherung sowie PV- und Windkollektoren*

**BearbeiterIn:** Thomas Schäfer

**BetreuerIn:** Dr.-Ing. Clemens Schneider

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz - IPM

**Thema 3:** *Bewertung und Optimierung des Nachreformers als Bauteil des Thermochemischen Versuchsfeldes*

**BearbeiterIn:** Sebastian Schmidt

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

**Auftraggeber:** Hochschule Zittau/Görlitz



## 4.5 Messen und Wissenschaftliche Veranstaltungen

### 4.5.1 10. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz



**Abbildung 27: Teilnehmer des 10. Workshops für Magnetlagertechnik**

Vom 31. August bis 1. September 2015 fand an der Hochschule Zittau/Görlitz der 10. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz statt. Die inhaltliche Vorbereitung des Workshops erfolgte gemeinsam mit der TU Chemnitz. Organisiert wurde er vom Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM) der Hochschule. Er findet immer im Wechsel an der Hochschule Zittau/Görlitz und der TU Chemnitz statt.

30 Teilnehmer aus sechs Staaten - Finnland, Österreich, Polen, China, Südafrika und Deutschland – trafen sich, um sich über neueste Erkenntnisse zur Magnetlagertechnik auszutauschen. Insbesondere ging es darum, Entwicklungstrends auf dem Gebiet der Magnetlagertechnik aufzuzeigen sowie Fortschritte in Forschung und Entwicklung vorzustellen und zu diskutieren. Für den Workshop sind theoretische und anwendungsorientierte Aspekte von besonderem Interesse, u. a. aktive und passive Magnetlager, Lagemess- und Regelsysteme, Aktuatoren, Konfiguration magnetischer Lager, Modellierung und Simulation, Auslegung, Diagnose und Zuverlässigkeit, Anwendung magnetgelagerter Systeme in der Energie-, Prüf- und Messtechnik, magnetische Lagerung bei linear bewegten Anlagen, Einsatz von Magnetlagern bei extrem hohen Drehzahlen, Industrie- und Serienanwendungen sowie Fanglager. Anhand von im Auftrag der Industrie durchgeführten Forschungsprojekten und Serienanwendungen wurden Einsatzmöglichkeiten von Magnetlagern an realen Applikationen und Versuchständen vorgestellt. Darüber hinaus soll auch der Kontakt zwischen Entwicklern, Herstellern und Betreibern befördert werden.

Magnetlager bieten gegenüber konventionellen Wälz- oder Gleitlagerungen ökonomische, ökologische und technologische Vorteile, wodurch der Einsatz von Magnetlagern für die Industrie und die Energiewirtschaft zunehmend interessanter wird. Neben den bekannten Vorteilen, wie Berührungs- und Schmiermittelfreiheit und der daraus resultierenden Verschleißfreiheit, können durch die aktive Beeinflussung des Rotors die Laufeigenschaften von Maschinen wesentlich verbessert werden. Des Weiteren bieten aktive Magnetlager durch Nutzung der systeminhärent vorhandenen Signale die Möglichkeit der Maschinen- und Anlagendiagnose.

Das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik der Hochschule ist seit vielen Jahren eine führende Einrichtung auf diesem Gebiet. So wurden die Grundlagen für die weltweit erste ölfreie Dampfturbine und die magnetgelagerte Kühlmittelpumpe an der Hochschule gelegt.

#### 4.5.2 Reaktorsicherheitsforschung auf internationalem Niveau



**Abbildung 28: Mitarbeiter des IPM auf der Konferenz NURETH 2015 in Chicago/USA**

Aus dem Fachgebiet Kerntechnik/Soft Computing des Institutes für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM) der Hochschule nahmen 2015 die Kollegen Dr.-Ing. Stefan Renger, Dipl.-Ing. Sören Alt und M. Eng. Hassan Chahi an der international bedeutendsten Konferenz auf dem Forschungsgebiet der analytischen und experimentellen Thermohydraulik für nukleare Anlagen in Chicago/USA teil. Diese Konferenz findet alle zwei Jahre abwechselnd in Asien, Europa und Amerika statt.

Von den Mitarbeitern des IPM wurden Ergebnisse der aktuell im Fachgebiet bearbeiteten Forschungsthemen zur Reaktorsicherheitsforschung vorgestellt, die von den Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) und für Wirtschaft und Energie (BMWi) der Bundesregierung gefördert werden.

2011 wurde in Deutschland der politische Ausstieg aus der Nutzung von Kernenergie zur Stromproduktion beschlossen. Für den sicheren Betrieb der Kernkraftwerke bis zum Laufzeitende sowie für deren Stilllegung und Rückbau werden jedoch noch Jahrzehnte zahlreiche Experten benötigt. Zudem möchte Deutschland die Kompetenz erhalten, um die sich international (z. B. in unseren Nachbarländern) weiter entwickelnde Kerntechnik hinsichtlich ihrer Sicherheit beurteilen zu können. Deshalb sind Präsentationen eigener aktueller Forschungsergebnisse und der Meinungs- austausch zu neuen Ergebnissen anderer Länder auf internationalen Konferenzen ein

geeigneter Weg, die Kompetenz auf diesem Fachgebiet auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu erhalten und weiterzuentwickeln.

Herr Dr. Renger trug auf der NURETH-16 über Ergebnisse des aktuellen BMWi-Projektes "Lokale Effekte im Druckwasserreaktor (DWR)-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach Kühlmittelverluststörfällen" in einer speziellen Session zu dem von der U.S. Nuclear Regulatory Commission behandelten Generic Safety Issue 191 (GSI-191) vor, in welcher speziell die Problematik der sicheren Sumpfansaugung nach einem Kühlmittelverluststörfall von amerikanischer Seite behandelt wird. Dieses Thema, auf welchem das IPM seit vielen Jahren forscht, ist speziell in den USA gegenwärtig immer noch von großer Relevanz.

Herr Chahi erläuterte in seinem Vortrag "System analysis and isothermal separate effect experiments of the accident behavior in PWR spent fuel storage pools" die bisher aus Literaturanalysen gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse eigener Einzel-effektuntersuchungen, die im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes "Sicherheit der Nasslager für abgebrannte Brennelemente: experimentelle Analyse, Modellbildung und Validierung für System- und CFD-Codes" (SINABEL) gewonnen wurden.

Auf der Konferenz wurden (insbesondere auch im Rahmen der GSI-191-Session) Diskussionen zu den vorgestellten, aber auch zu allgemeinen Themen der Kerntechnikforschung geführt, bestehende Kontakte gepflegt und neue Kontakte zu internationalen, auf dem Gebiet der Thermohydraulik agierenden Forscherkollegen mit der Option der zukünftigen Zusammenarbeit geknüpft.



### 4.5.3 Einweihung des Zittauer Kraftwerkslabors



**Abbildung 29: Feierliche Einweihung des ZKWL**

Am 5. November 2015 wurde das Zittauer Kraftwerkslabor (ZKWL) im Beisein des Sächsischen Staatsministers der Finanzen, Prof. Dr. Georg Unland, feierlich eingeweiht. „Die Hochschule Zittau/Görlitz sei ihm sehr gut für ihre exzellente Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Energie- und Umwelttechnik bekannt“, so der Staatsminister in seiner Ansprache. Bei dem anschließenden Rundgang im Zittauer Kraftwerkslabor zeigte er großes Interesse an den Versuchsanlagen und ließ sich diese ausführlich erläutern.



**Abbildung 30: Prof. Worlitz erläutert den Aufbau an der Versuchsanlage MFLP**

Mit dem Aufbau des ZKWL wurde am 5. September 2011 begonnen. Drei Großversuchsanlagen wurden errichtet und in den letzten Monaten bereits erfolgreich auf ihre Funktionsfähigkeit getestet.

Bei den Großversuchsanlagen handelt es sich um einen Magnetlagerversuchsstand (MFLP), eine moderne Druckhalterversuchsanlage und einen thermischen Speicher (THERESA) sowie ein Thermochemisches Versuchsfeld (TCV II).

Die Gesamtkosten für die drei Projekte belaufen sich auf 7 Mio. Euro, wovon 6,3 Mio. Euro aus EFRE-Mitteln stammen. An der Finanzierung ist die Hochschule Zittau/Görlitz mit 10% beteiligt. Hinzu kommen noch einmal ca. 1 Mio. Euro an Baukosten für die Ertüchtigung der Halle. Die Stadtwerke Zittau GmbH unterstützen dieses Vorhaben zudem aktiv. Es ist damit die größte Forschungsinvestition seit Gründung der Hochschule Zittau/Görlitz im Jahr 1992.

„Wir freuen uns sehr, dass wir dieses umfangreiche Vorhaben jetzt erfolgreich abschließen konnten und unsere Forschungen auf dem Kompetenzfeld „Energie und Umwelt“ intensivieren können“, so der Rektor Prof. Friedrich Albrecht. „Mit diesem Forschungslabor werden die für den Hochschulstandort Zittau traditionellen Lehr- und Forschungsgebiete weiter gestärkt. Das schließt zum einen die energieorientierten Studiengänge der Zittauer Fakultäten ein und zum anderen ist damit der Ausbau von Forschung und Entwicklung in diesem Themenfeld vorgezeichnet.“

Der Direktor des Instituts für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik, Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz, der für das Gesamtprojekt verantwortlich zeichnete, führt dazu aus: „Im "Zittauer Kraftwerkslabor" wurden moderne Versuchsanlagen für die Lehre und die Forschung aufgebaut. Zukünftig werden davon insbesondere die Studiengänge „Energie- und Umwelttechnik“ sowie der noch junge Studiengang „Automatisierung und Mechatronik“ profitieren. In seiner Rede dankte er allen am Projekt Beteiligten für die Unterstützung, allen voran der Stadtwerke Zittau GmbH, den am Aufbau beteiligten Unternehmen und den in den Projekten tätigen Mitarbeitern, ohne die diese umfangreiche Aufgabe nicht zu meistern gewesen wäre.

Das Großprojekt "Zittauer Kraftwerkslabor" wird gefördert mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Freistaates Sachsen.

Einen weiteren Höhepunkt der Veranstaltung bildete die Auszeichnung mit dem „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“. In diesem Jahr wurde dieser an die Projektgruppen im Zittauer Kraftwerkslabor für ihre überragende Arbeit beim Aufbau des Labors verliehen.



**Abbildung 31 Übergabe des „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“**

Mit der Vergabe des „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“ werden wissenschaftliche Leistungen auf den Gebieten der Energietechnik und der Energiewirtschaft gewürdigt und prämiert, die neuartige theoretische und praxisnahe Erkenntnisse ausweisen oder bei denen durch Anwendung bekannter oder modifizierter Gesetzmäßigkeiten erhebliche technische und/oder ökonomische Effekte erzielt werden oder die zur Herausbildung einer wissenschaftlichen Schule geführt haben. Der Gründungsrektor der Ingenieurhochschule Zittau, der heute, am 6. November 2015 seinen 100. Geburtstag begehen würde, stiftete diesen Preis 1988.

Zu den einzelnen Projekten:

**Projekt 1: Erhöhung der Energieeffizienz von Turbomaschinen in Kraftwerksanlagen durch innovative Lagerkonzepte (MFLP)**

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Frank Worlitz

Gesamtziel: Steigerung der Energieeffizienz von Turbomaschinen durch die Erhöhung des Wirkungsgrades beim Einsatz innovativer Lagerkonzepte

Motivation: Konventionelle Lagerungen verursachen energetische Verluste durch Reibung bzw. durch die notwendige Ölschmierung. Bei Magnetlagern schwebt der Rotor in einem Luftspalt ohne mechanische Berührung. Auf diese Weise lassen sich die Verluste bis auf 5 % der Lagerverluste von Gleitlagern senken.

In Deutschland und weltweit wird längst die magnetische Lagerung von Rotoren in Dampfturbinen, Kompressoren und auch von Offshore-Windanlagen in die Überlegungen einbezogen. Die Lösung für hohe Temperaturen und/oder aggressive Atmosphäre in diesem Bereich liegt in der Entwicklung einer Hochtemperatur-Magnetlagerung.

Mit diesem Projekt sollen die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen erarbeitet werden.



Neben den theoretischen Arbeiten wurde ein Versuchsstand für experimentelle Untersuchungen von Magnet- und Fanglager unter realitätsnahen Bedingungen entwickelt und aufgebaut.

Mit den Forschungsergebnissen wird es möglich, Magnetlagerungen auf spezifische Maschinen und die zu erwartenden Prozessbedingungen optimal abzustimmen.



**Abbildung 32: Auszeichnung der Kollegen des Projektes 1 mit dem „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“**

## **Projekt 2: Energieeffizienzsteigerung in thermischen Energieanlagen (THERESA)**

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kästner

Gesamtziel: Die globale Zielstellung des Vorhabens ist die Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Anwendung thermischer Energiespeicher mit dem Ziel der Energieeffizienzsteigerung thermischer Prozesse (Kraftwerksprozesse).

Motivation: Aufgrund der aktuellen Energiepolitik in Deutschland kommt es zu neuen und stark wechselnden Anforderungen an den bestehenden Kraftwerkspark und die Übertragungsnetze. Durch den enormen Zubau regenerativer Energiebereitstellungsformen müssen insbesondere thermische Kraftwerksanlagen in der Lage sein, hoch flexibel auf den stark volatil bereitgestellten Strom aus regenerativen Quellen zu reagieren. Mit dem Vorhaben „Energieeffizienzsteigerung in thermischen Energieanlagen“ wird ein Beitrag dazu geleistet, thermische Kraftwerke auch zukünftig kosten- und energieeffizient betreiben zu können und dabei das Versorgungsnetz zu stabilisieren. Als Lösungsweg wird der Einsatz von thermischen Energiespeichern in thermischen Kraftwerken, motiviert durch erste Erfahrungen bei Parabolrinnenkraftwerken, favorisiert. Im Rahmen der Vorhabensbearbeitung wurde zur Erreichung der Ziele die Großversuchsanlage THERESA (Thermische Energiespeicheranlage) geplant,

errichtet und in Betrieb genommen. Mit Hilfe der Versuchsanlage werden die erforderlichen experimentellen Untersuchungen durchgeführt. Charakteristische Lasttransienten von Kraftwerken werden mit Hilfe von thermodynamischen Simulationscodes nachgebildet. Daraus erfolgt die Ableitung von Schlussfolgerungen für die Auslegung und den Betrieb der Energiespeicher. Zu der Modellierung und Simulation von thermischen Energiespeichern kommen u. a. Soft Computing Methoden zur Anwendung. Aus einer Online-Zustandsbewertung der Energiespeicher erfolgen Aussagen zur zustandsorientierten Instandhaltung.

Im Freistaat Sachsen sind überwiegend Braunkohlekraftwerke zur Deckung der Grundlast und zur Bereitstellung der volatilen Residuallast aufgrund von regenerativer Energieeinspeisung verantwortlich. Die Flexibilisierung des sächsischen Kraftwerksparkes ist von hohem Stellenwert für die Sicherstellung der Energieversorgung der sächsischen Industrie.



**Abbildung 33: Auszeichnung der Kollegen des Projektes 2 mit dem „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“**

### **Projekt 3: Thermochemisches Versuchsfeld (TCV II)**

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

Motivation: Während im deutschen Energiesystem zentrale und großtechnische Systeme der Energieversorgung bestimmend bleiben werden und dezentrale autarke Lösungen zunehmend interessante Zusatzlösungen darstellen, sind weltweit vielerorts dezentrale Lösungen unter Einbeziehung eines regenerativen Primärenergiemixes der einzige Weg, preiswert Komfortfortschritte zu erreichen. Regenerative Energierohstoffe, wie z. B. Biomasse, stellen große Anforderungen an die thermochemische Wandlungstechnik.

Thermochemie ist ein Kurzbezug für Vorgänge, bei denen chemische Zersetzungen und Umwandlungen durch Einwirkung von Temperaturen weit oberhalb von 200 °C, bis zu 1200 °C stattfinden.

Das Zusammenbringen von Energiebereitstellung und Energienutzung erfordert darüber hinaus Verfahren der Wärme- und Kältespeicherung und ihrer Regelung, die ihrerseits auf Grundlagen der physikalischen Chemie aufbauen. Die ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen für die Verbreitung der Wärme-, Kälte- und Elektroenergieversorgung in dezentralen Verbänden ohne fossile Energieträger weisen noch einige Lücken auf, von denen einige im Projekt „Thermochemisches Versuchsfeld“ geschlossen werden sollen.

Folgende experimentelle Hauptthemen werden bearbeitet:

1. Untersuchung des Energierohstoff- und Zwischenproduktverhaltens unter praxisnahen Betriebsbedingungen entsprechend des Standes der Technik und in zusätzlichen Parameterbereichen
2. Untersuchungen zum thermodynamischen Verhalten von Latentwärmespeichern
3. Untersuchungen zum thermodynamischen Verhalten von Latentklimakältespeichern

Alle Experimente werden durch die Anwendung und Weiterentwicklung von mathematischen und computergestützten Simulationsalgorithmen flankiert. Die Versuchsanordnungen werden selbstverständlich in enger inhaltlicher und partiell auch räumlicher Verzahnung mit den bereits an der Hochschule existierenden thermochemischen Versuchsanlagen entwickelt und betrieben.



**Abbildung 34:** Auszeichnung der Kollegen des Projektes 3 mit dem „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preis“

#### 4.5.4 Studierende von übermorgen erkunden ZKWL



**Abbildung 35: Prof. Worlitz erklärt den Knirpsen die Leitwarte**

Am 26.11.2015 konnte der Direktor des Instituts für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik, Prof. Frank Worlitz, ganz besondere Gäste im Zittauer Kraftwerkslabor (ZKWL) begrüßen - Kinder der Kindertagesstätte „Knirpshausen“ mit ihren Erzieherinnen.

Die Erzieherinnen hatten angefragt, ob sie das ZKWL besuchen können. Anlass dafür war sicherlich die Spende des Preisgeldes der mit dem „Prof. Hans-Joachim Hildebrand-Preises“ ausgezeichneten jungen Wissenschaftler an die Zittauer Kindertagesstätte „Knirpshausen“. „Es war herrlich, den kleinen Knirpsen die Technik zu erklären“, sagte Prof. Worlitz. „Ich hatte ein Modell mit ins ZKWL genommen, um den Kindern magnetische Vorgänge besser beschreiben zu können und war überrascht, mit welcher Begeisterung die Kinder bei der Sache waren und viele Fragen stellten. Die Zeit war im Nu vorbei“, so Prof. Worlitz weiter. Vielleicht können wir den einen oder anderen kleinen Knirps in ein paar Jahren als jungen Mann bzw. junge Frau bei uns an der Hochschule zum Studium begrüßen.





**Abbildung 36:** Interessiert lauschen die Kleinen den technischen Erklärungen

#### 4.6 Wissenschaftliche Veranstaltungen – Gesamtübersicht

Datum	Thema/Bezeichnung	Veranstalter
05.–07.05.2015	Jahrestagung Kerntechnik in Berlin	Kerntechnische Gesellschaft e.V., DATF
11.06.2015	Kick-Off-Meeting Lokale Effekte im DWR-Kern infolge von Zinkborat-Ablagerungen nach KMV“ HSZG, IPM, TUD, HZDR	Technische Universität Dresden
31.08.–01.09.2015	10. Workshop Magnetlagertechnik Zittau-Chemnitz	Hochschule Zittau/Görlitz, IPM
13.–14.10.2015	47. Kraftwerkstechnisches Kolloquium in Dresden	Technische Universität Dresden
03.–04.11.2015	ERFA Transformatoren	Vattenfall Europe AG Cottbus
26.11.2015	Technical Meeting IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)	Hochschule Zittau/Görlitz, IPM
08.12.2015	Doktorandenseminar des Kompetenzverbundes Ost für Kerntechnik	VKTA Dresden

#### 4.7 Verantwortliche Mitwirkung in Gremien

##### **Prof. Dr.-Ing. F. Worlitz:**

Mitglied des Hochschulrates

Direktor Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM)

Studienkommission Mechatronik

Mitglied des Prüfungsausschusses des Studienganges Elektrotechnik und des Studienganges Mechatronik

Gutachter DIN/ISO-Ausschuss NALS/VDI Schwingungen von Maschinen

Gutachter des tschechischen Ministeriums für Ausbildung und Wissenschaft

Mitglied im Arbeitskreis Mechatronik der CDHAW an der Tongji-Universität Schanghai

Gastdozent Chinesisch-Deutsche Hochschule für Angewandte Wissenschaften (CDHAW) der Tongji Universität (Schanghai) und TU Liberec (Tschechische Republik)

Fachkoordinator Mechatronik des Deutschen Hochschulkonsortiums (DHIK) für die CDHAW

Gutachter IEEE und National Research Foundation (NRF) South Africa

##### **Prof. Dr.-Ing. W. Kästner:**

GMA-Fachausschuss 5.14 "Computational Intelligence"

Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC)

Gastdozent an der Chinesisch-Deutsche Hochschule für Angewandte Wissenschaften (CDHAW) der Tongji Universität Schanghai

Gutachter Auswahlausschuss Jahrestagung Kerntechnik

##### **Prof. Dr.-Ing. habil. R. 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

##### **Prof. Dr.-Ing. A. Kratzsch:**

Vorsitzender Studienkommission Automatisierung und Mechatronik

Obmann VDI Bezirksgruppe Oberlausitz

Gutachter AiF

Gutachter Auswahlausschuss Jahrestagung Kerntechnik



Gutachter International Conference on Nuclear Engineering ICONE  
GMA-Fachausschuss 7.11 „Leittechnik in Kernkraftwerken“

**Dipl.-Ing. (FH) Fiß:**

GMA-Fachausschuss 7.11 „Leittechnik in Kernkraftwerken“

GMA-Fachausschuss 5.14 “Computational Intelligence”

ITG Informationstechnische Gesellschaft im VDE

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

Prorektor Forschung der HS Zittau/Görlitz in der Wahlperiode 2010 bis 2015 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“

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

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

#### 4.8 Kooperative Promotionsverfahren

Promovend	Betreuender Hochschullehrer	Kooperierende Hochschule	Thema	Laufzeit
Düsterhaupt, Stephan	Prof. Worlitz	TU Chemnitz	Komplexe und integrierte Methoden zur Entwicklung und Verlässlichkeitsbewertung berührungsfreier Magnetlager	08-11
Vanek, Christian	Prof. Worlitz	TU Chemnitz	Entwicklung von Methoden zur Bewertung und Optimierung von Fanglagern für magnetgelagerte Maschinen	08-11
Kratzsch, Doreen	Prof. Kästner	TU Ilmenau	Verfahren zur Zustandsbewertung von Leistungstransformatoren und Generierung von Fail-Safe-Kriterien	12/09 - 05/13
Schneider, Clemens	Prof. Hampel	TU Dresden	Experimentelle Untersuchung von Siedevorgängen mit optischen Verfahren und Parameterbestimmung für CFD-Rechnungen an kleinskaligen Versuchsständen	Verteidigung 28.07.15
Fiß, Daniel	Prof. Hampel	TU BA Freiberg	Simulation mit Unschärfe für komplexe energetische Systeme (ESF)	06/09 - 07/12
Kittan, Stefan	Prof. Kästner	TU Ilmenau	Modellierung/Simulation der Dynamik von Anlagerungs- und Penetrationsprozessen in partikelbelasteten Kühlmittelströmungen	Verteidigung 17.09.15
Schmidt, Sebastian	Prof. Kratzsch	TU Dresden	Einsatz von Soft Computing-Methoden für die Kernzustandsdiagnose	07/12 - 06/15
Li, Li	Prof. Worlitz	TU Ilmenau	Methoden des Soft Computing zur Regelung und Diagnose von Magnetlagern	12-15

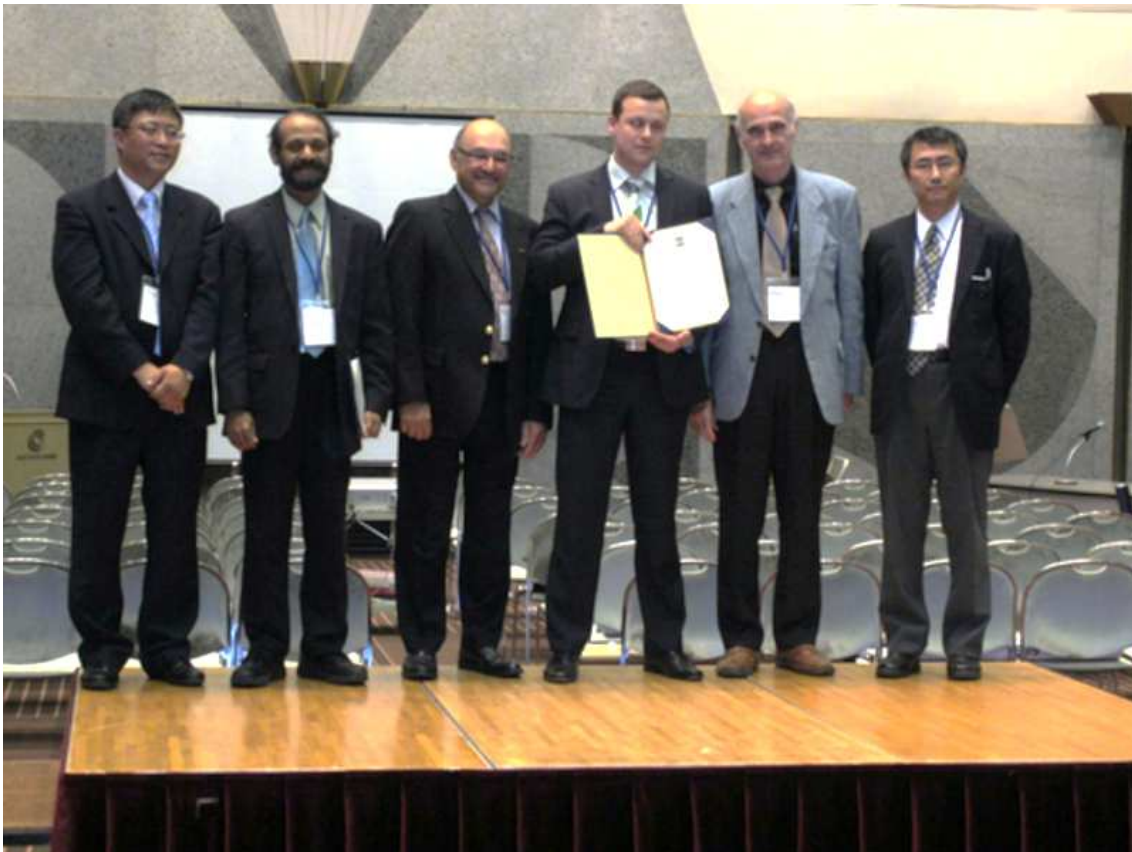
Promo- vend	Betreuender Hochschullehrer	Kooperierende Hochschule	Thema	Laufzeit
Fiebig, Jan	Prof. Worlitz	North West University Potchefstroom South Africa	Design Algorithm of Mag- netic Bearings used for industrial steam turbines	13-16
Chahi, Hassan	Prof. Kästner	noch offen	Dichtegetriebene vertikale Austauschbewegungen von Gasen in Stabbündel- geometrien (Sicherheit der Nasslager für abgebrannte Brennelemente)	

#### 4.8.1 Doktorand erhält zweiten „Student Best Paper Award“ in Folge

Im Zeitraum vom 17. bis 21. Mai 2015 fand in Chiba, Japan die jährliche Konferenz ICONE23 (23. International Conference on Nuclear Engineering) statt, auf der zahlreiche Fachvorträge zu aktuellen Themen aus Forschung, Entwicklung und für Anwendungen in der Kernenergie präsentiert wurden. Zudem wurde von Vertretern aus Industrie und Politik in mehreren Plenarsitzungen die bedeutende Rolle der Kernenergie für die Lösungen der weltweiten Energieproblematik sowie CO<sub>2</sub>-Reduzierung diskutiert und erörtert.

Das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM) der Hochschule Zittau/Görlitz präsentierte sich dabei mit zwei Vorträgen durch Herrn Daniel Fiß und Herrn Sebastian Schmidt, beide Mitarbeiter und Doktoranden in der Forschungsgruppe von Prof. Kratzsch. Daniel Fiß stellte in seinem Vortrag mit dem Titel "Advanced Analysis of the Structure of a Reactor Protection System" die Ergebnisse eines in Kooperation mit E.ON Kernkraft GmbH durchgeführten Forschungsvorhabens vor. Die Arbeiten ordnen sich in den Bereich der „Softwarebasierten Sicherheitsleittechnik" ein.

Sebastian Schmidt präsentierte in der Vortragsreihe "Student Paper Competition" die aktuellen Forschungsergebnisse zum Thema "Validation of an Innovative Core State Diagnosis System for Severe Accidents in PWR using an Experimental Rig". Die Arbeiten werden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundvorhabens in Zusammenarbeit mit der TU Dresden durchgeführt. Beide Vorträge stießen in den Auditorien und auch in den nachfolgenden Gesprächen mit anderen Teilnehmern während der Konferenz auf großes Interesse, da die Vortragsinhalte ganz wesentlich zu einem sichereren Betrieb von Kernkraftwerken beitragen. Herrn Sebastian Schmidt wurde zudem im zweiten Jahr in Folge für seinen Beitrag mit dem "Student Best Paper Award" ausgezeichnet. Dieser Erfolg bestätigt die hohe Qualität der Forschungstätigkeiten des IPM im Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung.



**Abbildung 37: Verleihung des „Student Best Paper Award“; von links: Prof. Dr. Suyuan Yu, Prof. Dr. Shripad Revankar, Dr. Asif Arastu (Conference Chair), M.Eng. Sebastian Schmidt, Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Hansen, Prof. Dr. Tomio Okawa**

Den Abschlusstag der Konferenz bildete für einige Teilnehmer der Konferenz eine ganztägige „Technical Tour“ zur Besichtigung des „Central Research Institute of Electric Power Industry“ und der „Japan Atomic Energy Agency“. Am „Central Research Institute of Electric Power Industry“ wurden diverse Großversuchsanlagen u. a. für Untersuchungen der Auswirkungen von Tsunamis auf kerntechnische Anlagen sowie zum Aufbau erdbebensicherer Kernkraftwerke besichtigt. Bei der „Japan Atomic Energy Agency“ bestand die herausragende und einzigartige Möglichkeit zur Besichtigung einer der weltweit einzigen im Forschungsbetrieb befindlichen Kernreaktoren der Generation IV. Diese neuste Art von Kernreaktoren, sog. Hochtemperaturreaktoren (HTR) werden neben der Stromerzeugung ebenfalls zur Bereitstellung von Prozesswärme (ca. 1000 °C) genutzt, was den Wirkungsgrad im Vergleich zu bestehenden Kernkraftanlagen wesentlich verbessert. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass das physikalische Wirkprinzip von HTR das Einsetzen einer Kernschmelze unmöglich macht.

Die Teilnahme an der 23. International Conference On Nuclear Engineering (ICONE) war für fachliche Weiterentwicklung sowie die bearbeitenden Vorhaben der teilnehmenden Mitarbeiter überaus aufschlussreich und erfolgreich. Weiterhin konnten durch die Vorträge sowie die zahlreichen Gespräche mit anderen internationalen Teilnehmern während der Konferenz das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik sowie die Hochschule Zittau/Görlitz weiter in den Blick-

punkt international renommierter Unternehmen und Universitäten gerückt werden, um damit zukünftige Vorhaben und Kooperationen zu forcieren.

#### **4.8.2 Dissertation erfolgreich verteidigt**

Clemens Schneider arbeitete von Dezember 2009 bis Februar 2013 in einem vom BMBF geförderten Verbundvorhaben mit dem Titel „Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren“. Im Forschungsverbund waren die TU Dresden mit dem Institut für Strömungsmechanik, der Professur für Wasserstoff und Kernenergietechnik und der Medizinischen Fakultät sowie das Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf, die Ruhr Universität Bochum, die TU München, das Karlsruher Institut für Technologie, ANSYS Germany und die Hochschule Zittau/Görlitz vertreten.

Das Teilprojekt von Herrn Dr. Schneider mit dem Titel „Experimentelle Untersuchung von Siedevorgängen mit optischen Verfahren und Parameterbestimmung für CFD-Rechnungen an kleinskaligen Versuchsständen“ lieferte einen wesentlichen Beitrag zum experimentellen Teil des Verbundes und die Grundlage für seine Promotion.

Die Promotion fand im kooperativen Verfahren mit der Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik der TU Dresden unter Betreuung von Herrn Prof. Antonio Hurtado statt. Die Betreuung seitens der Hochschule erfolgte durch den Altrektor Herrn Prof. Rainer Hampel. Neben zahlreichen Seminaren und Workshops waren Fachbeiträge und Vorträge auf nationalen und internationalen Konferenzen sowie die Publikation der Ergebnisse in wissenschaftlichen Zeitschriften ein fester Bestandteil des Promotionsverfahrens.

Mit der Verteidigung am 28.07.2015 und der anschließenden Veröffentlichung der Dissertationsschrift mit dem Titel „Experimentelle Untersuchungen zum Blasensieden bei unterkühlten Strömungen“ an der „Sächsischen Landes-, Staats- und Universitätsbibliothek“ (SLUB) in Dresden wurde das Verfahren mit dem Prädikat „magna cum laude“ erfolgreich abgeschlossen.

Darüber hinaus fand Anfang Dezember 2015 die traditionelle feierliche „Nachverteidigung“ der Doktorarbeit von Herrn Schneider in der DeZi-Bar in Zittau (Keller des Wohnheimes D) im Kreise der KollegenInnen des IPM statt. Bei dieser „Nachverteidigung“ handelt es sich um ein traditionelles Ritual, bei dem der Kandidat die letzten Hürden zum Dokortitel überwinden muss. Eine frei ernannte Prüfungskommission bewertete dabei die Dissertation unter Verlesung zweier „Schlechtachten“. Anschließend hatte der Kandidat nachzuweisen, ob er den Inhalt seiner Arbeit kennt und in der Lage ist, selbstständig eine entsprechende Versuchsanordnung aufzubauen, Versuche durchzuführen und diese auch auszuwerten. Herr Dr. Schneider hat alle Anforderungen dieser höchst wissenschaftlichen Prüfung erfolgreich absolviert und feierlich aus den Händen der Prüfungskommission die „offizielle“ Doktorurkunde sowie den Doktorhut erhalten.



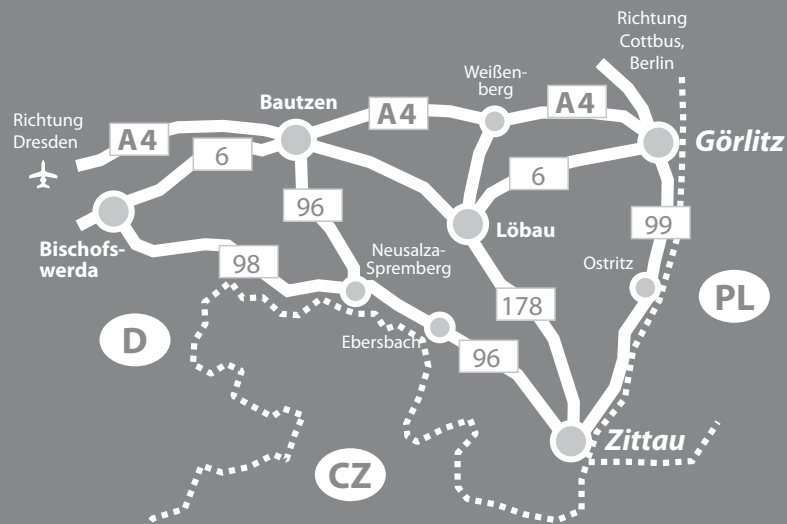


**Abbildung 38:** „Prüfungskommission“ der „Nachverteidigung“ mit Kandidat (v.l. Herr Schmidt, Herr Dr. Schneider, Herr Klette, Herr Vaneek)

## 5 Bisherige Auftraggeber und Kooperationspartner

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)  
GEO montan Gesellschaft für angewandte Geologie mbH, Freiberg  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf  
Hitachi Power Europe GmbH, Duisburg  
Innotas Elektronik GmbH, Zittau  
Jeumont S.A., Frankreich  
KEW Kunststoffherzeugnisse GmbH, Wilthen  
KKW Brunsbüttel  
KKW Gundremmingen  
KKW Krümmel  
KKW Philippsburg  
KKW Unterweser  
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  
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)