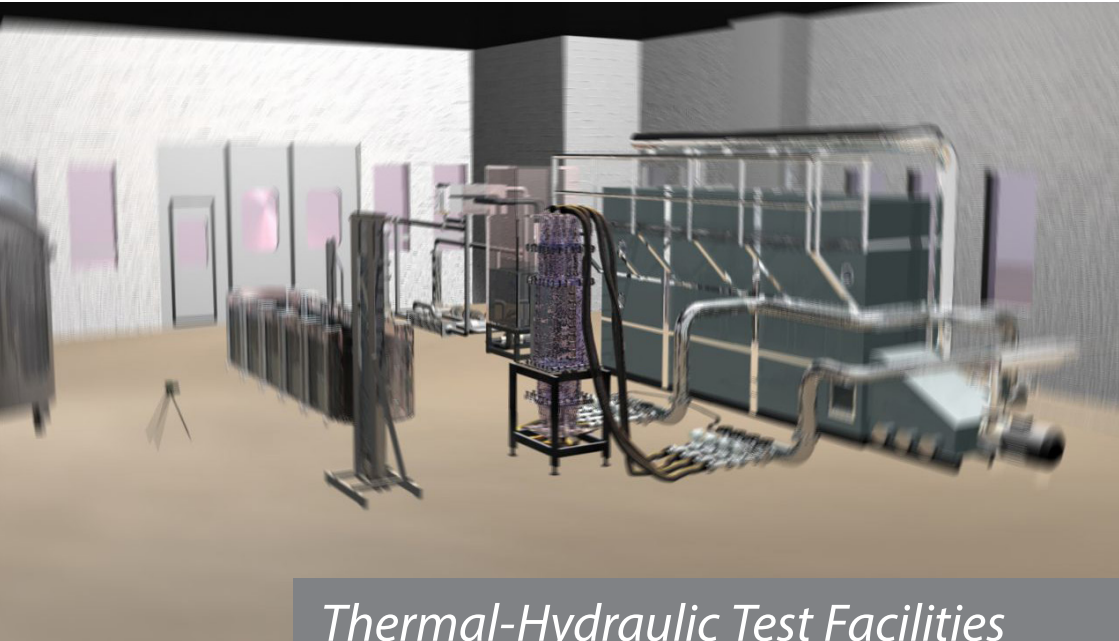




Hochschule
Zittau/Görlitz

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Thermal-Hydraulic Test Facilities

of the Departments

Nuclear Engineering / Soft Computing &

Measuring Technology / Process Automation



Institute of Process Technology,
Process Automation and
Measuring Technology (IPM)

Author of the booklet

Dr.-Ing. Dipl. Wirtschaftsmath. (FH) S. Renger
Dept. Nuclear Engineering / Soft Computing

☎ +49 3583 61-1287

✉ s.renger@hszg.de

© IPM, May 2015



Vorwort

Diese Broschüre der IPM-Fachgebiete Kerntechnik/Soft Computing und Messtechnik/Prozessautomatisierung gibt einen Überblick zu den Referenzen und Versuchsanlagen, die in einer Vielzahl verschiedener öffentlicher und industrieller Projekte entwickelt wurden. Die in der Broschüre dargestellten Versuchsanlagen wurden mit finanziellen Mitteln des Bundes (BMWi; BMBF) errichtet.

Preamble

This booklet published by the IPM-departments "Nuclear Engineering/Soft Computing" and "Measuring Technology/Process Automation" presents an overview of the test facilities designed and built up in different research projects. The test facilities presented in this booklet were built with the financial aid of the Federal Republic of Germany (BMWi; BMBF).

Fachgebietsleiter / Head of department

*Nuclear Engineering/Soft Computing
Kerntechnik/Soft Computing*



Prof. Dr.-Ing. W. Kästner

☎ +49 3583 61-1553

✉ w.kaestner@hszg.de

*Measuring Technology/Process Automation
Messtechnik/Prozessautomatisierung*



Prof. Dr.-Ing. A. Kratzsch

☎ +49 3583 61-1282

✉ a.kratzsch@hszg.de

Forschungsprofil der Fachgebiete

- Anlagen- und Reaktorsicherheit:
Thermohydraulik, Reaktordynamik, Modellierung, Simulation
- Partikelströmung:
Anwendung Bildverarbeitung, PIV, methodische und experimentelle Untersuchungen
- Soft Computing:
Fuzzy Set Theorie, Fuzzy Control, Fuzzy Systeme, Künstliche Neuronale Netze, genetische Algorithmen
- Prozessautomatisierung:
Energie- und Verfahrenstechnik, sicherheitsgerichtete Leittechnik
- Messtechnik:
Füllstands-, Dampfgehalts-, Druck- und Temperaturmessung, Strömungsmesstechnik
- Unsicherheitsanalysen, Zustandsüberwachung und Intelligente Signalvalidierung
- Regelungstechnik, Prozessführung: Energie- und Verfahrenstechnik
- Nichtlineare dynamische Systeme:
Fraktale Algorithmen, zelluläre Automaten, MultiAgenten-Systeme, Chaostheorie
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen:
Zweiphasenströmungen Wasser/Dampf/Inertgase
- Simulationstechnik: Simulationssoftware ATHLET, RELAP, CFX, COCOSYS

Referenzen

- Experimentelle und theoretische Untersuchungen für die Zertifizierung von Modifikationsanforderungen in Deutschen Kernkraftwerken (im Auftrag der Betreiberfirma oder direkt durch die technische Abteilung)
- Erstellen von Prüfberichten (z.B. für TÜV, Behörden)
- Realisierung von periodisch wiederkehrenden Inspektionen
- Ingenieurarbeiten in Bezug auf Prozess-, Mess- und Automatisierungsaufgaben
- Design von Versuchsanlagen entsprechend industrieller Anforderungen
- Simulation von Unfall- und Betriebstransienten (ATHLET)
- Unsicherheitsanalysen von Simulationen
- Anpassung/Erweiterung von Simulationssoftware: Entwicklung und Implementierung von mathematisch-physikalischen Modellen für spezielle Industrieanforderungen (z.B. Kraftwerksprozesse)
- Verifikation und Validierung von Simulationcodes, z.B. ATHLET, CFX
- Anwendung des Qualitätsstandards ISO 9001:2008 innerhalb der wissenschaftlich-technischen Tätigkeiten

Research profiles and focus of the departments

- Power plant and reactor safety:
thermohydraulics, modelling, simulation, reactor dynamics
- Particle flow: image processing, PIV, methodical and experimental investigations
- Soft Computing: Fuzzy set theory, fuzzy control, fuzzy systems, artificial neural networks, genetic algorithms
- Process automation:
Energy and process engineering, safety-oriented instrumentation and control
- Measuring technologies:
Liquid level, steam content, pressure, temperature and flow measurement
- Uncertainty analyses, monitoring and intelligent signal validation
- Process control: processes in power and process engineering
- Nonlinear dynamic systems:
fractal algorithms, cellular automata, multi-agent systems, chaos theory
- Theoretical and experimental investigations:
Two-phase flows water/steam/inert gases
- Simulation technology: Software tools ATHLET, DynStar, SimSys, ANSYS CFX

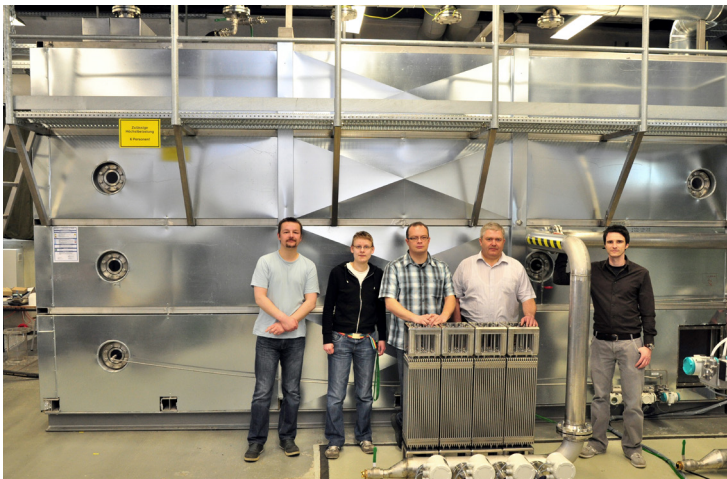
References

- Experimental and theoretical investigations for the certification of modification requests in German nuclear power plants (financed by operating company or directly with the technical department)
- Authoring of auditable final reports (TÜV, authorities)
- Realisation of recurring inspections
- Engineering treatments concerning process, measurement and automation tasks
- Design of test facilities by industrial requirements
- Simulation of accidents and operating transients (ATHLET)
- Uncertainty analysis of simulations
- Adaptation/extension of simulation tools: development and implementation of mathematical and physical models for special industrial applications (e.g. power plant processes)
- Validation and verification of simulation codes, e.g. ATHLET, CFX
- Application of quality standard ISO 9001:2008 within scientific and technical operations

Zittauer Strömungswanne (ZSW)

Der Versuchsstand dient der Untersuchung des Integralverhaltens einer Kühlmittelströmung im Falle eines Kühlmittelverluststörfalls. Die Geometrie des vereinfachten Sumpfmodells wurde auf Grundlage eines generischen deutschen Druckwasserreaktors skaliert.

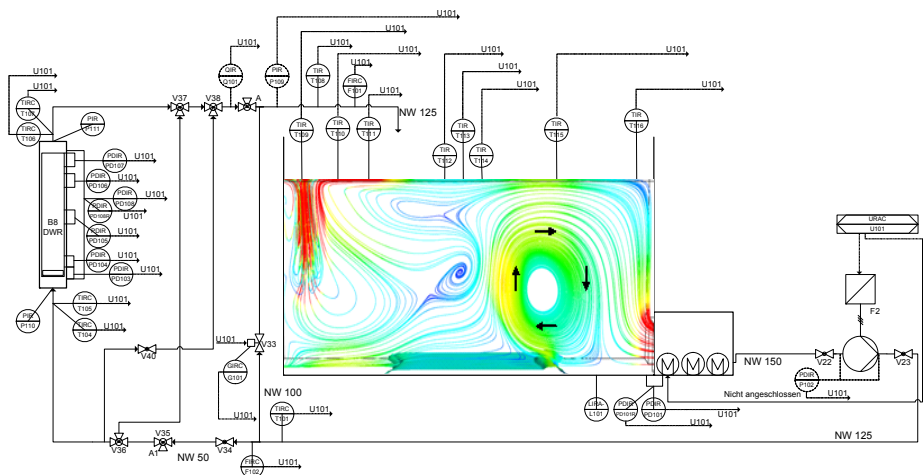
- Korrosionsbeständige Materialien (Edelstahl, Plexiglas), d.h. Temperaturbeständigkeit bis 80 °C Medientemperatur
- Länge der ZSW mit 6,0 m entspricht etwa einer mittleren Strecke vom Leckstrahleneintritt bis zum Containmentsumpfsieb in DWR-Anlagen
- Füllhöhe von 2,6 m entspricht einem vergleichbaren Füllstand im Containmentsumpf in DWR-Anlagen nach Kühlmittelverluststörfall in der Phase des Sumpfumwälzbetriebes (maximales Volumen: 18 m³)
- Umwälzpumpe ist so ausgelegt, dass entsprechende Leerrohrgeschwindigkeiten an der Rückhaltevorrückungen wie in DWR-Anlagen eingestellt werden können
- Möglichkeit der Anordnung von „down stream“ Komponenten (Feinfilter, BE-Dummy) hinter variierbaren Rückhaltevorrückungen, die vor dem Ansaugkasten angebracht sind.



Zittau Flow Tray (ZFT)

The geometry and dimensions of a simplified sump model were scaled up on the basis of a generic PWR according to german PWR conditions. Upstream generic PWR sump data in front of the sump strainer were selected on the following basis:

- Original dimension of the generic reactor sump height up to 3.0 m
- Original flow path length for the time taken to transport the debris from the break location to the sump strainer up to 5.5 m
- Simplified rectangular flow cross section in the upstream region without obstacles
- Volume dependent scaling of sump strainer surface area (superficial velocity), pump volume flow
- Stable temperature (up to 70°C) and chemical resistant materials like stainless steel and acrylic glass
- Possibility of embedding down stream components in the loop like fine filter, fuel assemblies behind a strainer



Brennelemente-Dummy

Der verkürzte Brennelemente-Dummy besteht aus:

- 16x16 Brennstabdummies, 20 Kontrollstäben, drei Abstandshaltern
- BE-Kopf, BE-Fuß mit 3x3 mm debris-screen filter (IDF)

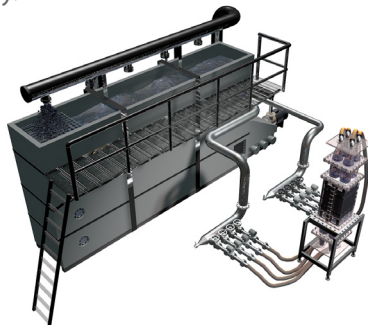
Der BE-Dummy ist mit einem Gehäuse aus Plexiglas umhüllt und kann an die Zittauer Strömungswanne angeschlossen werden. Experimente ermöglichen das Messen und Aufzeichnen der Differenzdrücke über den BE-Fuß, die Abstandshalter, den BE-Kopf sowie den gesamten BE-Dummy.

Brennelemente-Cluster

Vier verkürzte BE-Dummies mit separaten Ein- und Auströmbereichen, bestehend aus:

- 16x16 Brennstabdummies, 20 Kontrollstäben, zwei Abstandshaltern
- BE-Kopf, BE-Fuß mit 3x3 mm, integrierter Debris-Filter (IDF)
- separat einstellbare Massenströme für jeden Dummy
- 8 magnetisch induktive Durchflussmesser zur Messung der Massenströme an jeder einzelnen Ein- bzw Ausströmung

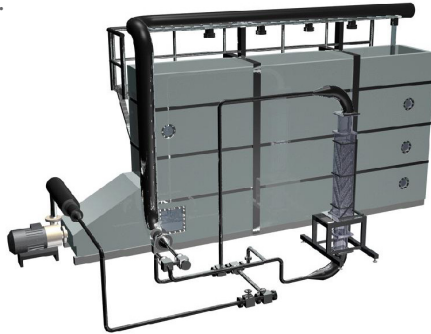
Die BE-Dummies sind mit einem Gehäuse aus Plexiglas umhüllt und können an die Zittauer Strömungswanne angeschlossen werden. Mögliche Konfigurationen für die Untersuchung der Quervermischung sind 2x2 und 1x4. Die Messtechnik ist identisch zum Einzel BE-Dummy.



Schema des Versuchsstandes „Zittauer Strömungswanne“ mit Brennelemente-Cluster
Scheme of test facility „Zittau Flow Tray“ including Fuel assembly cluster

PWR-Fuel Assembly (FA)

The fuel assembly-dummy is encased in an acrylic glass housing and can be connected to the “Zittau Flow Tray”. Experiments allow the measuring and recording of differential pressures (head losses) across the FA-bottom, the spacers, the FA-head and the complete FA.

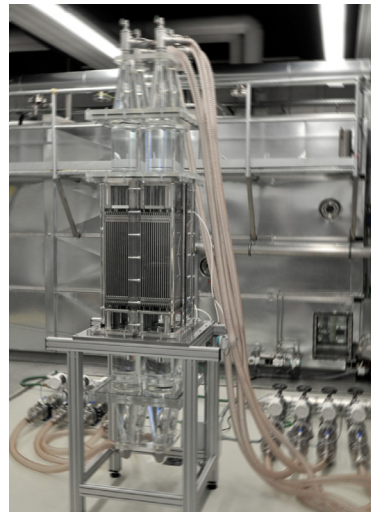


Schema des Versuchsstandes „Zittauer Strömungswanne“ mit Brennelemente-Dummy
Scheme of test facility „Zittau Flow Tray“ including Fuel assembly clummy

PWR-Fuel Assembly Cluster

Four shortened PWR-FA-dummies with separated in- and outlets:

- 16x16 fuel rod dummies,
- 20 control rod simulators, two spacers
- FA-head, FA-bottom with an integrated 3x3 mm debris-screen filter (IDF)
- Controllable mass flow rates for each dummy
- 8 magnetic inductive flow meters for measurement of the flow rate at every single in- and outlet



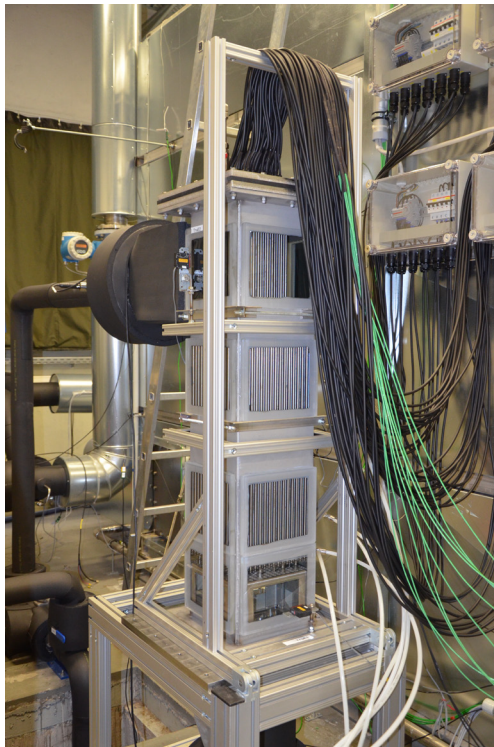
The FA-dummies are encased in an acrylic glass housing and can be connected to the “Zittau Flow Tray”. Possible configurations for the investigation of the cross mixing are 2x2 or 1x4. The measurements are identical with the single FA-dummy.

Teilbeheizter Brennelemente Dummy

Der verkürzte teilbeheizte Brennelemente-Dummy ist mit einem Edelstahlgehäuse umhüllt und kann an die Zittauer Strömungswanne angeschlossen werden. Das Gehäuse ist mit 15 Borosilikatgläsern zur Observierung der Heizstabkonfiguration ausgestattet.

Der teilbeheizte verkürzte BE-Dummy besteht aus:

- 16x16 Brennstabdummies, 56 davon beheizt
- Thermoelemente in ausgewählten Heizstäben
- Thermoelemente in ausgewählten Kühlkanälen
- 20 Steuerstabführungsrohre
- 2 Abstandshalterebenen
- BE-Kopf, BE-Fuß mit 3x3 mm debris-screen filter (IDF)

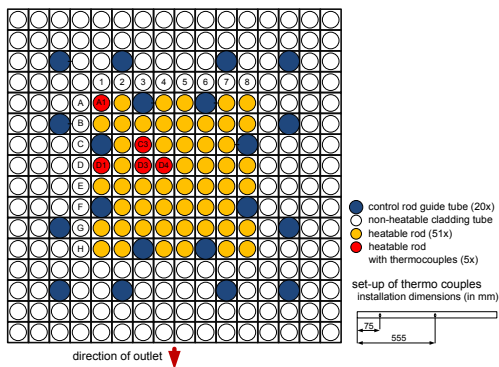


Partly heated PWR-Fuel Assembly (FA)

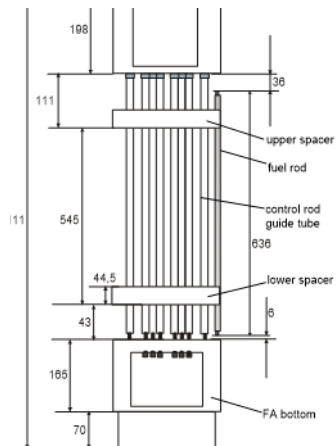
This partly heated shortened fuel assembly-dummy is encased in stainless steel housing with 15 borosilicate glass observation windows and can be connected to the “Zittau Flow Tray”. Experiments allow the measuring and recording of differential pressures (head losses) across the FA-bottom, the spacers, the FA-head and the complete FA and the observation of agglomerations at the heated rods.

The partly heated shortened PWR-FA-dummy consists of

- 16x16 fuel rod dummies, 56 of them heatable
- thermocouples in selected heating rods
- 20 control rod guide tubes
- 2 spacers
- FA-head, FA-bottom with an integrated 3x3 mm debris-screen filter (IDF)



*Heizstabanordnung im DWR BE-Dummy (Draufsicht)
heating rod configuration inside a PWR FA dummy
(top view)*

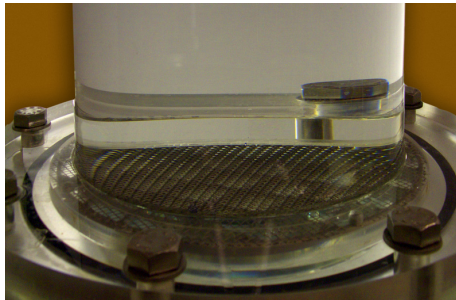


*Abmessungen des DWR BE-Dummy
Dimensions of the PWR FA dummy*

Ringleitung II (RL 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 der Versuchsanlage sind:

- Optische Kontrolle und Anwendung der Digitalen Bildverarbeitung an den Plexiglas-Komponenten
- Analyse des Penetrationsverhaltens von Isolationsmaterial durch Rückhaltevorrichtungen bei verschiedenen Volumenströmen
- Integraleexperimente zur Analyse des Sedimentations- und Resuspensionsverhaltens bei verschiedenen Volumenströmen
- Analyse des Anlagerungsverhaltens verschiedener Isolationsmaterialien an Brennelemente-Dummys



*Horizontalsieb in einem Plexiglas-Segment des Versuchsstandes „Ringleitung II“
Horizontal strainer within a plexiglass segment of test facility „Ringline II“*

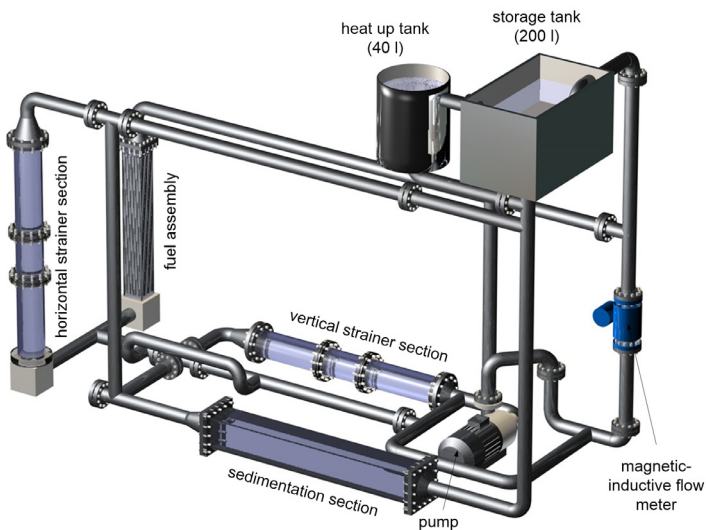


*Durch Filtration an der Rückhaltevorrichtung entstandener Filterkuchen
Filter cake caused by filtration through the retention system*

Ring Line II (RL II)

The Ring Line II allows the analysis of additional pressure loss caused by released solid particles (e.g. insulation material) accumulating on horizontal and vertical retaining devices (strainers, perforated sheets) in two-phase flows (particles, water). The main characteristics of this test facility are:

- Visual monitoring and the use of image processing systems at acrylic glass segments
- Analysis of penetration behaviour of insulation material through retaining devices at different flow rates
- Integral experiments including analysis of sedimentation and re-suspension behaviour at different flow rates
- Analysis of accumulation behaviour of different insulation materials at a fuel assembly dummy



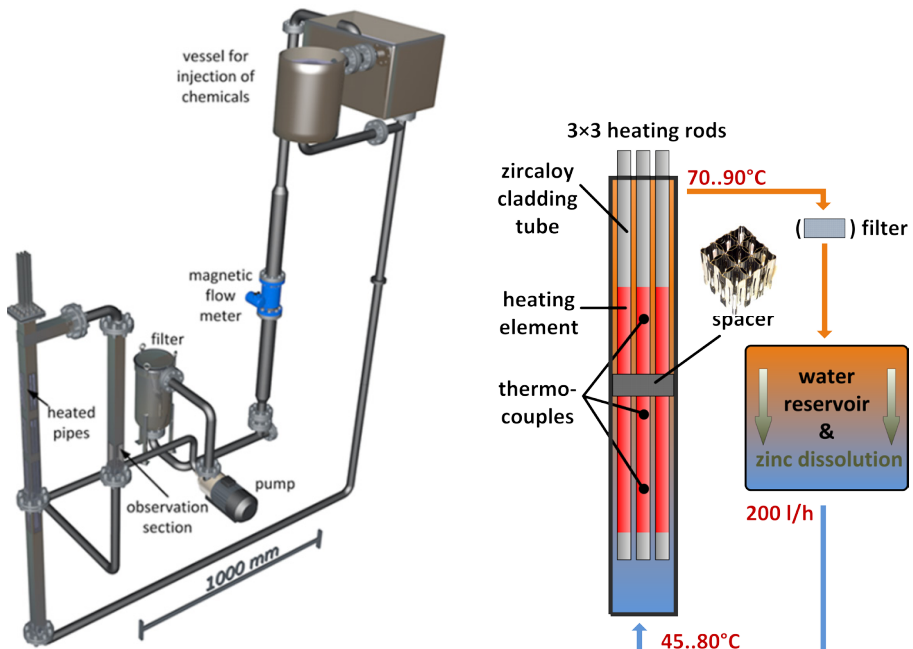
Schematische Darstellung der „Ringleitung II“
Scheme of the test facility „Ring Line II“

Ringleitung II mit 3×3 Heizstabkonfiguration

Der modulare Aufbau der Anlage beinhaltet eine 3×3 Heizstabkonfiguration, die in den Strömungskreislauf eingebunden werden kann.

- Heizstäbe gefertigt aus Zirkaloy
- Thermoelemente in unterschiedlichen Höhenpositionen in ausgewählten Heizstäben
- Möglichkeit der Einbindung von original Abstandshaltern
- Edelstahlgehäuse mit hitze- und druckbeständigen Beobachtungsfenstern aus Borosilikatglas auf verschiedenen Höhenpositionen

Die Konfiguration der Anlage ermöglicht Untersuchungen zu der Eigenschaften von Fluiden und chemischer Prozesse infolge von Temperaturänderungen an Heizflächen, im Speziellen beim Sumpfumwälzbetrieb infolge eines Kühlmittelverluststörfalles.



Schematische Darstellung der „Ringleitung II“ mit 3×3 Heizstabkonfiguration

Scheme of the test facility „Ring line II“ equipped with a 3×3 heating rod configuration

Ring Line II with 3×3 heating rods

The modular set-up of Ring Line II contains a 3×3 heating rod configuration that can be embedded in the loop.

- cladding tubes made of zircaloy
- thermocouples at several height positions in selected rods
- integration of real spacer segments
- the rod configuration is placed in a separate metal housing, containing several observation windows made of heat and pressure resistant borosilicate glass

The configuration allows the investigation of change of consistency and chemical properties of the coolant water during the sump recirculation operation after a loss of coolant accident, e.g.:

- analysis of zinc concentration increase (Zn^{2+} ions in dissolution),
- separation of layer-forming zinc compounds (e.g. zinc borate) at hotspots (fouling at fuel assemblies)
- crystallization of zinc corrosion products out of the coolant in hot areas
- chemical transformation of zinc borate to nearly indissoluble zinc oxide by thermo hydrolysis



Anlagerung von Zinkborat an den Heizstäben und Abstandshalter

Separation of layer-forming zinc compounds (e.g. zinc borate) at hotspots (fouling at fuel assemblies)

Versuchsanlage „Unterkühltes Sieden“

Die Versuchsanlage wurde zur Untersuchung verschiedener Wärmeübergangsphänomene bei unterschiedlichen Siedezuständen und Parametern konstruiert. Besonderheiten der Anlage sind:

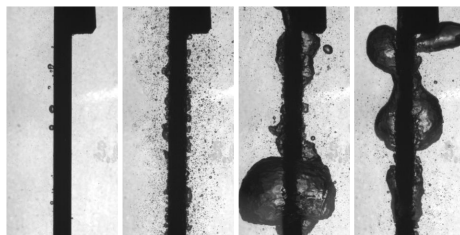
- Rechteckiger Strömungskanal: Testsektion mit optischen Zugang
- Borsilikatglas für optischen Zugang zur Heizfläche
- Kalziumfluoridfenster als Rückwand mit einer elektrisch leitfähigen und optisch transparenten Beschichtung



*Foto der Versuchsanlage „Unterkühltes Sieden“
Photo of test rig „Subcooled boiling“*

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.



Dampfbblasenentwicklung an der Heizfläche des Versuchsstandes bei steigender Wärmestromdichte

Development of steam bubbles at the test facility heating surface at increasing heat flux density

Subcooled Boiling Test Rig

This test facility is constructed to generate boiling bubbles on different heated surfaces with artificial and statistic nucleation sites for subcooled flow boiling. Characteristics of this test facility are:

- Rectangular flow channel: Test section with full optical access
- Borosilicate glass for optical access to the heating surface
- Calcium fluoride window as back panel with an electrically conductive and optically transparent coating

The test chamber allows the analysis of the evaporation cycle of single bubbles with optical measurement methods like high speed videometry and optical coherence tomography.

Furthermore, the surface temperature distribution of the heated surface can be monitored with infrared thermography during the ebullition cycle of the bubble. The result of these experiments will be used for the development of wall boiling models to simulate geometrically independent heat transfer phenomena during nucleate boiling.

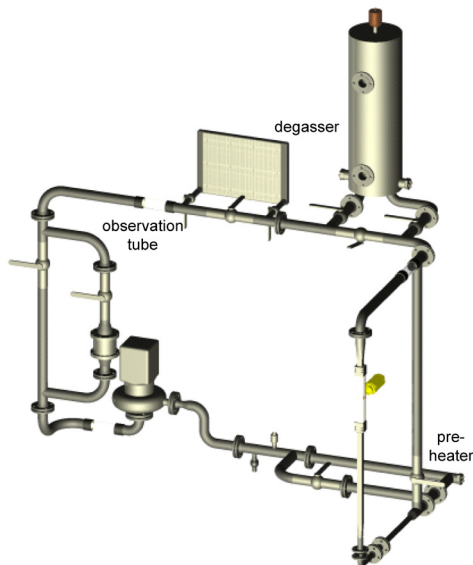


Illustration der Versuchsanlage "Unterkühltes Sieden"
Scheme of the test facility "Subcooled Boiling"

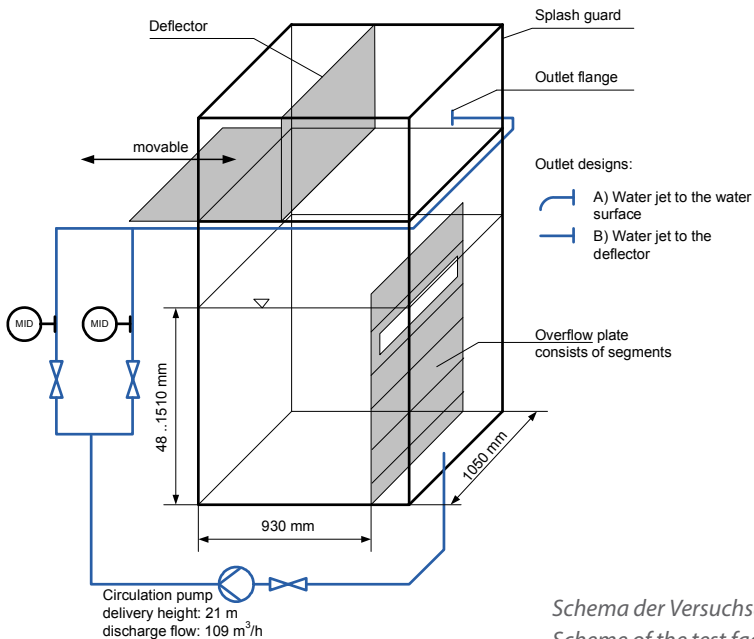
Tank

Dieser Plexiglastank dient der experimentellen Analyse von Wasserstrahl-Effekten:

- Lufteintrag in eine Wasservorlage
- Strömungsprofil in der Wasservorlage
- Korrosion verzinkter Gitterroste
- Resuspension von Isolationsmaterial

Die Versuchsanlage ermöglicht:

- Modifikation der Randbedingungen (e.g. Massenstrom, Wassertemperatur)
- Anwendung verschiedener Methoden der Strömungsmessung (z.B. Particle Image Velocimetry, Laser-Doppler Anemometry)
- Anwendung von Algorithmen der Digitalen Bildverarbeitung



Schema der Versuchsanlage „Tank“
Scheme of the test facility „Tank“

Tank

An acrylic glass tank is applied for the experimental analysis of water jet effects on

- Air entrainment into a water seal
- Flow field in a water seal
- Corrosion of hot dip galvanized plated grates
- Re-suspension of insulation material

The test facility allows

- Modification of boundary conditions (e.g. flow rate, fluid temperature)
- Application of flow measuring methods (e.g. Particle Image Velocimetry, Laser-Doppler Anemometry)
- Application of digital image processing algorithms

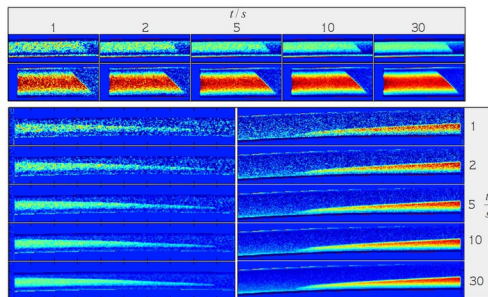


*Versuchsanlage „Tank“
Picture of the test facility “Tank”*

Versuchsanlage zur hydrostatischen Füllstandsmessung

Die Anlage dient der Untersuchung hydrostatischer Füllstandsmesssysteme, bei denen die Phasengrenzfläche Wasser/Dampf in leicht geneigten, dünnen Rohrleitungen (Nullkammerpegelgefäß, NKPG) den Referenzfüllstand repräsentiert. Die Experimente dienen einer Untersuchung der Stabilität des Referenzfüllstandes bei Siedewasserreaktor-Parametern ($T = 286\text{ °C}$, $p = 70\text{ bar}$) für unterschiedliche Randbedingungen:

- Rohrrinnendurchmesser (Variation durch Adapter)
- Rohrneigungswinkel (Variation durch einen neigbaren Versuchsaufbau)
- Schweißnähte an der Anbindung des NKPG an großvolumige Behälter
- Anwesenheit nichtkondensierender Gase



Röntgenradiografisch gemessene Topologien von Prüfkörpern (Subtraktionsbilder) für unterschiedliche Zeitauflösungen, Rohrrinnendurchmesser (5 mm; 13 mm) und Grenzflächenwinkel (45°; 3°) Level

Topologies of specimen measured with x-ray radiography (subtraction images) for various time resolutions, inner tube diameters (5 mm; 13 mm) and interface angles (45°; 3°)

Da die Gas/Liquid-Phasengrenzfläche empfindlich auf mechanische Einflüsse reagiert, wird in Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) die vollständig nichtinvasive Röntgen-Radiografie zur Visualisierung der Phasenverteilung verwendet. Die experimentellen Daten dienen der:

- Analyse von Übergangsprozessen in NKPG und deren Abhängigkeit von geometrischen Bedingungen
- Charakterisierung des Einflusses dynamischer Übergangsvorgänge (z.B. Abfließen von überschüssigem Kondensat, Entlösung nichtkondensierender Gase) auf das hydrostatische Füllstandsmesssystem
- Entwicklung, Optimierung und Validierung des CFD Codes ANSYS CFX 12

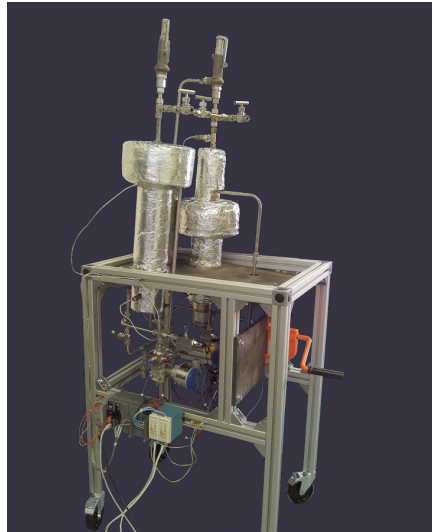
Hydrostatic Level Measurement

This test facility is used for investigations on hydrostatic level measuring systems where the reference level is represented by the water/vapor phase boundary in a slightly inclined miniature tube (Zero Chamber Level Vessel, ZCLV). The experiments aim at analyzing the stability of the reference level at Boiling Water Reactor parameters ($T = 286\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 70\text{ bar}$) for different boundary conditions:

- Inner tube diameter (via adapters)
- Inclination angle (via an inclinable desk)
- Weldments at the junction of miniature tube and large-volume vessels
- Presence of non-condensable gases

Since the gas/liquid interface is very sensitive towards mechanical influences, in cooperation with the Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), the completely non-invasive x-ray radiographic imaging technique is applied for visualizing the phase distribution. The experimental data is used for:

- Analysis of transition processes in ZCLV and their dependence on geometric constraints
- Characterization of the impact of dynamic transitions (e.g. draining of excess condensate mass, dissolution of non-condensable gases) on the hydrostatic level measuring system
- Generation, improvement and validation of the CFD code ANSYS CFX 12



Versuchsanlage zur hydrostatischen Füllstands-messung

Hydrostatic Level Measurement Test Facility

Ringkanal

Dieser Plexiglasversuchsstand wurde für die Untersuchung des Transportes von Isolationsmaterial in einer horizontalen Wasserströmung entwickelt.



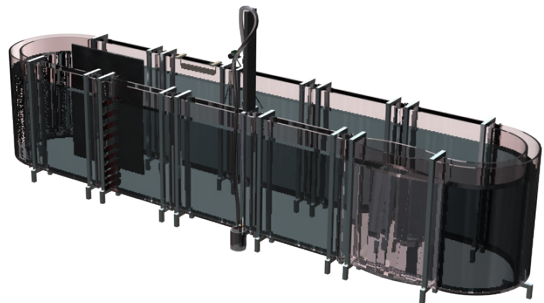
Aufnahme des Versuchsstandes „Ringkanal“
Picture of test facility "Ring Channel"

Die Untersuchungen beinhalten:

- Wassergrundströmung in einem Kanal
- Sink- und Resuspensionverhalten von Partikeln
- Einfluss von Einbauten (z.B. Wehren) auf Mehrphasenströmungen

Die folgenden Messsysteme/-verfahren können am Versuchsstand verwendet werden:

- Particle Image Velocimetry
- Laser-Doppler Anemometry
- Digital Imaging
- Ultraschallsensoren
- Trübungssensoren



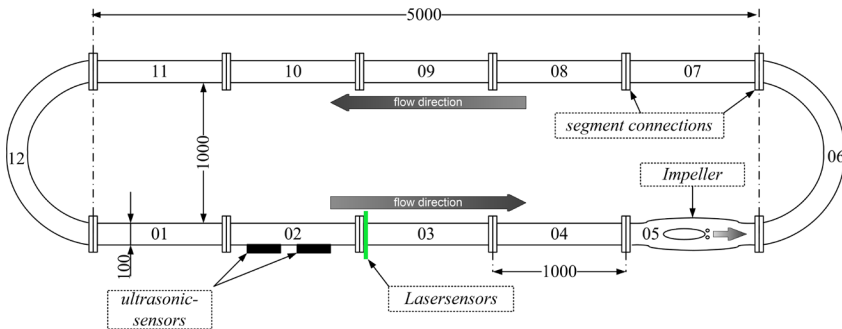
Schema des Versuchsstandes „Ringkanal“
Scheme of test rig „Ring Channel“

Ring Channel

The acrylic glass construction of the Ring Channel was developed for the observation of the insulation material transport in horizontal flows.

The investigations cover

- Pure water flow in a channel
- Settling and re-suspension behaviour of debris
- Influence of geometric modifications (weirs) on particle-laden flows



*Abmessungen des „Ringkanals“ mit ausgewählter Messtechnik
Scheme of the “Ring Channel” with selected measuring equipment*

The following measurement technologies and techniques can be used at the channel:

- Particle Image Velocimetry
- Laser-Doppler Anemometry
- Digital Imaging
- Ultrasonic Sensors
- Laser Turbidity Sensors

Druckhalter

Versuchsstand für die Analyse von Phänomenen in thermo-hydraulischen Zweiphasenströmungen (Abblasen, Ausdampfen, Kondensation).

Ziele:

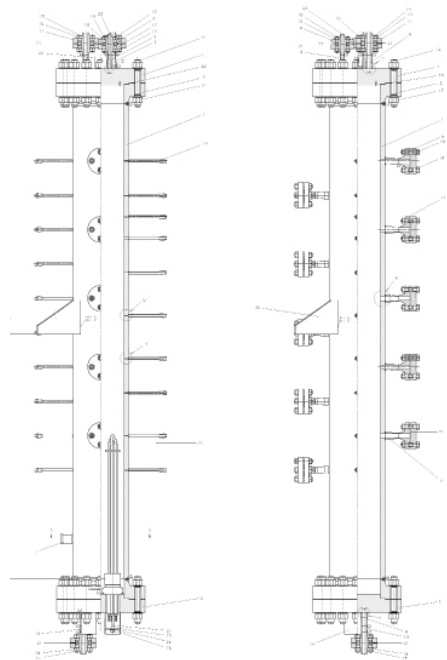
- Erstellung einer Datenbasis zur Validierung von Simulationscodes (ATHLET, RELAP, CFD-codes)
- Entwicklung und Test von innovativer Zweiphasenströmungs- und Füllstandsmesstechnik unter Kraftwerksparametern
- Anwendung intelligenter Signalverarbeitungsmethoden (modellbasiert, Soft Computing Modelle und Diagnosealgorithmen)
- Analyse von Kontrollsystemen und -modellen
- Verwendung als Dampferzeuger für andere Versuchsanlagen (HORUS, Fragmentierung)

Auslegungsparameter

Leistung: 32 kW (elektrische Heizung)
Druck: 16 MPa
Temp.: 350 °C
Volumen: 175 l
Medien: Wasser, Dampf,
nicht verdichtbare Gase

Design Parameters

Power: 32 kW (electrical heating)
Pressure: 16 MPa
Temp.: 350 °C
Volume: 175 l
Media: water, steam,
noncondensable gases



Schema der Versuchsanlage
Scheme of the test facility

Pressurizer Test Facility

Test facility for analysis of thermal-hydraulic two-phase flow phenomena (blow down, evaporation, condensation).

Aims:

- Generation of validation data bases for simulation software (ATHLET, RELAP, CFD-codes)
- Development and testing of innovative two-phase flow and level measuring systems under power plant parameters
- Application of intelligent signal processing methods (model based, Soft Computing models and diagnosis algorithms)
- Analysis of control systems and schemes
- Application as steam generator for external test facilities (HORUS, Fragmentation)



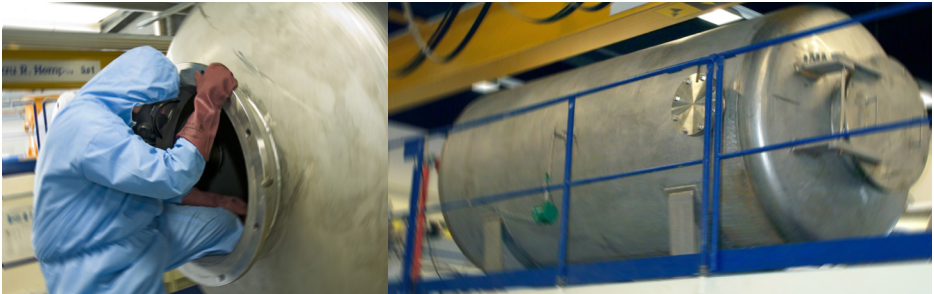
Aufnahme des Versuchsstandes
Image of the test facility

Fragmentierungsanlage

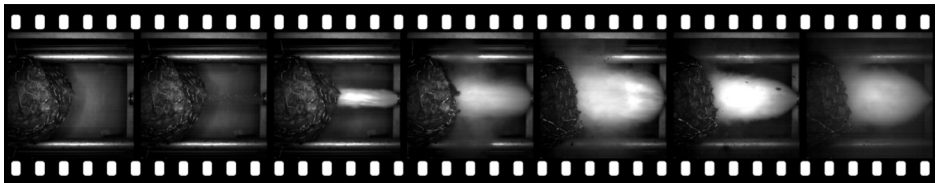
- Untersuchung von hochenergetischen Freistrahlen
- Fragmentierung von Isolationsmaterial und Test von Isolationsmaterialkassetten unter Randbedingungen eines Kühlmittelverluststörfalles (LOCA)
 - gesättigter Dampf bis 7 MPa (SWR-LOCA)
 - gesättigtes oder unterkühltes Wasser bis 12 MPa (DWR-LOCA)

Die Versuchsanlage besteht aus einem rostfreien Edelstahlbehälter mit einem Volumen von 5.8 m^3 (zur Installation von Isolationsmaterialproben oder -kassetten)

- Kopplung mit der Druckhalterversuchsanlage
- Glasfenster zur Prozessbeobachtung mit einer Hochgeschwindigkeitskamera



Fragmentierungsbehälter
Fragmentation container



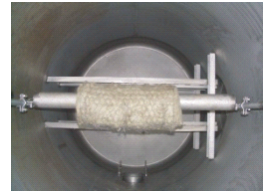
Beobachtung des Dampfstrahls während der Fragmentierung
Observation of the steam jet during fragmentation

Fragmentation Test Rig

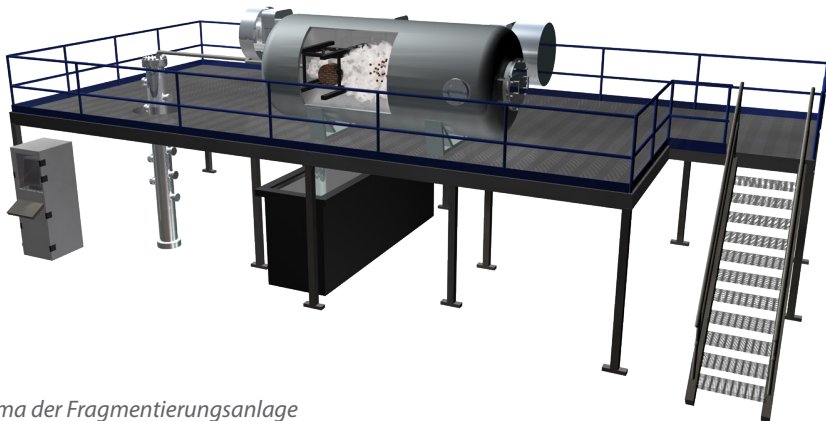
- Investigation of high energy jet streams
- Fragmentation of insulation materials under Loss-of-coolant Accident (LOCA) conditions
 - saturated steam up to 7 MPa (BWR-LOCA)
 - saturated or subcooled water up to 12 MPa (PWR-LOCA)

The test facility consists of a stainless steel container with a volume of 5.8 m³ (for installation of insulation material specimens (targets or cassettes))

- Connection to the Pressurizer Test Facility
- Glass window for process observation with a high speed camera



*Isolationsmaterial vor und nach der Fragmentierung
Insulation material before and after fragmentation*



*Schema der Fragmentierungsanlage
Scheme of the „Fragmentation Test Rig“*

Säule

Der Plexiglasversuchsstand Säule repräsentiert eine gerade Sedimentationsstrecke von 3 m Höhe.

Besonderheiten:

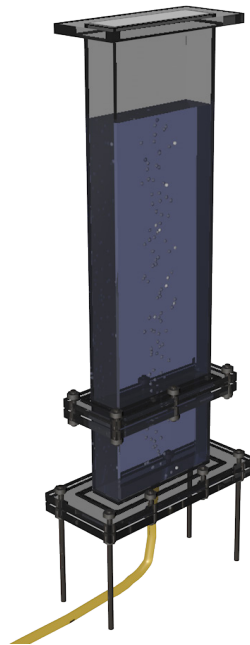
- Untersuchungen zum Sinkverhalten von Partikeln
 - Sinkgeschwindigkeit
 - Partikelgrößenverteilung
- Beobachtung mit Kameras
- Öffnungen in verschiedenen Höhen zur Probeentnahme

Blasensäule

Die Blasensäule ist ein Plexiglasversuchsstand zur Untersuchung von aufsteigenden Gasblasen in Bezug auf

- Blasenverteilung
- Blasengrößen
- Aufstiegsgeschwindigkeiten

mit einer Makrokamera.



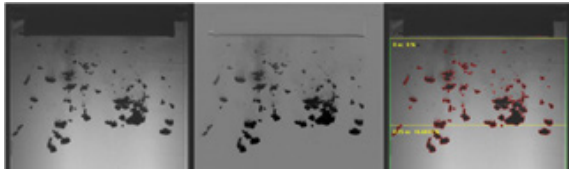
*Schema der Blasensäule
Scheme of the bubble column*

Column

The Column is an acrylic glass rig which represents a straight sedimentation line of 3 m height.

Characteristics:

- Investigation of the sinking behavior of particles
 - settling rate / sinking velocity
 - distribution of particle sizes
- Observation with cameras
- Nozzles at different heights for sample taking



Untersuchung des Partikelsinkverhaltens mittels digitaler Bildverarbeitung

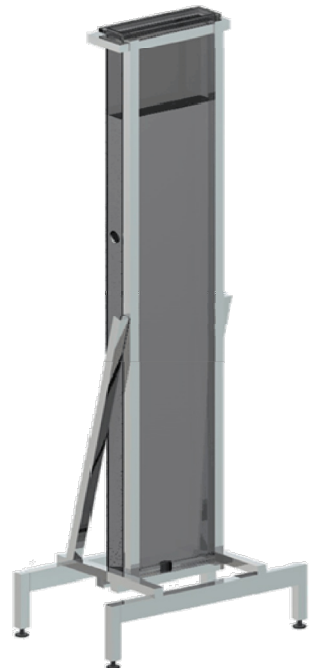
Investigation of particle sinking behavior with digital image processing

Bubble Column

The Bubble Column is an acrylic glass rig for the investigation of rising gas bubbles regarding

- Bubble distribution
- Bubble sizes
- Rising velocities

with macro camera.

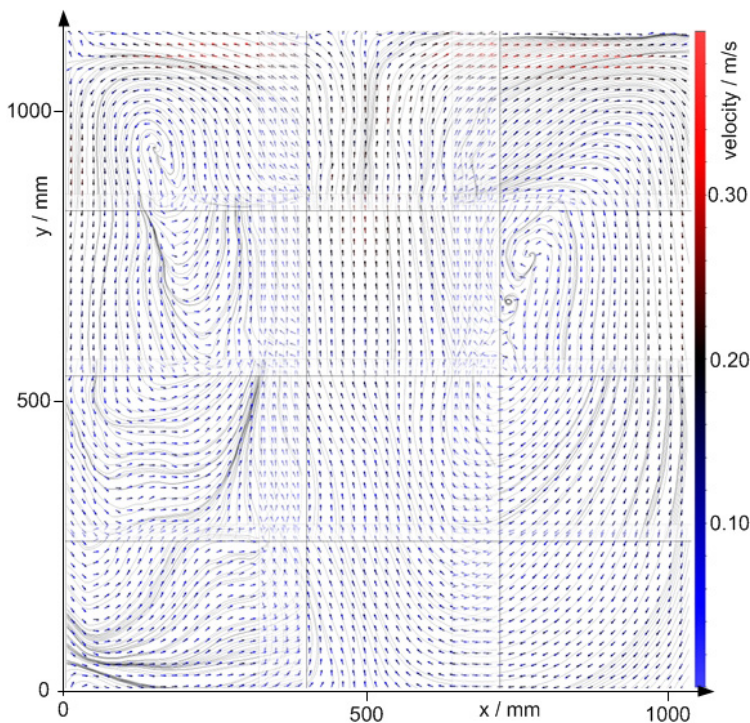


Schema des Versuchsstandes „Säule“
Scheme of test facility "Column"

Particle Image Velocimetry

PIV ist eine optische Methode der Strömungsvisualisierung. Der Einsatz des PIV-Systems erfolgt z.B. zur Messung von

- Lokalen Geschwindigkeiten in einer Kanalströmung
- Turbulenzen
- Strömungsprofilen im VS „Tank“, induziert durch einen Leckstrahl



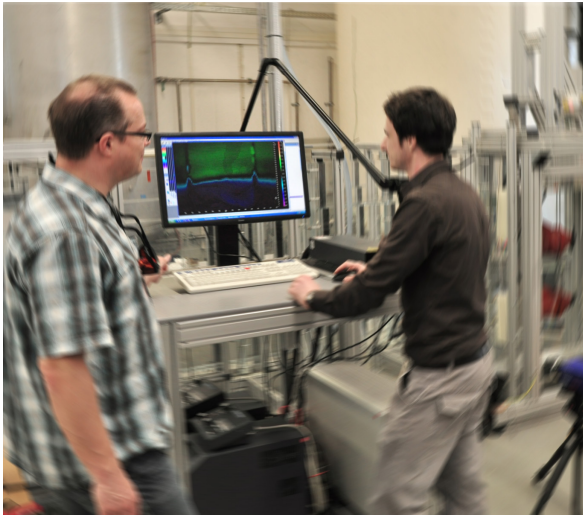
Gemessenes Strömungsprofil im Versuchsstand „Tank“ im Fall eines Leckstrahls
Measured flow profile in the test rig “Tank” in case of a plunging jet

Measurement Equipment

Particle Image Velocimetry

PIV is an optical method of flow visualisation. The PIV system is used for measurement of

- Local velocities in channel flows
- Turbulences
- Flow profiles in the tank, induced by plunging jets



PIV-System am Versuchsstand „Ringkanal“
PIV-system at the test rig "Ring Channel"

Messtechnik

Infrarotkamera

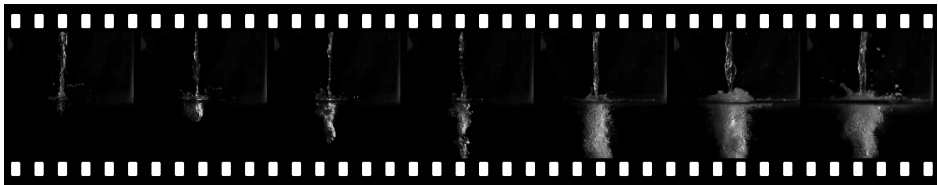
- Bildwiederholfrequenz: 60 Hz
- Temperatursensitivität: 50 mK
- Auflösung : 320 x 240 px
- 2 Temperaturbereiche: -20 to 120 °C and 0 to 350 °C
- Spektralbereich: 7.5 - 13 μm
- Nahbereich: 100 μm / Pixel



Highspeedkamera *

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

- 5,000 fps bei maximaler Auflösung, bis zu 195,000 fps bei reduzierter Auflösung
- Mobiler Einsatz (interne Batterie)



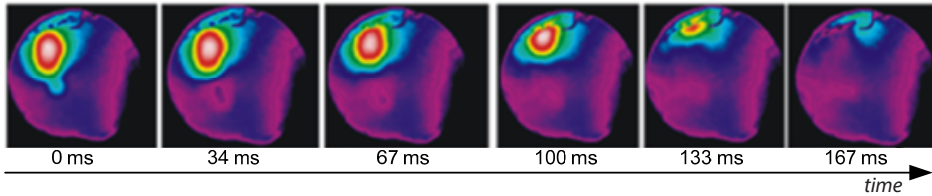
** in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technologieentwicklung, Torf- und Naturstoff-Forschung (ITN) (Prof. Dr. Ing. J. I. Schoenherr)*

** in cooperation with the Institute for Peat and Natural Matter Research (Prof. Dr. Ing. J. I. Schoenherr)*

Measurement Equipment

Infrared Camera

- Frame rate: 60 Hz
- Temperature sensitivity: 50 mK
- Resolution : 320 x 240 px
- 2 temperature ranges: -20 to 120 °C and 0 to 350 °C
- Spectral range: 7.5 - 13 μm
- Close range lens: 100 μm / Pixel



Thermografische Aufnahmen der Rückseite einer elektrisch beheizten Metallfolie bei Dampfblasenablösungen auf der Vorderseite

Thermographic measurement of the backside of an electrically heated metal foil during bubble detachment on the front side

Highspeed Camera *

Capturing of fast dynamical processes and moving objects, such as air bubbles in case of a plunging jet, free jet, particles transported in flows

- 5,000 fps at full resolution, up to 195,000 fps at reduced resolution
- Mobile usage (internal battery)



Messtechnik

Digitales Mikroskop

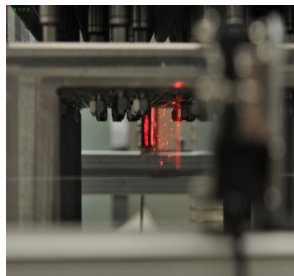
- 2.1 Megapixel CCD Sensor
- Teleobjektiv für die hochauflösende Aufnahme mit einer Vergrößerung von 20x bis 200x
- Tiefenschärfezusammenstellung
- Echtzeit-Bildoptimierung



*Mikroskopie-Arbeitsplatz
Microscopy work station*

Lasersensoren

- Erfassung und Größenbestimmung von Festkörpern
- Messung von Massenkonzentrationen über die Höhe einer horizontalen Strömung
- Höhenmessung von Sedimenten



*Einsatz der Lasersensoren am Versuchsstand „Ringkanal“
Application of laser sensors at test rig „Ring Channel“*

Measurement Equipment

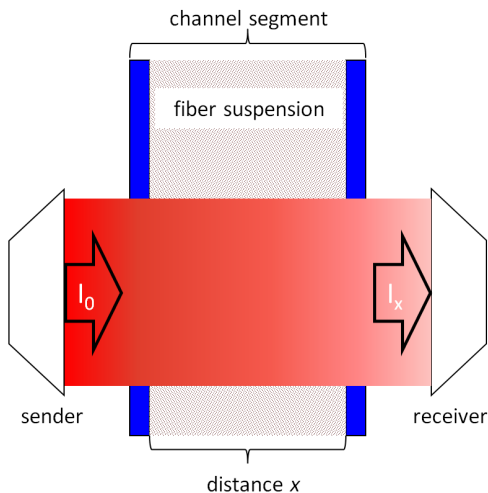
Digital Microscope

- 2.1 megapixel CCD sensor
- Telephoto zoom lens for high resolution observation with standard magnification from 20x up to 200x
- Depth of Field Composition
- Real-time image improvement



Laser Sensors

- Detection and size determination of solid objects
- Measurement of debris mass concentration over the height of a horizontal flow
- Measurement of the height of sediments



Schema des Versuchsaufbaus zur Messung von Massenkonzentrationen in horizontalen Strömungen (Darstellung im Querschnitt)

Scheme of the experimental set-up for measuring mass concentrations in horizontal flows (cross section depiction)

Software-Tools und Kompetenzen

DynStar

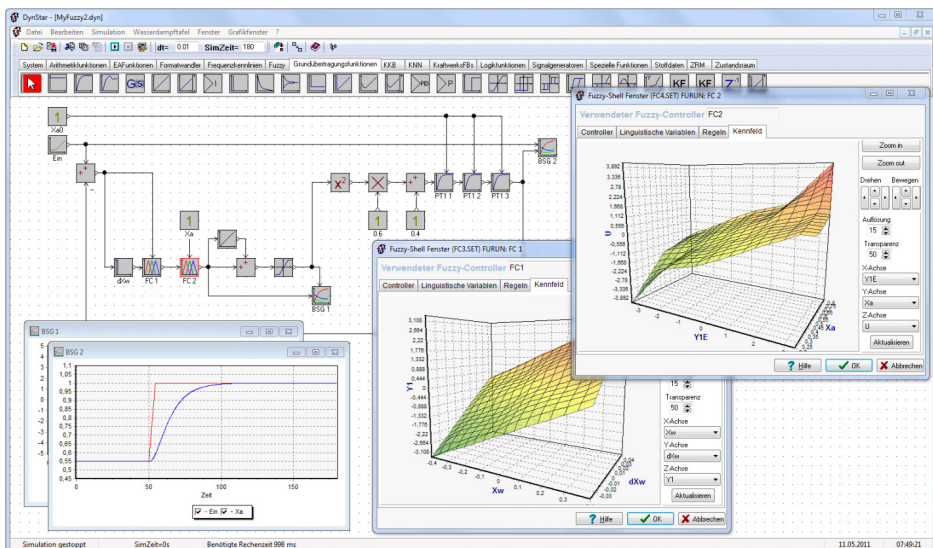
Am IPM entwickelte Simulationssoftware.

Einsatzbereiche:

- Modellierung und Simulation des statischen und dynamischen Systemverhaltens
- Simulation von Mess-, Steuer- und Regelungssystemen
- Datenerfassung und Aufzeichnung (ereignisgesteuert, zeitgesteuert)
- Prozessbedienung und -beobachtung

Besonderheiten:

- Umfangreiche Funktionsblockbibliothek
- Integrierte Fuzzy Shell
- Verschiedene Schnittstellen (Ein-/Ausgabekarten, TCP/IP, Seriell, ...)
- Bildung von Makros (Anlagenteilmodell als Funktionsblock)



Oberfläche des Simulationssystems DynStar
User interface of the DynStar simulation system

Software Tools and Competences

DynStar

Simulation Software developed by IPM.

Fields of application:

- Modelling and simulation of processes based on algebraic and differential equations
- Simulation of the static and dynamic process behaviour
- Simulation of measurement and control systems
- Data capture and recording (event-driven, time-driven)
- Process control and observation

Characteristics:

- Comprehensive function block library
- Integrated fuzzy shell
- Different interfaces (input/output cards, TCP/IP, Serial bus, ...)
- Macros (system component model as a function block)



Logo der Simulationssoftware DynStar
Logo of DynStar simulation software

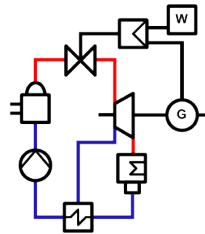
Software-Tools und Kompetenzen

SimSys

SimSys ist eine vom IPM in Zusammenarbeit mit der BTU (Brandenburgische Technische Universität) und Vattenfall entwickelte anwenderorientierte Simulationssoftware für die Simulation des statischen und dynamischen Verhaltens kraftwerkstechnischer Prozesse.

SimSys beinhaltet folgende dynamische Einzelmodelle kraftwerkstechnischer Komponenten:

- Rohre
- Pumpen
- Wärmetauscher
- Turbinen
- Dampferzeuger
- Armaturen



Logo der Simulationssoftware SimSys
Logo of simulation software SymSys

ATHLET

Analysis of Thermal-hydraulics of **L**eaks and **T**ransients
(entwickelt von der GRS)

- 1D-Modellierung von thermohydraulischen Prozessen
- Modellierung und Analyse von Kontroll-, Sicherheits- und Messsystemen, Neutronenkinetik, Wärmetransport
- Umfangreiche Erfahrungen in der Simulation von Betriebs- und Störverhalten von SWR und DWR
- Know-how in der Modellentwicklung für Einzeleffekte, z.B. Dampfkondensation in horizontalen Rohren in Gegenwart nichtkondensierbarer Gase
- Code-Validierung für Einzeleffekte und Integraleexperimente (z.B. DHVA, HORUS, PACTEL-Simulationen)
- Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen von Modellparametern
- Modellierung und Analyse von Messsystemen und Prozessregelungskomponenten

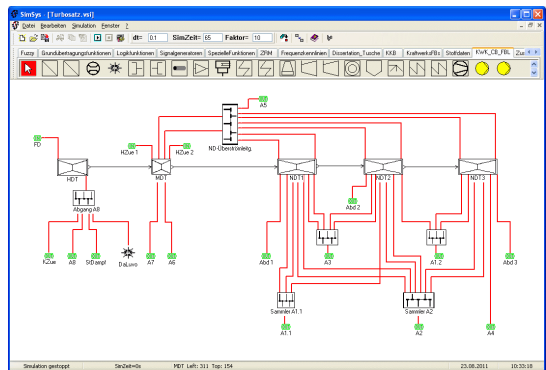
Software Tools and Competences

SimSys

SimSys is a user-optimized simulation software for applications engineering and operating behaviour analysis of power generating units, developed by IPM in co-operation with BTU (Brandenburgische Technische Universität) and Vattenfall. Static and dynamic behaviour of power plant processes can be simulated. Included dynamic single models for power generating components are:

- Pipes
- Pumps
- Heat exchangers
- Turbines
- Steam generators
- Fittings

Simulationsbeispiel einer Turbine
Simulation example of a turbine



ATHLET

Analysis of Thermal-hydraulics of LEaks and Transients
(developed by GRS)

- 1D-modelling of thermal-hydraulic processes
- Modelling of control, safety and measurement systems, neutron kinetics, heat transport
- Extensive experiences in simulation of operational and accidental behaviour for PWR and BWR
- Know-how in model development for separate effects, e.g.:
Steam condensation in horizontal tubes with presence of non-condensable gases
- Code validation for separate effects and integral experiments (e.g. DHVA, HORUS, PACTEL simulations)
- Uncertainty and sensitivity analysis of model parameters
- Modelling and analysis of measurement systems and process control components

Software-Tools und Kompetenzen

Computational Fluid Dynamics (CFD) mit ANSYS CFX

3D-Simulationscode für hydraulische- und thermohydraulische Prozesse.

Erfahrungen in der Simulation von

- Strömungsphänomenen in den Versuchsanlagen
- Mehrphasenströmungen, z.B. Partikeltransport in Strömungen
- Phasengrenzflächen von Wasser/Luft

Für Simulationen steht ein institutseigenes Rechencluster zur Verfügung.

LabVIEW

Die **L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench (entwickelt von National Instruments) wird für Mess-, Kontroll- und Regelungssysteme der Versuchsanlagen verwendet.

- Überwachung und Regelung der Versuchsanlagen mit Programmable Logic Controllers (PLC)
- Benutzeroberfläche zur Visualisierung und Kontrolle mit LabView
 - Übersicht zu den aktuellen Versuchsstandsparametern
 - Schnelle Anpassung an neue Randbedingungen



*Überwachung und Regelung der Versuchsanlage „Zittauer Strömungswanne“
Monitoring and control of test facility “Zittau Flow Tray”*

Software Tools and Competences

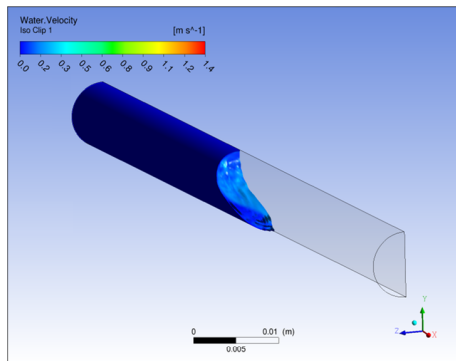
Computational Fluid Dynamics (CFD) with ANSYS CFX

3D-simulation code for hydraulic and thermal-hydraulic processes.

Experience in simulation of

- Flow phenomena of the test facilities
- Multiphase flows, e.g. particle transport
- Interfacial area of water/air

The simulations can be performed on the institute's own computer cluster.



Simulation der Grenzfläche Wasser/Luft
Simulation of interfacial area of water/air

LabVIEW

The **L**aboratory **V**irtual **I**strumentation **E**ngineering **W**orkbench (developed by National Instruments) is used for the measuring, control and regulation systems of the institute's test facilities.

- Instrumentation control and regulation of the test facilities with programmable logic controllers (PLC)
- User Interface for the visualisation and control in LabView
 - Overview of the current test facility conditions
 - Fast adaptation for new test scenarios

Software-Tools und Kompetenzen

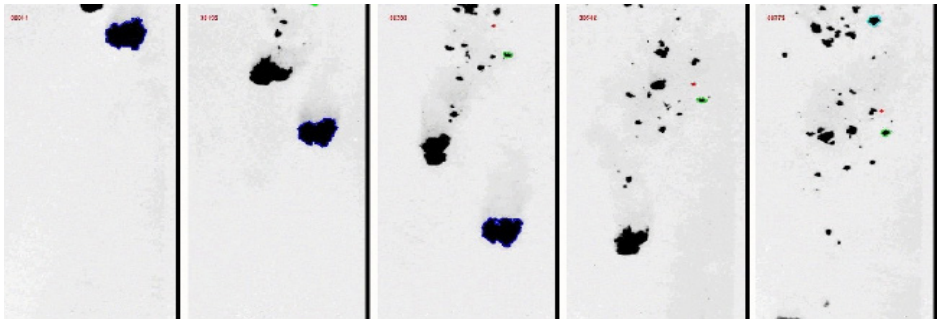
Digitale Bildverarbeitung

Algorithmenentwicklung und Anwendung mit HALCON* und OpenCV, z.B.

- Vergleichen
- Morphologie
- Zählen und Messen
- 3D-Vision

Unser Institut bietet:

- Analyse von Mehrphasenströmungen, z.B.:
 - Partikel / Fasern
 - Luftblasen
 - Dampf
- Sedimentanalysen
- Texturanalysen
- Qualitätskontrolle, z.B. visuelle Inspektion von Verpackungen
- Mikroskopische Analysen



Zeitabhängiges Sinkverhalten von Partikeln während eines Experimentes am Versuchsstand „Säule“

Time-dependent behaviour of settling particles during an experiment at “Column” test rig

**entwickelt von der MVTec Software GmbH*

Ausgewählte Veröffentlichungen/Selected Publications

Im Folgenden sind ausgewählte Veröffentlichungen der letzten Jahre aufgelistet:
The following list shows selected publications of the last years:

- **Kryk, H.; Hoffmann, W.; Kästner, W.; Alt, S.; Seeliger, A.; Renger, S.:**
Zinc corrosion after loss-of-coolant accidents in pressurized water reactors – Physicochemical effects. Nuclear Engineering and Design Volume 280, 2014
- **Seeliger, A.; Alt, S.; Kästner, W.; Renger, S.:**
Formation of zinc corrosion products at waterchemical PWR post-LOCA conditions - thermo- and fluid-dynamic effects. Proceedings of the Annual Meeting on Nuclear Technology, 06.-08. Mai, 2014, Frankfurt a.M., Germany
- **Renger, S.; Seeliger, A.; Alt, S.; Kästner, W.; Fiss, D.:**
Investigation of conditions for zinc particle release and transport in the reactor core. Proceedings of the 21th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE21), July 29 - August 2, 2013, Chengdu, China
- **Alt, S., Hölker, M., Hoffmann, W., Kästner, W., Kratzsch, A., Kryk, H., Renger, S.:**
Chemical effects and the impact to insulation debris filter cakes at ECCS upstream and downstream components. 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Toronto, Canada, 2011
- **Alt, S., Hampel, R., Kästner, W., Kratzsch, A., Renger, S., Seeliger, A., Zacharias, F., Cartland-Glover, G., Grahn, A., Hoffmann, W., Krepper, E., Kryk, H.:**
Generic experiments at the sump model „Zittauer Strömungswanne“ (ZSW) for the behaviour of mineral wool in the sump and the reactor core. Independent Journal for Nuclear Engineering, Vol. 76, No. 1, S. 20-29, Carl Hanser Verlag, 2011
- **Renger, S.; Kästner, W.; Krepper, E.:**
Transport of fragmented insulation material in a small channel. ICONE 17, 2011
- **Gocht, T.; Kratzsch, A.; Kästner, W.; Knitt, U.; Koring, R.:**
Experimentelle Analyse der Rückhaltung von wassergetragenen fragmentiertem Isolationsmaterial für verschiedene Rückhaltevorrichtungsgeometrien. Jahrestagung Kerntechnik 2011, Berlin, 2011
- **Kratzsch, A.; Renger, S.; Kästner, W.; Krepper, E.; Hampel, R.:**
Influence of an impinging jet on sedimented debris. Proceedings of ICONE18, International Conference on Nuclear Engineering, May 17.- 21., 2010, Xi'an, China, 2010

Weitere Publikationen sind auf der Homepage des IPM zu finden

<http://ipm.hszg.de/institut/publikationen.html>

Find other publications on the IPM website

<http://ipm.hszg.de/en/institute/publikationen.html>

Notes/Notizen



innovative
practical & market-oriented



Address

University of Applied Sciences
Zittau/Görlitz

Institute of Process Technology,
Process Automation and
Measuring Technology (IPM)

P.O. Box 1455
D-02754 Zittau, Germany

Tel.: +49(0)3583 61-1383

Fax: +49(0)3583 61-1288

E-mail: ipm@hszg.de

Internet: www.hszg.de/ipm

