

KIT
Universität des Landes Baden-Württemberg
und
nationales Forschungszentrum
in der Helmholtz-Gemeinschaft

PTE-N Nr. 3

BMBF geförderte FuE zu
„Nukleare Sicherheitsforschung“

Berichtszeitraum: 1. Januar - 30. Juni 2011

Projektträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung
PTKA-WTE

Oktober 2011

PTE-Berichte

Der Projektträger Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) informiert mit Fortschrittsberichten über den aktuellen Stand der von ihm administrativ und fachlich betreuten FuE.

Die Fortschrittsberichtsreihen behandeln folgende Themenschwerpunkte:

- Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen
(PTE Nr. x seit 1991, fortlaufend)
- Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen
(PTE-S Nr. x seit 2001, fortlaufend)
- Nukleare Sicherheitsforschung
(PTE-N Nr. x seit 2010, fortlaufend)

Die Fortschrittsberichtsreihen sind online verfügbar:

www.ptka.kit.edu/wte/287.php

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren bzw. die entsprechenden Forschungsstellen. Das KIT übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

Vorwort

Das KIT betreut im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) Referat 722 als Projektträger FuE-Vorhaben auf dem Gebiet „Nukleare Sicherheitsforschung“.

Die „Nukleare Sicherheitsforschung“ ist einer der Förderschwerpunkte des BMBF-Förderkonzeptes „Grundlagenforschung Energie 2020+“ und umfasst FuE-Aktivitäten zu den Themenbereichen Sicherheitsforschung für Kernreaktoren, Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung und Strahlenforschung.

Jeder Fortschrittsbericht stellt eine Sammlung von Einzelberichten über Zielsetzung, durchgeführte Arbeiten, erzielte Ergebnisse, geplante Weiterarbeiten etc. dar, die von den Forschungsstellen selbst als Dokumentation ihres Arbeitsfortschritts in einheitlicher Form erstellt werden.

Der Fortschrittsbericht wird vom Projektträger *halbjährlich* herausgegeben, um alle Beteiligten aktuell über die durchgeführten Arbeiten zu informieren.

Dem Bericht liegt folgendes Gliederungsprinzip zugrunde:

- Im Teil 1 sind die FuE-Vorhaben dem jeweiligen Themenbereich zugeordnet.
- Im Teil 2, dem Hauptteil, sind die „formalisierten Zwischenberichte“ der FuE-Vorhaben, geordnet nach Themenbereichen, aufgeführt.
- Im Teil 3 sind die ausführenden Forschungsstellen alphabetisch aufgelistet.

Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen.....	1
1.1	<i>Sicherheitsforschung für Kernreaktoren</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung</i>	<i>3</i>
1.3	<i>Strahlenforschung</i>	<i>5</i>
2	Formalisierte Zwischenberichte	11
2.1	Sicherheitsforschung für Kernreaktoren	11
2.2	Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung.....	53
2.3	Strahlenforschung.....	83
3	Verzeichnis der ausführenden Forschungsstellen.....	185

1 Verzeichnis der Fördervorhaben gemäß FuE-Themenbereichen

1.1 Sicherheitsforschung für Kernreaktoren

02 NUK 009A	Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Strömung und Struktur in Leichtwasserreaktoren; TP: Strukturmechanische Modellierung für gekoppelte Strömungs-Struktur-Simulationen	Materialprüfanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut	📖 12
02 NUK 009B	Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Strömung und Struktur in Leichtwasserreaktoren; TP: Strömungsmechanische Modellierung für gekoppelte Strömungs-Struktur-Simulationen	Universität Stuttgart	📖 14
02 NUK 009C	Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Thermische Ermüdung in Kraftwerkkomponenten - Charakterisierung und Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen; TP: Lebensdauerbewertung mit atomistischen und schädigungsmechanischen Werkstoffmodellen	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG)	📖 16
02 NUK 009D	Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: TP: Numerische Simulation und experimentelle Charakterisierung des Ermüdungsrischwachstums unter thermozyklischer Beanspruchung	TU Darmstadt	📖 18
02 NUK 009E	Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Thermische Ermüdung in Kraftwerkkomponenten; TP: Charakterisierung und Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen, Lebensdauerbewertung mit mikromechanischen Werkstoffmodellen	Materialprüfanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut	📖 20
02 NUK 010A	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Entwicklung von CFD-Modellen für Wandsieden und Aufbau eines Bündeltests mit hochauflösender, schneller Röntgentomographie	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.	📖 22
02 NUK 010B	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Turbulenz und Blasendynamik	TU Dresden	📖 24
02 NUK 010C	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Experimentelle Untersuchung von Siedevorgängen mit optischen Verfahren und Parameterbestimmung für CFD-Rechnungen an kleinskaligen Versuchsständen	Hochschule Zittau/ Görlitz	📖 26

02 NUK 010D	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Übertragung der CFD-Wandsiedemodelle zur Anwendung in Lumped Parameter-Codes zur Beurteilung der RDB-Außenkühlung	Ruhr-Universität Bochum	📖 28
02 NUK 010E	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Einfluss von Turbulenz und Sekundärströmungen auf das unterkühlte Strömungssieden in reaktortypischen Konfigurationen	TU München	📖 30
02 NUK 010F	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Valisierung von Unterkanal- und CFD-Programmen anhand von Brennstab-Bündelversuchen	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	📖 32
02 NUK 010G	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: CFD-Modellentwicklung und Validierung für die 3-dimensionale Simulation von Siedevorgängen in Brennelementen von DWR	ANSYS GmbH Germany	📖 34
02 NUK 010H	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Experimentelle Untersuchung des Einflusses reaktorspezifischer Kühlmittelzusätze auf Siedevorgänge	TU Dresden	📖 36
02 NUK 010I	Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Darstellung von Siedevorgängen mittels PIV und Optischer-Kohärenz-Tomographie	TU Dresden	📖 38
02 NUK 011A	Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt A	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG)	📖 40
02 NUK 011B	Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt B	TÜV NORD SysTec GmbH & Co KG, Hamburg	📖 42
02 NUK 011C	Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt C	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München	📖 44
02 NUK 011D	Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt D	Technische Universität Hamburg-Harburg	📖 46
02 NUK 011E	Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt E	TU München	📖 48
02 NUK 111F	Kooperationsprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen - Condensation Induced Water Hammer	Universität der Bundeswehr München, Neubiberg	📖 50

1.2 Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung

- | | | | |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 02 NUK 012A | Verbundprojekt Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide (Partitioning); TP: Strukturelle Charakterisierung von Actinidenkomplexen sowie Screening neuer Partitioningliganden | Sondervermögen
Großforschung beim
Karlsruher Institut
für Technologie
(KIT) | 📖 54 |
| 02 NUK 012B | Verbundprojekt Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide (Partitioning); TP: Synthese und Charakterisierung von f-Element-Komplexen | Karlsruher Institut
für Technologie
(KIT) | 📖 56 |
| 02 NUK 012C | Verbundprojekt Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide (Partitioning); TP: Synthese, Struktur und Eigenschaften von Actinid-Komplexverbindungen mittels maßgeschneiderten Chelatliganden | Friedrich-Alexander-
Universität Erlan-
gen-Nürnberg | 📖 58 |
| 02 NUK 012D | Verbundprojekt Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide (Partitioning); TP: Spektroskopische Untersuchungen zur Stabilität und Koordination von Aktinidkomplexen mit ausgewählten Extraktionsliganden | Ruprecht-Karls-
Universität Heidel-
berg | 📖 60 |
| 02 NUK 012E | Verbundprojekt Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide (Partitioning); TP: Stabilitätsuntersuchungen und Entwicklung von kontinuierlichen Prozessen | Forschungszentrum
Jülich GmbH | 📖 62 |
| 02 NUK 013A | Verbundprojekt Transmutationsrelevante kernphysikalische Untersuchungen mit Einsatz moderner technologischer und numerischer Methoden; TP: Neutroneninduzierte Spaltung und andere transmutationsrelevante Prozesse | Forschungszentrum
Dresden-Rossendorf | 📖 64 |
| 02 NUK 013B | Verbundprojekt Transmutationsrelevante kernphysikalische Untersuchungen mit Einsatz moderner technologischer und numerischer Methoden | TU Dresden | 📖 66 |
| 02 NUK 013D | Verbundprojekt Transmutationsrelevante kernphysikalische Untersuchungen mit Einsatz moderner technologischer und numerischer Methoden; TP: Gamma-Imaging mit hochsegmentierten Germaniumdetektoren | Universität zu Köln | 📖 68 |

02 NUK 013E	Verbundprojekt Transmutationsrelevante kernphysikalische Untersuchungen mit Einsatz moderner technologischer und numerischer Methoden; TP: Herstellung und Nutzung von Aktinidentargets	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	📖 70
02 NUK 013F	Verbundprojekt Transmutationsrelevante kernphysikalische Untersuchungen mit Einsatz moderner technologischer und numerischer Methoden; TP: Ultrasensitive Nachweismethoden für Radionuklide	TU München	📖 72
02 NUK 014A	Verbundprojekt Partitioning II: Multifunktionelle Komplexbildner mit N, O, S-Donorfunktionen für d- und f-Elemente	TU Dresden	📖 74
02 NUK 014B	Verbundprojekt Partitioning II: Multifunktionelle Komplexbildner mit N, O, S-Donorfunktionen für d- und f-Elemente	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	📖 76
02 NUK 014C	Verbundprojekt Partitioning II: Multifunktionelle Komplexbildner mit N, O, S-Donorfunktionen für d- und f-Elemente	Universität Leipzig	📖 78
02 NUK 033	TCAP-Neutronenflussstandard und Untersuchungen zur Messung inelastischer Neutronenstreuquerschnitte	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig	📖 80

1.3 Strahlenforschung

02 NUK 001A	Verbundprojekt: DNA-Strahlenschäden: Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden: Dynamik der Reparaturfaktoren an lokalisierten Schäden	GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt	📖 84
02 NUK 001B	Verbundprojekt: DNA-Strahlenschäden: Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden: Untersuchungen über Backup Mechanismen der DSB Reparatur	Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen	📖 86
02 NUK 001C	Verbundprojekt: DNA-Strahlenschäden: Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden: Mechanismen an komplexen Läsionen	TU Darmstadt	📖 88
02 NUK 002A	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	📖 90
02 NUK 002B	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Helmholtzzentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Oberschleißheim	📖 92
02 NUK 002C	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Friedrich-Schiller-Universität Jena	📖 94
02 NUK 002D	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen; TP: Transport und Verfügbarkeit von Uran und langlebigen Zerfallsprodukten in Auenböden der Mulde und Elbe	Leibniz Universität Hannover	📖 96
02 NUK 002E	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen; TP: Der Einfluss radioaktiver Kontaminationen auf mikrobielle Gemeinschaften in Böden	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	📖 98
02 NUK 002F	Verbundprojekt: Strahlung und Umwelt: Ausbreitungspfade von Radionukliden in Luft, Wasser, Boden; TP: Wechselwirkung von Uran(VI) mit Biofilmen	TU Dresden	📖 100

02 NUK 003A	Verbundprojekt UV-Strahlenschäden: Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung; Teilprojekt: Telomerschädigung und genomische Instabilität bei UV-induzierten Hautcarcinogenese	Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg	📖 102
02 NUK 003B	Verbundprojekt UV-Strahlenschäden: Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung; Teilprojekt: Alterungskorrelierte Prozesse der UVA-induzierten Hautkarzinogenese	Universitätsklinikum Ulm	📖 104
02 NUK 003C	Verbundprojekt UV-Strahlenschäden: Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung; Teilprojekt: Mitochondriale Schäden	Institut für Umweltmedizinische Forschung gGmbH an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	📖 106
02 NUK 003D	Verbundprojekt UV-Strahlenschäden: Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung; Teilprojekt: Epigenetische Veränderungen, Schadensinduktion, Prozessierung und Reparatur	Elbe Kliniken Stade-Buxtehude, Stade	📖 108
02 NUK 004A	Verbundprojekt Strahlentherapie: Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie: Von der molekularen Radio-Onkologie der Zelle bis zur Patientenbestrahlung mit Schweren Ionen	Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg	📖 110
02 NUK 004C	Verbundprojekt Strahlentherapie: Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie: Von der molekularen Radio-Onkologie der Zelle bis zur Patientenbestrahlung mit Schweren Ionen	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	📖 112
02 NUK 004D	Verbundprojekt Strahlentherapie: Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie: Modulation von Zelltodantworten zur gezielten Verbesserung der Strahlenwirkung	Ludwig-Maximilians-Universität München	📖 114
02 NUK 005A	Verbundprojekt Biodosimetrie: Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und die Analyse der individuellen Strahlensensitivität	Forschungszentrum Jülich GmbH	📖 116
02 NUK 005B	Verbundprojekt Biodosimetrie: Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und die Bestimmung der individuellen Strahlenempfindlichkeit	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf	📖 118
02 NUK 005C	Verbundprojekt Biodosimetrie: Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und die Analyse der individuellen Strahlensensitivität; TP: ATM/ATR Signaltransduktionswege und Strahlenempfindlichkeit in Normal- und Tumor-Zellen	Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen	📖 120
02 NUK 005D	Verbundprojekt Biodosimetrie: Ein systembiologischer Ansatz zur Strahlenbiodosimetrie und der Analyse individueller Strahlenempfindlichkeit	Universität Rostock	📖 122

- | | | | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 02 NUK 006A | Verbundprojekt Schädigungspotential von Radionuklid-
n: Modifikation der molekularen Umgebung von
Radionuklid- und Bildgebung der Radionuklidmar-
kierten Substanz - Target Interaktion im Tiermodell | Forschungszentrum
Dresden-Rossendorf | 📖 124 |
| 02 NUK 006B | Verbundprojekt Schädigungspotential von Radionuk-
liden: TP3: Zytoxizität nach kombinierter interner und
externer Bestrahlung in vitro; TP7: Kombinierte in-
terne und externe Bestrahlung von Tumoren - PhD
Programm; TP8: Wirkung einer internen oder kombi-
nierten internen und externen Bestrahlungsart auf
Normalgewebe | TU Dresden | 📖 126 |
| 02 NUK 006C | Verbundprojekt Schädigungspotential von Radionuk-
liden: Einfluss von EGFR-gerichteten Radionucleotid-
markierten Substanzen auf die DNA-Reparatur nach
externer Bestrahlung | Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf | 📖 128 |
| 02 NUK 006D | Verbundprojekt Schädigungspotential von Radionuk-
liden: Einfluss von EGFR-gerichteten Radionuklid-
markierten Substanzen auf die Signaltransduktion
nach externer Bestrahlung | Eberhard-Karls-
Universität Tübingen | 📖 130 |
| 02 NUK 006E | Verbundprojekt Schädigungspotential von Radionuk-
liden: TP2: Numerische und praktische Dosimetrie;
Dosimetrie für die interne und externe Bestrahlung
von Zellkulturen und Versuchstieren | TU Dresden | 📖 132 |
| 02 NUK 007A | Verbundprojekt Individuelle Strahlenempfindlichkeit
und genomische Instabilität: Die Funktion von zellu-
lären Pathways im Verlauf des Auftretens einer gene-
tischen Instabilität von bestrahltem Gewebe | Helmholtz Zentrum
München Deutsches
Forschungszentrum
für Gesundheit und
Umwelt (GmbH),
Oberschleißheim | 📖 134 |
| 02 NUK 007B | Verbundprojekt Individuelle Strahlenempfindlichkeit
und genomische Instabilität: Machbarkeit einer Studie
zum strahlenbedingten Risiko von Herz-/Kreislauf-
erkrankungen auf Basis des KORA-Patienten-
kollektives | Kommunalunter-
nehmen Klinikum
Augsburg | 📖 136 |
| 02 NUK 007C | Verbundprojekt Individuelle Strahlenempfindlichkeit
und genomische Instabilität: Implikationen für Strah-
lensensitivität und Krebsrisiko | Ludwig-
Maximilians-
Universität München | 📖 138 |
| 02 NUK 007D | Verbundprojekt Individuelle Strahlenempfindlichkeit
und genomische Instabilität: Kindliches Krebsrisiko
nach diagnostischen Strahlenuntersuchungen | Universitätsmedizin
der Johannes-
Gutenberg-
Universität Mainz | 📖 140 |
| 02 NUK 007E | Verbundprojekt Individuelle Strahlenempfindlichkeit
und genomische Instabilität: Einfluss von Rb1 Gen-
Variationen auf die Ausbildung akuter Nebenwirkun-
gen und auf das Auftreten bösartiger Strahlenspät-
schäden nach den bei einer konventionellen Strahlen-
therapie angewendeten Gamma-Dosen | TU München | 📖 142 |

- | | | | |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 02 NUK 008A | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Physikalisch-technische Optimierung und Quantifizierung von CT-Systemen | Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Oberschleißheim | 📖 144 |
| 02 NUK 008B | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Klinische Konzepte zur Minimierung der Strahlentherapie in der CT des Thorax | Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg | 📖 146 |
| 02 NUK 008C | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Präklinische Evaluation innovativer CT- und MRT-Bildgebungsverfahren mit optimierter Strahlenexposition | Klinikum rechts der Isar der TU München | 📖 148 |
| 02 NUK 008D | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Reduktion der Strahlenexposition von Patienten auf dem Gebiet der CT-Angiographie, der Abdomen-CT und der Dual Source CT | Charité - Universitätsmedizin Berlin | 📖 150 |
| 02 NUK 008E | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Individuelle Dosisbestimmung und Berechnung | Carl von Ossietzky Universität Oldenburg | 📖 152 |
| 02 NUK 008F | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Strahlenhygienische Bewertung und Optimierung diagnostischer und therapeutischer Verfahren in der Medizin | Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg | 📖 154 |
| 02 NUK 008G | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen - Reduktion der durch computertomographische Untersuchungen hervorgerufenen Strahlenexposition | Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg | 📖 156 |
| 02 NUK 008H | Verbundprojekt Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen; TP: Entwicklung von Verfahren der tracerkinetischen Analyse der MR-Daten zur Absolutquantifizierung des Blutflusses, der vaskulären Permeabilität und der relativen Verteilungsvolumina | Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Oberschleißheim | 📖 158 |

02 NUK 015A	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt A	Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	📖 160
02 NUK 015B	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt B	Helmholtz Zentrum München Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Oberschleißheim	📖 162
02 NUK 015C	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt C	Friedrich-Schiller- Universität Jena	📖 164
02 NUK 015D	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt D	Leibniz Universität Hannover	📖 166
02 NUK 015E	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt E	Forschungszentrum Jülich GmbH	📖 168
02 NUK 015F	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt F	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	📖 170
02 NUK 015G	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt G	Verein für Kernver- fahrenstechnik und Analytik Rossendorf e. V., Dresden	📖 172
02 NUK 015H	Verbundprojekt Strahlung und Umwelt II: Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen, Teilprojekt H	Universität Bremen	📖 174
02 NUK 016A	Verbundprojekt ISIMEP – Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie; Teilprojekt A	Universitätsmedizin der Johannes Guten- berg-Universität Mainz	📖 176
02 NUK 016B	Verbundprojekt ISIMEP – Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie; Teilprojekt B	Klinikum der Uni- versität München	📖 178
02 NUK 016C	Verbundprojekt ISIMEP – Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie; Teilprojekt C	Universität Bremen	📖 180
02 NUK 016D	Verbundprojekt ISIMEP – Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie; Teilprojekt D	TU Darmstadt	📖 182

2 Formalisierte Zwischenberichte

2.1 Sicherheitsforschung für Kernreaktoren

Zuwendungsempfänger: Materialprüfanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart		Förderkennzeichen: 02 NUK 009A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Strömung und Struktur in Leichtwasserreaktoren; TP: Strukturmechanische Modellierung für gekoppelte Strömungs-Struktur-Simulationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2009 bis 30.09.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.189.390,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Schuler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt ist Teil von 3 Verbundprojekten im übergeordneten BMBF-Verbundvorhaben „Grundlagen des System-, Ausström- und Werkstoffverhaltens von Rohrleitungen bei thermischer Wechselbeanspruchung“, welches im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung als Gesamtziel die Weiterentwicklung und Verbesserung von Simulationsmethoden zur sicherheitstechnischen Bewertung kerntechnischer Komponenten beinhaltet. Unter Berücksichtigung mehrere Längenskalen sollen zum einen Grundlagenuntersuchungen zur gekoppelten Simulation des Strömungs- und Strukturverhaltens unter Anwendung von CFD-Berechnungsverfahren durchgeführt werden, zum anderen mit atomistischen und mikromechanischen Simulationsmethoden werkstoffmechanische Modelle für die Beschreibung der Schädigungsentwicklung eines Werkstoffs unter thermo-mechanischer Belastung entwickelt werden.

Vor diesem Hintergrund befasst sich das Verbundprojekt des IKE und der Materialprüfanstalt (MPA) der Universität Stuttgart mit experimentellen und numerischen Untersuchungen von LWR-spezifischen Rohrleitungselementen zur gekoppelten, dreidimensionalen numerischen Modellierung und Simulation der Strömung-Struktur-Wechselwirkung von thermischen Schichtenströmungen (Kaltwassereinspeisung in heißen Kühlmittelhauptstrom in T-förmiger Rohrverzweigung) und Leckströmungen (Ausströmung und Rissöffnung kleiner Lecks) sowie mit der Validierung der Modelle anhand von Experimenten in einer Versuchsanlage (Kreislauf) unter realitätsnahen Bedingungen (75 bar, 280 °C). Das IKE-Teilprojekt behandelt die messtechnische Erfassung der Strömungsvorgänge im Versuchskreislauf sowie die strömungsmechanische Modellierung (Thermofluidodynamik) mit entsprechenden Simulationsrechnungen, das MPA-Teilprojekt (FKZ: 02NUK009A) umfasst den Aufbau der Versuchsanlage, die messtechnische Erfassung der Strukturbelastungen und die strukturmechanische (Werkstoff/Strukturmechanik) Modellierung mit entsprechenden Simulationsrechnungen. Gemeinsam werden gekoppelte Strömungs-Struktur-Simulationen durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- P.1: Planung Versuchsanlage, im Einzelnen: Anlagenauslegung (P.1.1), Konzeption Messstrecke thermische Vermischung (P.1.2), Konzeption Messstrecke Testleck / Riss (P.1.3).
- P.2: Aufbau Versuchsanlage, im Einzelnen: Beschaffung Komponenten (P.2.1), Einzelanfertigung von Spezialteilen (P.2.2), Aufbau / Abnahme / Inbetriebnahme (P.2.3).
- P.3: Implementierung Messtechnik, im Einzelnen: Messtechnik für Kreislaufsteuerung (P.3.1), Messtechnik für Strömungsuntersuchung (P.3.2), Messtechnik für Strukturuntersuchungen (P.3.3), Installation Messtechnik an Versuchsanlage / Tests (P.3.4).
- P.4: Theorie / Simulation, im Einzelnen: Strömungssimulation thermische Vermischung (P.4.1), Struktursimulation thermische Vermischung (P.4.2), Strömungssimulation Testleck / Riss

(P.4.3), Struktursimulation Testleck / Riss (P.4.4), Gekoppelte Simulation Strömung / Struktur (P.4.5), Vergleich mit Messungen / Interpretation (P.4.6).

P.5: Messungen, im Einzelnen: Thermische Vermischung (P.5.1), Strömung Testleck / Riss (P.5.2).

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

P.1.1: Die Arbeiten zur Anlagenauslegung sind abgeschlossen.

P.1.3: Zur Konzeption Messstrecke Testleck / Riss wurden im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt.

P.2.1: Die Arbeiten zur Beschaffung von Komponenten sind abgeschlossen.

P.2.2: Die Arbeiten zur Beschaffung und Einzelanfertigung von Spezialteilen sind abgeschlossen.

P.2.3: Aufbau und Abnahme des Versuchskreislaufs in der Versuchshalle der MPA. Inbetriebnahme des Versuchskreislaufs in heißem Zustand.

P.3.1: Applikation und Erprobung der Messtechnik (Thermoelemente, Druckaufnehmer) für die Kreislaufsteuerung. Die Arbeiten sind abgeschlossen.

P.3.3: Erste Tests zur Applikation von Thermoelementen in der Wand des T-Abzweigs.

P.4.2: Weiterführung der Parameterstudien (FE Berechnungen) zum Einfluss von Temperaturfluktuationen auf die Beanspruchung zylindrischer Bauteile. FE-Modell für T-Abzweig des Versuchskreislaufs wurde erstellt.

P.4.4: Noch nicht begonnen.

P.4.5: Weitere One-Way-Berechnungen für das T-Stück des Vattenfall-Experiments. Randbedingungen: Einspeisung von 280 °C Wasser von oben über das T-Stück in das Hauptrohr mit 19 °C Wasser. Die Massenströme wurden entsprechend der Geometrie des T-Abzweig des MPA Versuchskreislaufs gewählt. Hierzu wurde eine thermische Strukturberechnung mit linear elastischem und elastisch plastischem Werkstoffverhalten durchgeführt. Durchführung einer Two-Way Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) für den T-Abzweig des Versuchskreislaufs.

P.4.6: Noch nicht begonnen.

P.5.1: Noch nicht begonnen.

P.5.2: Noch nicht begonnen.

P.6: Noch nicht begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

P.1.1: Keine, die Arbeiten sind abgeschlossen.

P.1.3: Einbringen eines Risses in das Versuchsrohr zu einem späteren Zeitpunkt nach Abschluss der Versuche zur thermischen Vermischung.

P.2.1: Keine, die Arbeiten sind abgeschlossen.

P.2.2: Keine, die Arbeiten sind abgeschlossen.

P.2.3: Abschließende Arbeiten zur Inbetriebnahme des Versuchskreislaufs in heißem Zustand.

P.3.3: Weiterführung der Arbeiten zur Applikation von Thermoelementen in der Wand des T-Abzweiges.

P.4.2: Abschließende Arbeiten zum Einfluss von Temperaturfluktuationen auf die Beanspruchung zylindrischer Bauteile.

P.4.5: Weiterführung und Auswertung der Berechnungen zur gekoppelten Simulation von Strömung und Struktur.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart, Keplerstr. 7, 70174 Stuttgart		Förderkennzeichen: 02 NUK 009B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Strömung und Struktur in Leichtwasserreaktoren; TP: Strömungsmechanische Modellierung für gekoppelte Strömungs-Struktur-Simulationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 bis 30.04.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 1.304.415,00 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Kulenovic	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt ist Teil von 3 Verbundprojekten im BMBF-Verbundvorhaben „Grundlagen des System-, Ausström- und Werkstoffverhaltens von Rohrleitungen bei thermischer Wechselbeanspruchung“. Das Gesamtziel ist die Weiterentwicklung und Verbesserung von Simulationsmethoden zur sicherheitstechnischen Bewertung von Leichtwasserreaktor(LWR)-Komponenten im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung. Hierzu sollen unter Berücksichtigung mehrere Längenskalen Grundlagenuntersuchungen zur gekoppelten Simulation des Strömungs- und Strukturverhaltens unter Anwendung von CFD-Berechnungsverfahren durchgeführt sowie mit atomistischen und mikromechanischen Simulationsmethoden werkstoffmechanische Modelle für die Beschreibung der Schädigungsentwicklung eines Werkstoffs unter thermo-mechanischer Belastung entwickelt werden.

Das Verbundprojekt der Projektpartner IKE und MPA (Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart) befasst sich mit der Bereitstellung einer validierten numerischen Analyse- und Vorhersagemethode für das gekoppelte Strömungs- und Strukturverhalten von LWR-typischen Rohrleitungselementen. Das IKE behandelt die strömungsmechanische (Thermofluidodynamik), die MPA die strukturmechanische (Werkstoff/ Strukturmechanik) Modellierung. Zuerst werden thermische Vermischungsvorgänge oder Schichtenströmung in einer typischen T-förmigen Rohrverzweigung (Kaltwassereinspeisung in heißen Kühlmittelhauptstrom), danach Ausströmvorgänge und Rissöffnung kleiner Lecks untersucht. In beiden Fällen bestimmt die Interaktion zwischen Fluid und Rohr-Struktur maßgeblich die Bauteilbeanspruchung und resultierende Werkstoffermüdung. In diesem Kontext ist die Überprüfung der verwendeten numerischen Modelle (Validierung) anhand von Vergleichen mit experimentellen Daten zwingend erforderlich. Diese Validierungsdaten sollen durch eine im Vorhabensrahmen zu errichtende Versuchsanlage bereitgestellt werden, in der LWR-spezifische Rohrleitungselemente realitätsnahen thermischen und strömungsmechanischen Bedingungen (Temperatur 280 °C, Druck ca. 75 bar) ausgesetzt werden können.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- P1: Planung Versuchsanlage, i. E.: Anlagenauslegung (P.1.1), Konzeption Messstrecke thermische Vermischung (P.1.2), Konzeption Messstrecke Testleck / Riss (P.1.3).
- P2: Aufbau Versuchsanlage, i. E.: Beschaffung Komponenten (P.2.1), Einzelanfertigung von Spezial-/ Sonderbauteilen (P.2.2), Aufbau / Abnahme / Inbetriebnahme (P.2.3).
- P3: Implementierung Messtechnik: Messtechnik für Kreislaufsteuerung (P.3.1), Messtechnik für Strömungsuntersuchungen (P.3.2), Messtechnik für Strukturuntersuchungen (P.3.3), Installation Messtechnik an Versuchsanlage / Tests (P.3.4).
- P4: Theorie / Simulation, i. E.: Strömungssimulation thermische Vermischung (P.4.1), Struktursimulation (P.4.2), Strömungssimulation Testleck / Riss (P.4.3), Struktursimulation Testleck / Riss (P.4.4), Gekoppelte Simulation Strömung / Struktur (P.4.5), Vergleich mit Messungen / Interpretation (P.4.6).
- P5: Messungen, i. E.: Thermische Vermischung (P.5.1), Strömung Testleck / Riss (P.5.2).

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- P.1.2: In Zusammenarbeit mit der MPA wurden Detailfragen zu Teststrecke Thermische Vermischung, optische Module und Thermoelementmodul geklärt.
- P.2.1: Die Beschaffung von Präzisionsglasrohren für optische Module und Instrumentierung Thermoelementmodul ist in wesentlichen Teilen abgeschlossen.
- P.2.2: Einzelanfertigung von Spezialbauteilen, z. B. neu konzipierte Thermoelementverschraubung, Thermoelementdurchführungen, Kalibriermustern, Glashaltern, Teile für Entlüftungs- und Druckausgleichssystem sowie Montagehilfen für Zusammenbau der optischen Module. Diese Arbeiten sind abgeschlossen.
- P.2.3: Zusammenbau der optischen Module mit für Testzwecke ersatzweise eingebrachten Stahlrohr-Dummies (anstatt Glasrohre). Module stehen zum Einbau in den MPA-Versuchskreislauf bereit.
Umbau Versuchsaufbau optisch zugänglicher Druckbehälter und weitere detaillierte Farbstoffuntersuchungen zur Verbesserung der wandnahen Fluoreszenzthermometrie.
- P.3.2: Weitere PIV-Testmessungen am PVC-Testkanal zur Optimierung der Strömungsmesstechnik am MPA-Versuchskreislauf.
Erste Messungen mit neuentwickelter wandnaher Fluoreszenzthermometrie in der Mischungszone des PVC-Testkanals, statistische Auswertung der Messdaten und Vergleich mit CFD-Simulationsrechnungen.
- P.4.1: Durchführung einer LES (Large-Eddy-Simulation) mit PVC-Testkanalgeometrie und Einspeisetemperaturen 20 °C und 120 °C.
- P.4.5: Untersuchung einer nicht-simultanen Kopplung von Strömungsfeld und thermisch induziertem Spannungsfeld.
Durchführung einer rein thermisch, simultan gekoppelten Strömungs-Struktur-Simulation.
- P.4.6: Qualitativer Vergleich der LES mit Messergebnissen vom PVC-Testkanal.
- P.5.1: Die Fluoreszenzeigenschaften von Rhodamin B wurden hinsichtlich des Einsatzes für die wandnahe Fluoreszenzthermometrie untersucht. Erstmals kam eine Thermokamera zum Einsatz, deren flächige Temperaturinformation mit denen aus der Farbstoffmessung verglichen wurde.
Durchführung erster Messungen an einer reinen Rohrströmung.

4. Geplante Weiterarbeiten

- P.2.2: Aufbau des Entlüftungs- und Druckausgleichsystems.
- P.3.2: Abschluss der Arbeiten zur Instrumentierung des Thermoelementmoduls und Verbesserung der Messtechnik im Bereich der Anwendung von Farbstoffen als Temperaturindikator.
- P.3.4: Installation der Strömungs- und Temperaturmesstechnik inkl. Einbau der optischen Module und des Thermoelementmoduls am MPA-Versuchskreislauf.
- P.4.1: Durchführung einer Gitterverfeinerungsstudie.
Durchführung einer LES mit Einspeisetemperaturen 20 °C und 280 °C und verbesserter T-Stück-Geometrieabbildung.
- P.4.6: Validierung der Simulationsergebnisse mit experimentellen Daten der Anlage.
- P.5.1: Weitere PIV-Geschwindigkeitsmessungen einer reinen Rohrströmung sollen Informationen über die Genauigkeit des Messverfahrens für diese Anwendung liefern.

5. Berichte, Veröffentlichungen

- Kuschewski M., Kulenovic R., Laurien E., 2010: "Untersuchungen von Fluoreszenzfarbstoffeigenschaften bei hohen Drücken und Temperaturen.", 18. Fachtagung Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, Cottbus.
- Kuschewski M., Kulenovic R., Laurien E., 2011: "Neuartige Anwendung der LED-induzierten Fluoreszenzthermometrie.", 19. Fachtagung Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, Ilmenau.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), Hansastr. 27c, 80686 München		Förderkennzeichen: 02 NUK 009C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Thermische Ermüdung in Kraftwerk-komponenten - Charakterisierung und Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen; TP: Lebensdauerbewertung mit atomistischen und schädigungsmechanischen Werkstoffmodel-len		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 bis 30.04.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 860.294,00 EUR	Projektleiter: Dr.-Ing. Siegele	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der Weiterentwicklung und experimentellen Validierung von Werkstoffmodellen und Methoden zur Beschreibung der Schädigungsentwicklung und der Lebensdauerbewertung unter thermischer Wechselbeanspruchung.

Hierzu sollen die Mechanismen, die zur Schädigung kerntechnischer Komponenten unter thermischer Ermüdung führen können, durch experimentelle und numerische Analysen auf mehreren Längenskalen untersucht sowie entsprechende werkstoffmechanisch basierte Modellen zur Lebensdauerbewertung weiterentwickelt werden.

Das Vorhaben ist Teil des Verbundvorhabens „Grundlagen des System-, Ausström- und Werkstoffverhaltens von Rohrleitungen bei thermischer Wechselbeanspruchung“.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- Entwicklung einer Prüfvorrichtung für komplexe thermomechanische Beanspruchung unter definierten Temperaturspektren,
- Versuche unter thermischer und mechanischer Wechselbelastung mit konstanter Amplitude und für definierte Lastspektren,
- Mikroskopische Untersuchungen zur Schädigungsentwicklung,
- Atomistische Simulationen zur Untersuchung der Auswirkungen von Korngrenzen, Versetzungen und Mikrorissen auf die mikrostrukturellen und makroskopischen mechanischen Eigenschaften,
- Weiterentwicklung von makroskopischen Werkstoffmodellen im Hinblick auf HCF-Belastung und variablen Amplituden,
- Weiterentwicklung von klassischen spannungs-, dehnungs- sowie Energie-basierten Ermüdungsmodellen zur Beschreibung thermo-mechanischer Ermüdungsvorgänge

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das am Fraunhofer IWM entwickelte Bond-Order-Potential (BOP) für Eisen (vgl. vorherige Berichte) wurde zu erweiterten atomistischen Simulationen von Versetzungen und deren Wechselwirkungen mit anderen Kristalldefekten (z. B. Leerstellen) angewandt (vgl. Veröffentlichung in Journal Physical Review Letters). Parallel zu diesen Simulationen wurde eine neue Methode entwickelt, die eine Parametrisierung von BOP Modellen für binäre Systeme direkt von quantenmechanischen Rechnungen ermöglicht. Diese Methode erlaubt eine direkte Bestimmung der Parameter des Bond-Order-Potentials, wurde an den Ti-C und Ti-N Systemen demonstriert und soll zur Parametrisierung von interatomaren Potentialen für weitere Eisen-Legierungen genutzt werden.

Der Versuchsaufbau zur Durchführung von thermischen Ermüdungsexperimenten wurde in Details modifiziert, um ihn für den Dauerbetrieb zu qualifizieren: Hierzu wurde die Versuchsanlage zur Schalldämpfung in einen Plexiglaskasten gesetzt, weiterhin wurde ein zusätzliches Ventil zum Stoppen des Luftstroms durch die Zweistoffdüsen während der Heizphasen eingebaut und der Aufbau wasserdicht gemacht. Der Versuchsaufbau wurde getestet, wobei die maximalen Temperaturdifferenzen an einem Dummy in Probengeometrie bei verschiedenen Einstellungen der Kühlung (z. B. Variation der Kühl- und Heizdauer, der Wassermenge) gemessen wurden. Bei einer Zyklendauer von 2s wurde im angesprühten Bereich eine maximale Temperaturdifferenz von 200 °C gemessen, bei einer kürzeren Zykluszeit von 1s betrug die Temperaturdifferenz noch 120 °C. Eine Erhöhung der Zyklendauern auf mehr als 3s erwies sich zur Erzielung von höheren Temperaturdifferenzen als nicht hilfreich, da ab einer gewissen Kühldauer keine weitere Abkühlung der Probe stattfindet. Ursache dafür ist vermutlich ein sich auf der Probe bildender Dampffilm, der ein weiteres Verdampfen von Wasser verhindert und somit den Wärmeübergang verschlechtert.

In Absprache mit den Verbundpartnern werden nach der Probenfertigung die Oberflächen der Proben plasmapoliert, um eine sehr glatte Oberfläche zu erhalten und eine Vergleichbarkeit der zu erzielenden Versuchsergebnisse zu erreichen.

4. Geplante Weiterarbeiten

In der nächsten Projektperiode werden sich die atomistischen Simulationen auf Untersuchungen von binären Fe-Legierungen konzentrieren, wobei erste Simulationen von Mikrorissen und deren Entstehungs-Mechanismen durchgeführt werden sollen. Bei den thermischen Ermüdungsversuchen wird nach der Politur der Probenoberflächen mit dem Versuchsprogramm begonnen. Die FE-Simulation hierzu wird weiter optimiert, indem der Wärmeaustausch zwischen Probe und Umgebung im Hinblick auf eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Temperaturen genauer modelliert wird.

5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Mrovec, D. Nguyen-Manh, C. Elsässer, P. Gumbsch, *Magnetic Bond-Order Potential for Iron*, Phys. Rev. Lett. **106**, 246402 (2011).

Urban, M. Reese, M. Mrovec, C. Elsässer, B. Meyer, *Parameterization of tight-binding models from density functional theory calculations*, Phys. Rev. B, submitted.

E.R. Margine, A. Kolmogorov, M. Reese, M. Mrovec, C. Elsässer, B. Meyer, R. Drautz, D.G. Pettifor, *Development orthogonal tight-binding models for Ti-C and Ti-N systems*, Phys. Rev. B, submitted.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt		Förderkennzeichen: 02 NUK 009D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: TP: Numerische Simulation und experimentelle Charakterisierung des Ermüdungsrisswachstums unter thermozyklischer Beanspruchung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 bis 30.04.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 696.011,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Vormwald	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Der Zustand der Materialermüdung infolge einer thermomechanischen Beanspruchung in einem austenitischen Stahl für Anwendungen in der Kernenergie-technik wird durch Verfolgen des Wachstums mechanischer Risse sowohl experimentell untersucht als auch mit den Mitteln der Schwingbruchmechanik beschrieben. Dabei besteht das Ziel, die auftretenden Schädigungsmechanismen und insbesondere deren zeitliche Entwicklung besser zu verstehen und zu beschreiben. Darüber hinaus besteht das Ziel, die aktuell vorhandenen Kompetenzen im Rahmen von regelmäßig durchzuführenden Weiterbildungsmaßnahmen weiter zu geben.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Von den Forschungspartnern IfW (Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt), FGWM (Fachgebiet Werkstoffmechanik, TU Darmstadt) und AREVA (AREVA NP GmbH, Erlangen) werden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP1: Numerische Simulation des Ermüdungsrisswachstums unter thermozyklischer Beanspruchung und Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in Lebensdauerberechnungsverfahren (FGWM, AREVA)
- AP2: Weiterentwicklung von Plastizitätsmodellen zur kontinuumsmechanischen Beschreibung der zyklischen Plastizität bei transienten, thermomechanischen Beanspruchungen (AREVA, IfW)
- AP3: Validierung klassischer Ansätze zur Beschreibung der thermomechanischen Ermüdung einschließlich regelwerksbasierter Konzepte (IfW, AREVA)
- AP4: Experimentelle Bestimmung des thermozyklischen Ermüdungsverhaltens eines Werkstoffes des Primärkreislaufs (IfW)
- AP5: Organisation und Durchführung eines Weiterbildungsseminars (FGWM, IfW, AREVA)

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Forschungsstelle „Fachgebiet Werkstoffmechanik“

Simulation des Ermüdungsrisswachstums mit der Methode der finiten Elemente. Detaillierte numerische Untersuchungen: Rissöffnen/-schließen, transientes Werkstoffverhalten, Vergleich unterschiedlicher Werkstoffmodelle. Auswertung d. Simulationsergebnisse und Beschreibung der wesentl. Ergebnisse mit Näherungsansätzen. Bewertung und Überarbeitung des Weiterbildungsseminars „TME 2010“; Vorbereitung des Seminars „TME 2011“.

Forschungsstelle „Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde“

Abschluss d. im letzten Jahr begonnenen RT-Ermüdungsversuche. Durchführung und Abschluss der 200 °C Ermüdungsversuche und deren Auswertung. Überführung der Versuchsergebnisse in ein Datenaustauschformat und Bereitstellung an die Projektpartner. Entwicklung einer neuen Kreuzprobenform angepasst an den vorliegenden Werkstoff. Versuchsvorbereitung der TME-Versuche (ein- und biaxial).

Forschungsstelle „AREVA“

Optimierung der Materialmodellimplementierung (Ohno&Wang). Numerische Simulation des Rissöffnungs- und Risssschließverhaltens sowie des Einflusses von verwendetem Materialmodell und Ratcheting. Bewertung des lokalen Ratchetingverhaltens. Beiträge zur methodischen Vorbereitung der Parameteridentifikation. Durchführung der Sensitivitätsanalyse zur Parameteridentifikation. Überarbeitung der Beiträge zum Seminar „TME 2011“.

4. Geplante Weiterarbeiten

Forschungsstelle „Fachgebiet Werkstoffmechanik“

Simulation des Ermüdungsrisswachstums. Auswertung der Simulationsergebnisse. Beschreibung der wesentl. Ergebnisse mit Näherungsansätzen. Ergänzung und Weiterentwicklung der technisch-wissenschaftlichen und didaktischen Grundlagen zum o. g. Weiterbildungsseminar.

Forschungsstelle „Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde“

Durchführung des 350 °C-Ermüdungsprogramms. Erweiterte statistische Auswertung nach einer Methode nach Cantelli und Castillo. Durchführung der Oberflächenversuche bei RT, 200 °C und 350 °C, sowie Durchführung der TME-Versuche (ein- und biaxial). Klärung des Dehnrateneinflusses. Aktive Teilnahme am TME-Seminar.

Forschungsstelle „AREVA“

Ableitung von qualitativen und quantitativen Aussagen zum Einfluss des verwendeten Materialmodells einschliesslich Ratcheting. Ableitung eines ersten optimierten Parametersatzes für die Materialmodelle nach Chaboche und Ohno&Wang nach Vorliegen sämtlicher einachsiger Versuchsergebnisse. Aussagen zum Einfluss des Schädigungskriteriums. Aktive Beteiligung an der Durchführung des Seminars „TME 2011“.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Rudolph, J.; Bergholz, S.; Willuweit, A.; Vormwald, M.; Bauerbach, K.: Methods of detailed thermal fatigue evaluation of nuclear power plant components. Proceedings of SoSDiD 2011, May 26th-27th, 2011 Darmstadt, Germany

Zuwendungsempfänger: Materialprüfanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart		Förderkennzeichen: 02 NUK 009E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Thermische Wechselbeanspruchung: Thermische Ermüdung in Kraftwerk-komponenten - Charakterisierung und Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen; TP: Lebensdauerbewertung mit mikromechanischen Werkstoffmodellen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2009 bis 30.09.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 863.100,00 EUR	Projektleiter: Dipl.-Ing. Schuler	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundprojekt „Thermische Ermüdung in Kraftwerk-komponenten - Charakterisierung und Weiterentwicklung von Lebensdauermodellen“ ist Teil von insgesamt 3 einzelnen Verbundprojekten, die im übergeordneten BMBF-Verbundvorhaben „Grundlagen des System-, Ausström- und Werkstoffverhaltens von Rohrleitungen bei thermischer Wechselbeanspruchung“ zusammengefasst sind.

Das vorliegende Verbundprojekt, welches in 2 Teilprojekte der Verbundprojektpartner Materialprüfanstalt (MPA) Universität Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) Freiburg untergliedert ist, befasst sich mit der Aufklärung der Mechanismen, die zur Schädigung kerntechnischer Komponenten unter thermischer Ermüdung führen können. Durch die Kombination experimenteller Methoden und die Simulation der Verformungs- und Schädigungsprozesse auf mehreren Längenskalen, beginnend von der atomaren Ebene über die Mikroskala (Versetzungen, Kristallplastizität) bis zur Kontinuumsmechanik, wird ein vertieftes Verständnis der für die Schädigung des Werkstoffs relevanten Mechanismen erreicht. Die Ergebnisse fließen in die Verbesserung von Werkstoffmodellen und Simulationsmethoden im Hinblick auf thermische Ermüdung ein. Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens sollen die grundlegenden experimentellen und numerischen Arbeiten an einem austenitischen Rohrleitungswerkstoff im Temperaturbereich bis 350 °C durchgeführt werden, der in den derzeitigen LWR-Anlagen eingesetzt wird. Der Schwerpunkt der geplanten Untersuchungen liegt hierbei im Bereich der hochfrequenten thermisch-mechanischen Werkstoffermüdung (HCF).

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das an der MPA Universität Stuttgart durchzuführende Teilprojekt gliedert sich in folgende Arbeitspakete:

Experimentelle Arbeiten

- AP7: Entwicklung einer Prüfvorrichtung für Grundlagenuntersuchungen unter thermisch-mechanisch wechselnder Belastung im High Cycle Fatigue (HCF) Bereich
- AP8: Durchführung von thermisch-mechanischen HCF-Versuchen
- AP9: Mikrostrukturanalysen, u. a. Untersuchungen der Gefügeveränderungen (Lichtmikroskopie, REM), Analyse der Entwicklung von Versetzungsstrukturen (TEM), Messung der Eigenspannungen im Gefüge (Röntgen- / Neutronenbeugung)

Theoretische Arbeiten

- AP10: Mikrostrukturmechanische Simulation von Eigenspannungen, d. h. Berechnung der Entwicklung von Eigenspannungen in einem Mikromodell vom Realgefüge bei zyklischer thermischer Belastung
- AP11: Untersuchungen zum Einfluss von Versetzungsstrukturen auf die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs, u. a. kontinuumsmechanische Modellierung von Versetzungsstrukturen und Entwicklung mikromechanischer Schädigungsmodelle anhand vom „Zweiphasenmodell“ von Mughrabi
- AP12: Validierung der mikromechanischen Schädigungsmodelle anhand experimenteller Ergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Aufgrund der unklaren Werkstoffsituation – das zur Verfügung gestellte Material (X6CrNiNb18-10) stammt aus unterschiedlichen Schmelzen bzw. Chargen, wurde als Platten- und als Stangenmaterial mit jeweils unterschiedlichen Abmessungen geliefert, wurde nicht einheitlich umgeformt, sondern teils (warm-) gewalzt bzw. geschmiedet, wurde unterschiedlich wärmebehandelt – wurde das Probenmaterial nach Rücksprache mit den Projektpartnern erneut wärmebehandelt (IfW Darmstadt).

Sowohl bei den experimentellen (AP7, AP8, AP9) als auch bei den rechnerischen (AP10, AP11, AP12) Untersuchungen ergibt sich dadurch eine zeitliche Verschiebung der Arbeitspakete, da die Terminplanung an die Werkstoffbereitstellung und an die anschließend an der TU Darmstadt (IfW) durchzuführende Grundcharakterisierung (LCF/HCF-Versuche) gekoppelt ist.

AP7:

Es wurden weitere numerische Analysen zur Temperatur- und Spannungsverteilung in unterschiedlichen Probenvarianten durchgeführt. Diese Untersuchungen bilden die Basis für die experimentellen Voruntersuchungen zur Entwicklung einer geeigneten Probenform und Prüfeinrichtung.

Es wurden weitere experimentelle Vorversuche zur Optimierung der Probengeometrie und der Prüfeinrichtung durchgeführt. Durch lokale induktive Erwärmung und anschließende lokale Druckluftkühlung konnten Temperaturschwingbreiten von ca. 150 K bezogen auf eine Maximaltemperatur von 300 °C gemessen werden.

Einzelkomponenten des geplanten Prüfstands wurden beschafft.

Der Prüfstand wurde aufgebaut, in Betrieb genommen und erprobt.

AP8:

Nach Bereitstellung des erneut wärmebehandelten Probenmaterials erfolgte die Fertigung erster Proben für thermische Wechselversuche.

Die Erprobung des Prüfstands wurde gemäß AP 7 durchgeführt.

AP9:

Nach der erneuten Wärmebehandlung des Probenmaterials (siehe 2. Halbjahresbericht 2010) wurde eine metallografische Grundcharakterisierung des Werkstoffs (Lichtmikroskopie, TEM, Härte) durchgeführt.

AP10 und AP11:

Entsprechend dem Untersuchungsprogramm wurden keine Arbeiten durchgeführt.

Mit Hilfe eines elasto-plastischen Stoffgesetzes (kombinierte kinematische und isotrope Verfestigung) erfolgte eine vorläufige Materialmodellierung auf Grundlage der vom IfW Darmstadt zur Verfügung gestellten LCF-Versuchsdaten bei Raumtemperatur.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP8:

Vorbereitung und Durchführung thermisch-mechanischer HCF-Versuche.

AP9:

Beginn der Arbeiten zur Analyse thermisch ermüdeter Proben.

Vorarbeiten zu AP10 und AP11:

Erweiterte Materialmodellierung (anisotherme Belastung) auf Grundlage der vom IfW Darmstadt zur Verfügung gestellten LCF-Versuchsdaten.

AP10:

Beginn der Berechnungen zur mikrostrukturmechanischen Simulation von Eigenspannungen.

AP11:

Beginn der Untersuchungen zum Einfluss von Versetzungsstrukturen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden		Förderkennzeichen: 02 NUK 010A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Entwicklung von CFD-Modellen für Wandsieden und Aufbau eines Bündeltests mit hochauflösender, schneller Röntgentomographie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 664.900,00 EUR	Projektleiter: Dr. Krepper	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben ist der Weiterentwicklung der CFD-Modellierung von Blasensieden bis hin zu Filmsieden gewidmet. Die mit Hilfe von ANSYS in den Code ANSYS/CFX zu implementierenden Modellansätze werden zunächst anhand durch andere Projektpartner durch zuführende kleinskalige Experimente getestet. Im Rahmen des vorliegenden Abtrages sollen im FZD ein Brennelementbündeltest an der Versuchsanlage TOPFLOW aufgebaut werden, der mit schneller Röntgentomographie ausgestattet ist.

Das Projekt wird im gemeinsamen Vorhaben mit der Technischen Universität Dresden (Professur für Wasserstoff und Kernenergie-technik TUD-WKET, Institut für Strömungsmechanik TUD-ISM und Medizinische Fakultät TUD-MF), der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG), des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), der Ruhr-Universität Bochum (RUB), der Technischen Universität München und der Firma ANSYS inc. bearbeitet und ist über einen Kooperationsvertrag mit den weiteren Teilvorhaben des Projektverbundes 02NUK010 verbunden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Ziele betreffen im Einzelnen:

- Literaturstudie, Auswahl der in Frage kommenden Modellansätze
- Parameterstudie und numerischer Test ihrer Eignung
- Test der durch ANSYS implementierten Modellansätze anhand kleinskaliger Experimente
- Nachrechnung von Bündeltests
- Entwicklung der schnellen Röntgentomographie
- Aufbau des Bündelversuches
- Experimentelle Untersuchungen von Siedevorgängen im Versuchsbündel
- Analyse der gewonnenen Daten durch die implementierten Modelle

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die begonnene Literaturstudie wurde systematisch fortgesetzt. Bislang wurde eine verschlagwortete und mit den Dokumenten verlinkte Literaturdatenbank aufgebaut, die bereits mehr als 1280 Einträge enthält. Anhand in der Literatur publizierter experimenteller Daten konnten die Parameterstudien des Wandsiedemodells fortgesetzt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Aussagenunsicherheit durch den empfindlichen Einfluss der Siedekeimdichte, über die

wegen ihrer vielfältigen Abhängigkeiten wenig bekannt ist, mit der Kenntnis der Wandtemperatur ausgeglichen werden kann. Durch ANSYS wurde inzwischen die Kopplung des Wand-siedemodells mit dem Populationsbilanzmodell hergestellt. Die Funktion konnte durch Rechnungen in Rossendorf anhand publizierter Daten nachgewiesen und das Modell validiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass sich durch diese Modellerweiterung wesentliche Phänomene, wie die Blasenkoaleszenz nach ihrer Ablösung sowie die Verschiebung des radialen Dampfgehaltsprofils mit höherer Eintrittstemperatur nachbilden lassen. Es wurden des weiteren Arbeiten zur Turbulenz zweiphasiger Strömungen durch Erweiterung der Analyse auf weitere publizierte Experimente fortgesetzt. und zur Verbesserung der Modellierung von Blasenkoaleszenz und Blasenfragmentierung in Blasenpopulationsmodellen durchgeführt. Es erfolgte die Teilnahme am OECD/NEA Benchmark Based on NUPEC PWR Subchannel and Bundle Test (PSBT), wodurch wesentliche Erfahrungen für die im Rahmen des Projektes vorgesehene Analyse der Rossendorfer Experimente gewonnen wurden.

Die Fertigung der Komponenten für den Strahlerkopf verzögerte sich, vor Allem auf Grund von erheblich längeren Lieferzeiten von Halbzeugen. So war es bisher noch nicht möglich das Scannergehäuse zu komplettieren. Hinzu kamen mehrere Reklamationen/Neufertigungen von Bauteilen des Targetgehäuses. Die Anpassung der Detektorelektronik wurde abgeschlossen und deren Fertigung begonnen. Parallel dazu werden die Halbleiterkristalle auf die Frontendplatinen aufgebracht. Das geschieht durch den französischen Marktführer, was hervorragende Qualität verspricht, allerdings auch hier ein Akzeptieren langer Lieferzeiten bedingt. Es wird mit einer Verfügbarkeit aller Bauteile zur Komplettierung des CT-Systems gegen Ende des 3. Quartals 2011 gerechnet. Die Fertigung des Kältemittelbündels wurde abgeschlossen. Für die anstehenden PIV-Untersuchungen wurde ein zweites Bündel aus PMMA-Stäben gefertigt, und die Verwendung einer Flüssigkeit mit einstellbarem Brechungsindex erprobt. Damit sollte es möglich sein, die einphasige Strömung bei den PIV-Messungen auch zwischen den Stäben zu beobachten. Für die Verrohrungs- und Anschlussarbeiten des Dampf-Wasser-Experiments an die TOPFLOW-Anlage wurde die Feinplanung abgeschlossen und die Ausschreibung begonnen. Das Dampf-Wasser-Bündel ist im Planungs- und Konstruktionsstatus.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Weiterarbeiten erfolgen nach Arbeitsplan.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Krepper, E., Rzehak, R.: „CFD analysis on the NUPEC PWR Subchannel and Bundle Test (PSBT)“, Second Workshop on PSBT hosted by Royal Institute of Technology (Kungliga Tekniska Högskolan, KTH) Sweden

Krepper, E.: „CFD-Modelling of subcooled boiling and applications in the nuclear Technology, Jahrestagung Kerntechnik 2011, Fachsitzung: „CFD-Simulationen zu sicherheitsrelevanten Fragestellungen“

Krepper, E., Rzehak, R.: „Coupling of a Population Balance Approach with the RPI Wall Boiling Model: Parameter Investigation & Inhomogeneous MUSIG-RPI Validation“, ANSYS/HZDR-Workshop “Multiphase Flows: Simulation, Experiment and Application”, Dresden, 8 - 10 June 2011

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 NUK 010B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Turbulenz und Blasendynamik		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 309.368,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Fröhlich	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gesamtvorhabens ist die Verbesserung der CFD-Modellierung von Siedevorgängen an beheizten Oberflächen bis hin zur Siedekrise. Ziel des Teilprojekts ist die Durchführung und Analyse von Direkten Numerischen Simulationen und Large Eddy Simulation. Infolge der Geometrie im Reaktorkern sind die Strömung und das entstehende Turbulenzfeld bereits bei einphasiger Strömung sehr komplex. Daher ist zu klären, ob auf der Reynolds-Mittelung (RANS) beruhende Turbulenzmodelle für derartige Strömungen ausreichend sind oder ob Large Eddy Simulation (LES) bzw. verwandte Ansätze erforderlich werden. Die Direkt Numerischen Simulationen (DNS) sollen für die Modellierung mit Blasen beladener Strömungen notwendige Erkenntnisse liefern. Untersucht werden der Impuls-, Wärme- und Masseaustausch beim Sieden, die Blasendynamik, sowie die Blasen-Blasen- und Blasen-Strömungs-Wechselwirkungen. Diese Simulationen werden für das Experiment des Partners HS Zittau-Görlitz (03NUK010C) durchgeführt und dienen der Validierung und Ergänzung der dort gewonnenen Daten. Diese Resultate wiederum bilden die Datenbasis für das FZ Dresden (03NUK010A) bei der Modellentwicklung.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

2.1 Large Eddy Simulation in Rohrbündelgeometrien mit Einbauten

- LES1 Implementierung Rohrbündelgeometrie ohne Einbauten, Validierung
- LES2 Rohrbündel mit Einbauten, Analyse Turbulenzstruktur, Vergleich mit RANS
- LES3 Wärmetransport und Vermischung, Vergleich mit RANS
- LES4 Geometrieoptimierung

2.2 Direkte numerische Simulation turbulenter Blasenströmungen:

- DNS1 Ebene Geometrie, Schwarm monodisperser sphärischer Blasen
- DNS2 Multidisperser Schwarm sphärischer Blasen, Modellierung
- DNS3 Nicht-sphärische Blasen
- DNS4 Phasenübergang und Evolution der Blasengröße
- DNS5 Modellierung von Koaleszenz und Zerfall
- DNS6 Variation der Einströmturbulenz
- DNS7 Simulationen in rohrbündelähnlicher Geometrie

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2011 wurden im Projektteil 2.2 die Arbeitspakete DNS2 und DNS3 fortgesetzt. Die Arbeiten zum Arbeitsschritt DNS4 wurden weitergeführt. Die ersten Schritte des Arbeitspunktes DNS5 wurden vorfristig begonnen.

Im Projektteil 2.1 wurde das Arbeitspaket LES1 weiter getrieben, jedoch stellte sich dies als anspruchsvoller heraus als erwartet. Parallel wurde mit dem Arbeitspaket LES3 begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

Im zweiten Halbjahr 2011 sollen die Arbeiten in Arbeitspaket DNS2 abgeschlossen werden. Damit sind Ergebnisse zur Wechselwirkung von Turbulenz und disperser Phase für sphärische, mono-disperse und multi-disperse Blasen zu erwarten. Die Arbeitspakete DNS3 und DNS4 werden weiter getrieben, ebenso DNS5

Im Projektteil 2.1 soll in den nächsten Wochen das Arbeitspaket LES1 abgeschlossen werden. Weiterhin soll der Teil des Arbeitspaketes LES3, in dem keine Einbauten behandelt werden, bis Jahresende abgeschlossen sein. Die Arbeiten zum Arbeitsschritt LES2 werden weitergeführt.

Zu beiden Teilen, 2.1 und 2.2, sind Veröffentlichungen geplant.

5. Berichte, Veröffentlichungen

E. Séverac, J. Fröhlich, „Large eddy simulation of the flow in a closed subchannel of a fuel rod-bundle“, Beitrag zum Vortrag bei der Konferenz GACM, 31.8.-2.9.2011, Dresden, wurde akzeptiert.

Zuwendungsempfänger: Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau		Förderkennzeichen: 02 NUK 010C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Experimentelle Untersuchung von Siedevorgängen mit optischen Verfahren und Parameterbestimmung für CFD-Rechnungen an kleinskaligen Versuchsständen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2009 bis 30.09.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 312.830,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Hampel	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gesamtvorhabens ist die Verbesserung von CFD- Modellen zur Beschreibung von Siedevorgängen an beheizten Oberflächen im Druckwasserreaktor, bis hin zur Siedekrise.

Vorhabensziele des Teilprojektes sind experimentelle Untersuchungen zu Prozessen beim Sieden von unterkühlten Flüssigkeiten und beim Übergang vom Blasen- zum Filmsieden einschließlich der Bereitstellung einer Datenbasis zur Modellierung dieser Prozesse sowie eine exaktere Prozessmodellierung. Die Analysen befassen sich sowohl mit Phänomenen an Einzelblasen als auch mit Effekten an mehrdimensionalen Geometrien der Wärmeübertragerfläche in Abhängigkeit differierender Randbedingungen. Die Bereitstellung von Simulationsdaten des Partners TU Dresden-ISM (03NUK010B) dienen der Validierung und der Ergänzung der experimentell gewonnen Daten. Die daraus resultierenden Ergebnisse bilden die Datenbasis für das FZ Dresden (03NUK010C) bei der Modellentwicklung.

Die experimentellen Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der TU Dresden- Medizinische Fakultät Carl- Gustav- Carus (03NUK010I) durchgeführt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1: Konzeption und Aufbau der Versuchsstände
Entwurf von 2 Versuchsständen zur Untersuchung von Siedeprozessen an eindimensionalen und mehrdimensionalen Geometrien unter Einsatz von Deionat und ggf. niedrigsiedenden Flüssigkeiten zur Erzielung der CHF- Parameter.
- AP1.2: Experimentelle Arbeiten
Aufstellung der Versuchsmatrix zu den Einzeleffektexperimenten an den Versuchsständen 1 und 2 (iterativ), sowie Durchführung und Bewertung der Experimente zur Aufklärung der Mikrophenomene.
- AP1.3: Theoretische und Methodische Arbeiten
Konstruktion und Auslegung der Versuchsanlagen sowie Auswahl, Anpassung und Anwendung entsprechender Verfahren und Algorithmen zur Modellierung signifikanter Teilzusammenhänge zwischen Zustandsgrößen.
- AP1.4: Optische Verfahren und Bildverarbeitung
Aufklärung von Siedevorgängen und Ermittlung relevanter Parameter mittels des Einsatzes schneller zweidimensionaler Bildgebung wie Highspeed- und Infrarotkameras, Mikro- PIV sowie tiefenauflösender Optischer Kohärenztomographie.
- AP1.5: Dokumentation

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1.1: Aufbau und Inbetriebnahme der Versuchsanlage zur Untersuchung von Siedebblasen beim unterkühlten Strömungssieden wurden erfolgreich abgeschlossen. Während der Inbetriebnahme fand eine Anpassung der Regelparameter zur Herstellung stationärer Eintrittsbedingungen statt. Die Anlage ermöglicht eine minimale Eintrittsunterkühlung von bis zu 2 K bei geforderter maximaler Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s. In Zusammenarbeit mit MF und WKET der TUD wurden ITO-beschichtete Gläser bereitgestellt und mit unterschiedlichen Laservertiefungen zur Ermittlung eines optimalen künstlichen Siedekeims versehen.
- AP1.2: Die erste Versuchsmatrix zur Erfassung des Siedeverhaltens an einem beheizten Kapillarrohr bei Variation von Strömungsgeschwindigkeit, Eintrittsunterkühlung und Wärmestromdichte wurde weitestgehend abgearbeitet. Die kritische Wärmestromdichte wurde bisher noch nicht erreicht. Diese Untersuchungen werden erst nach Durchführung aller Versuche beim Blasensieden begonnen, da das Erreichen von CHF zur Zerstörung der beheizten Geometrie führen kann. Weiterhin wurde nach Rücksprache mit dem ISM der TUD die Temperaturverteilung der Oberflächen des Versuchskanals bei variierenden Eintrittstemperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten erfasst, um Eingabeparameter für die Strömungssimulation bereitzustellen.
- AP1.3: Zur zuverlässigen Steuerung und Regelung wichtiger Versuchsparameter sowie zur Signalerfassung, -Verarbeitung und Auswertung wurde eine entsprechende Anwendung in LabView programmiert, welche eine übersichtliche Schnittstelle zwischen Versuchsanlage und Rechner herstellt. Weiterhin wurde mit den HZDR und dem ISM der TUD die Versuchsmatrix im Bezug auf relevante Blasenparameter abgestimmt.
- AP1.4: Zur Bestimmung signifikanter Blasenparameter wurden Algorithmen aus Methoden der digitalen Bildverarbeitung angepasst und zusammengestellt. Diese ermöglichen eine schnelle Auswertung von Videosequenzen mit hohen Bildfrequenzen (aktuell max. 500 fps) aus der videographischen Erfassung des Siedens an der ITO-Schicht mit unterschiedlichen Siedekeimen, sowie am Kapillarrohr. Die Auswertung der Siedekeime diente zur Auswahl eines optimalen, künstlichen Siedekeims für die Blasenerfassung und Auswertung mittels OCT.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1.2: Durchführung der noch offenen Experimente am Kapillarrohr sowie Beginn der Experimente an der beheizten ITO-Beschichtung zum Einsatz der OCT
- AP1.3: Entwicklung von Algorithmen zur Klassifizierung weiterer spezifischer Blasenparameter zur Erfassung der Kondensationslinie nach Ablösung, Sliding und Ableitung einer Funktion für das Zeitverhalten des Blasenzyklus.
- AP1.4: Erfassung des Verhaltens von Einzelblasen mit Videographie und OCT, sowie der Temperaturverteilung an der beheizten Oberfläche mit IR-Thermographie.

5. Berichte, Veröffentlichungen

C. Schneider, et al.: Experimental investigation of nucleate boiling on optically transparent heated surfaces with optical coherence tomography (OCT) and infrared thermography, Proceeding of ICONE 19, Makuhari, Chiaba, Japan, May 2011

Zuwendungsempfänger: Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum		Förderkennzeichen: 02 NUK 010D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Übertragung der CFD-Wandsiedemodelle zur Anwendung in Lumped Parameter-Codes zur Beurteilung der RDB-Außenkühlung		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012		Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011
Gesamtkosten des Vorhabens: 194.241,00 EUR		Projektleiter: Prof. Dr. Koch

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben ist in das Verbundprojekt *Modellierung Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren* eingebunden. Siedephänomene beeinflussen entscheidend den Wärmeübergang von heißen Oberflächen in das Kühlmittel. Sie sind deshalb von sicherheitstechnischer Bedeutung. Die zuverlässige theoretische Beschreibung der Siedevorgänge leistet daher einen unmittelbaren Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken. Ziel des Vorhabens ist ausgehend von den Arbeiten der Kooperationspartner des Verbundprojektes zur Verbesserung der CFD-Modellierung von Siedevorgängen an beheizten Oberflächen hier die Modellierung der Reaktordruckbehälter-Außenkühlung für Systemcodes wie z. B. ATHLET-CD.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Verbundprojekt bearbeitet RUB das Arbeitspaket 4. Dieses ist unterteilt in:

- AP1: Verfügbarmachung, Analyse, und Bewertung der CFD-Modellierung der Reaktoraußenkühlung bzw. der Wandsiedemodelle.
- AP2: Konzept für die Modellerstellung zum Wandsieden in LP-Codes.
- AP3: Entwicklung und Implementierung eines Modells zur Reaktordruckbehälter (RDB)-Außenkühlung in einen LP-Code.
- AP4: Demonstrationsrechnungen und Plausibilitätstests.
- AP5: Validierungsrechnungen
- AP6: Erstellung des Abschlussberichts und digitale Archivierung der Rechnungen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP3: Um die Einbindung in den Simulationscode ATHLET-CD zu ermöglichen wurde ein FORTRAN-Datensatzes zum RPI-Wandsiedemodell erstellt.
Zur Simulation der RDB-Außenkühlung wurden Ansätzen zur Berücksichtigung des Neigungseinflusses beim Blasensieden entwickelt.
- AP4: Die mit dem erstellten Datensatz berechneten Ergebnisse wurden mit experimentellen Daten und Simulationsergebnissen aus der Literatur verglichen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP3: Im Rahmen der Modellentwicklung zur RDB-Außenkühlung werden die Ansätze zur Berücksichtigung der Neigung der Heizfläche beim Blasensieden weiter entwickelt und mit experimentellen Daten verglichen.
- AP4: Demonstrationsrechnungen und Plausibilitätstests anhand von Versuchen zur RDB-Außenkühlung und zum Wandsieden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Schittek, Ulf; Koch, Marco K.: Konzept für die Modellerweiterung zum Wandsieden in LP-Codes, 1. Technischer Fachbericht zum Forschungsvorhaben BMBF 02NUK010D: Übertragung der CFD Wandsiedemodelle zur Anwendung in LP-Codes zur Beurteilung der RDB-Außenkühlung, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft (LEE), LEE-60, Juni 2010.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 NUK 010E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Einfluss von Turbulenz und Sekundärströmungen auf das unterkühlte Strömungssieden in reaktortypischen Konfigurationen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012		Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011
Gesamtkosten des Vorhabens: 311.256,00 EUR		Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Sattelmayer

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben verfolgt das Ziel, das Wissen zum Strömungseinfluss auf den Wärmeübergang von den Brennelementen in das Arbeitsfluid (Druckwasserreaktoren) anhand von Modellversuchen zu verbessern und so sowohl zur Erhöhung der Sicherheit als auch zur technischen Verbesserung beizutragen. Als wichtiger Nebeneffekt wird der Kompetenzerhalt und -aufbau in der Kerntechnik hinsichtlich wesentlicher Sicherheitsfragen nuklearer Technologien unterstützt.

Im Verbundprojekt besteht eine Zusammenarbeit mit folgenden Einrichtungen: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.; Hochschule Zittau Görlitz; Technische Universität Dresden Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik; Technische Universität Dresden, Fakultät für Maschinenwesen, Institut für Strömungsmechanik; Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät; Ruhr Universität Bochum, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft; Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Kern- und Energietechnik sowie ANSYS Germany GmbH.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Validierungsdaten: Das Vorhaben soll zur Bereitstellung von Daten zur Validierung vorhandener und innerhalb des Verbundprojektes entwickelter CFD-Modelle dienen.
- AP2: Algorithmen: Es sollen im Laufe des Projektes am Lehrstuhl für Thermodynamik vorhandene Algorithmen zur Auswertung optischer Messverfahren bereitgestellt und weiterentwickelt werden, insbesondere auch zum Einsatz in Verbindung mit digitaler Holographie.
- AP3: Holographieentwicklung: Die bereits in einem Vorgängerprojekt am Lehrstuhl für Thermodynamik eingesetzte digitale Holographie soll zur Anwendung an Siedephänomenen weiterentwickelt werden.
- AP4: Fluidkreislauf: Es soll ein Versuchsstand zur Untersuchung des unterkühlten Strömungssiedens mit niedrig siedenden Kältemitteln konstruiert, aufgebaut und betrieben werden.
- AP5: Instrumentierung: Der Versuchsstand soll mit geeigneter Messtechnik ausgestattet werden, hierbei soll auf frühere Erfahrungen zurückgegriffen werden wobei der Schwerpunkt auf holographischen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen in Kombination mit Leitfähigkeitssensoren liegen soll.
- AP6: Strömungscharakterisierung: Die einphasige Strömung soll in Vorversuchen mit PIV und Thermoelementen vermessen werden.
- AP7: konv. Siedexperimente: Im Rahmen des Versuchsprogramms sollen verschiedene Konfigurationen mit unterschiedlichen Turbulenzgraden und Sekundärströmungsmustern vergleichend untersucht werden.
- AP8: Holographieanwendung: Die in Arbeitspaket 3 weiterentwickelte digitale Holographie soll an dem Versuchsstand eingesetzt und evaluiert werden.
- AP9: Datenanalyse: Die gewonnenen Daten sollen ausgewertet und zusammengefasst werden um diese u. a. für die CFD-Validierung nutzbar zu machen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Entspr. AP7 wurden Versuche zum Einfluss von Turbulenzen und Sekundärströmungen auf die Siedevorgänge beim Strömungssieden durchgeführt. Als Turbulenzerzeuger wurden zum Berichtszeitpunkt folgende Geometrien untersucht:

- Lochplattengeometrien mit Lochanzahl von 1 bis 67 und Lochanteilen von 0,15 bis 0,6
- Turbulenzgitter
- Dreiecksflügel zur Erzeugung von Längswirbelpaaren
- Verdrehte Bänder zur Erzeugung eines einzelnen ausgeprägten Längswirbels

Als Arbeitsfluid wurde wie in den bisherigen Versuchen Dodekafluoro-2-methylpentan-3-on (Herstellerbezeichnung: 3M Novec 649) verwendet. Die Siedeversuche wurden bei Leerrohrgeschwindigkeiten von 0,6 bis 1,2 m/s durchgeführt. Die Unterkühlung des eingesetzten Kältemittels wurde zwischen 5 K und 25 K variiert. Die Untersuchung der Strömungsparameter erfolgte in einphasiger Strömung mittels Particle Image Velocimetry (PIV).

In den Versuchen konnten Erhöhungen der kritischen Wärmestromdichten durch Einbringung von Turbulenz um bis zu 50 % im Vergleich zu den Referenzversuchen ohne Turbulenzerzeuger beobachtet werden. Des Weiteren zeigten die Versuche auch Erhöhungen der Wärmestromdichten im Bereich des Blasensiedens aufgrund des verbesserten Abtransports der Dampfblasen durch die eingebrachten Wirbel. Aufbau und Entwicklung des Siedefilms bei Erreichen der kritischen Wärmestromdichte wurden mittels Hochgeschwindigkeitsvideometrie erfasst. Hierbei konnte eine schrittweise Ausbreitung des Siedefilms über die Heizeroberfläche beobachtet werden, deren Geschwindigkeit und Anfangspunkt mit den eingesetzten Turbulenzerzeugern variierte.

Zur Erweiterung der Messtechnik (AP5) wurden Arbeiten zur Entwicklung einer Nadelsonde durchgeführt, die im folgenden Halbjahr in die Siedeanlage integriert werden soll. Mit dieser Sonde soll eine zeitaufgelöste Punktmessung des Gasgehalts ermöglicht werden. Des Weiteren wurden die Arbeiten zur digitalen Holographie weitergeführt (AP3 und 9). Hierzu wurden Siedeversuche in einer vereinfachten Geometrie durchgeführt, wobei die grundsätzliche Eignung des Verfahrens zur Erfassung von Dampfblasen gezeigt werden konnte. Allerdings stellen die beim Sieden vorhandenen Dichtegradienten nach wie vor eine Herausforderung dar. Um diese Einflüsse zu minimieren wurden in einem weiteren Aufbau Dampfblasen direkt in unterkühlte Flüssigkeit eingespeist. Hiermit konnten ähnliche Ergebnisse wie in adiabaten Versuchen mit Luftblasen in Wasser erreicht werden.

Die gewonnenen Daten aus Siedeversuchen, PIV und Holographie wurden entspr. AP9 analysiert und zusammengefasst, um den Projektpartnern zur Verfügung zu stehen.

4. Geplante Weiterarbeiten

- AP2: Die vorhandenen Algorithmen und Auswertungsverfahren sollen weiter verbessert werden, insbesondere soll die Nadelsonde in die vorhandene Methodik integriert werden.
- AP3: Die Weiterentwicklung der Holographie soll fortgeführt werden, um die Eignung zum Einsatz am Siederversuchsstand weiter zu verbessern.
- AP5: Die Instrumentierung soll weiter verbessert werden, Schwerpunkt liegt hierbei vor allem auf der Integration der Nadelsonde in den Versuchsstand
- AP6: Die Charakterisierung der Strömungsbeeinflussung durch Turbulenzerzeuger mit PIV soll fortgesetzt werden.
- AP7: Die Siedeeperimente sollen weitergeführt werden. Hierbei sollen weitere Turbulenzerzeugergeometrien hinsichtlich des Einflusses auf den Siedevorgang untersucht werden, des Weiteren sollen zusätzliche Heizergeometrien eingesetzt werden.
- AP9: Die weiteren gewonnenen Daten sollen zusammengefasst und analysiert werden

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen		Förderkennzeichen: 02 NUK 010F
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Validierung von Unterkanal- und CFD-programmen anhand von Brennstab-Bündelversuchen		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2009 bis 30.09.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 268.933,84 EUR	Projektleiter: Dr. Cheng	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Aufstellung einer experimentellen Datenbasis für die Validierung von Unterkanal- sowie CFD-Rechenprogrammen und für ihre Anwendung auf die DWR-Brennstabbündeln;
- Erweiterung des Verständnisses zum Strömungs- und Wärmeübertragungsverhalten in Brennstabbündeln unter Einfluss relevanter Parameter;
- Entwicklung neuer Modelle zur Beschreibung des Queraustausches zwischen Unterkanälen für einen breiten Gültigkeitsbereich der Dampfqualität von einphasiger Strömung bis zur Zweiphasenströmung unter KHB-Zuständen;
- Validierung von Unterkanal- und CFD-Rechenprogrammen und Auswertung vorhandener KHB-Korrelationen anhand von Brennstab-Bündelversuchen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das lokale Strömungsverhalten in Stabbündeln soll durch Unterkanal- und CFD-Simulation untersucht werden. Basierend auf der detaillierten CFD-Analyse sollen neue Modelle zur Beschreibung des Queraustausches für das Unterkanal-Programm abgeleitet werden. Die am IKET vorhandenen und die am FZD (Forschungszentrum Dresden-Rossendorf) neu gewonnenen Versuchsdaten sollen zur Validierung der Modelle benutzt werden. Anhand der Versuchsdaten und des modifizierten Unterkanal-Programms sollen anschließend einige vorhandene Korrelationen zur Vorhersage von KHB in Stabbündeln ausgewertet werden. Das Projekt soll sich in sechs Arbeitspakete aufteilen:

- Aufbereitung von Versuchsdaten;
- Simulation ausgewählter Experimente mit einem Unterkanal-Programm;
- Simulation der Bündelströmung mit einem CFD-Programm und Ableitung neuer Modelle für den Queraustausch;
- Validierung von Unterkanal- und CFD-Programm anhand von Bündelversuchsdaten;
- Auswertung von KHB-Korrelationen;
- Erstellung des Abschlussberichts.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die eingehende Einarbeitung in die Simulation der zweiphasigen Strömung mit Ansys CFX ist erfolgreich abgeschlossen. Schwerpunkt wurde auf das Eulersche zwei Fluide Modell gelegt.
- Basierend auf das Void-Drift Modell nach Lahey wurde ein neues Modell zur Beschreibung von Void-Drift Phänomen vorgeschlagen. Ein Void-Drift-Koeffizient wurde in das Modell eingeführt. Anhand von Ergebnisse aus CFD-Simulation soll der Koeffizient bestimmt werden.
- Die Strategie zur Validierung des neuen Modells wurde ebenfalls festgelegt. Das neue Modell wird in das Unterkanalprogramm MATRA implementiert und anschließend anhand der Unterkanal-Analyse validiert. Da keine Dampfanteil- verteilung gemessen wurde, sind die Messergebnisse mit der 7-Stabbündel- Teststrecke allein für die Validierung des Modells nicht ausreichend. Daher werden die Testergebnisse aus NUPEC BFBT(BWR full size fine mesh bundle test) Benchmark herangezogen.
- Für die Validierung mit dem Unterkanalprogramm MATRA wurde ein Python Skript angefertigt, so dass die Berechnungs- und Auswertungsprozesse automatisiert werden können.
- Das geometrische Modell für die CFD Analyse wurde angefertigt. Dabei handelt es sich um zwei benachbarte Unterkanäle eines quadratisch angeordneten Stabbündels. Stabdurchmesser sowie P/D Verhältnis sind jeweils mit 9,5 mm und 1,326 mm.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Arbeiten in den nächsten sechs Monaten (Juli bis Dezember 2011) sind:

- Eine systematische CFD Analyse mit dem angefertigten geometrischen Modell werden durchgeführt. Ziel ist, die Abhängigkeit des Void-Drift-Koeffizienten von relevanten Betriebsparametern zu identifizieren und zu bestimmen. Als Beispiele sollen das Druckniveau in den Unterkanälen und der Dampfanteilgradient zwischen benachbarten Unterkanälen erwähnt werden. Für zwei Druckniveaus, 70 bar (SWR) und 160 bar (DWR), werden CFX Modelle aufgebaut und simuliert. Der Dampfanteilgradient wird zwischen 5 % bis ca. 20 % variiert.
- Die NUPEC BEBT Benchmark wird mit MATRA simuliert. Schwerpunkt soll auf die unterschiedliche Wirkung der Queraustauschmodelle in MATRA gelegt werden. Ziel ist, erstens das Python Skript zur automatischen Berechnung und Auswertung zu testen und zweitens die Aussagekraft der in MATRA vorhandenen Queraustauschmodelle zu bewerten. Diese Ergebnisse dienen weiterhin als eine numerische Vergleichbasis für das neu vorgeschlagene Void-Drift Modell.
- Das neue Modell für Void-Drift soll in MATRA implementiert werden, um die erste Validierungsberechnung vor Ende 2011 durchführen zu können.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: ANSYS Germany GmbH, Birkenweg 14a, 64295 Darmstadt		Förderkennzeichen: 02 NUK 010G
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: CFD-Modellentwicklung und Validierung für die 3-dimensionale Simulation von Siedevorgängen in Brennelementen von DWR		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2009 bis 30.09.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 604.214,00 EUR	Projektleiter: Dr. Frank	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Verbesserung der CFD-Modellierung von Siedevorgängen in Brennelementen von Druckwasserreaktoren. Die von den Partnern ausgeführten kleinskaligen und integrativen TOPFLOW-Experimente werden eingesetzt, um die CFD-Modelle in der ANSYS CFD Software für die numerische Simulation von Wandsiedeprozessen in Brennelementen von Druckwasserreaktoren zu verbessern. Schwerpunkt liegt hierbei auf der Kopplung von Wandsiedemodell und Wärmeleitung im Festkörper (CHT), der Kopplung des RPI-Wandsiedemodells mit Populationsbilanzmodellen, der Erweiterung des Wandwärmestrommodells im RPI-Wandsiedemodell sowie einer Verbesserung der CFD-Modellierung der Zwischenphasengrenzflächendichte und der wirkenden fluidodynamischen Kräfte zwischen beiden Phasen beim Übergang zwischen verschiedenen Strömungsregimen mit zunehmendem Dampfgehalt. Ein Brennelement-Bündelexperiment an der TOPFLOW-Versuchsanlage des HZDR wird schließlich die Validierung der CFD-Modelle ermöglichen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

- AP1: Kopplung von Wandsiedemodell und Wärmeleitung im Festkörper (CHT)
- AP2: Kopplung des RPI-Wandsiedemodells mit Populationsbilanzmodellen
- AP3: Erweiterung des Wandwärmestrommodells im RPI-Wandsiedemodell
- AP4: Algebraische Modellierung der Zwischenphasengrenzfläche und symmetrische Modellierung des Phasenimpulsaustausches; Integrale Modellvalidierung an dem HZDR-Brennstabündel-Experiment
- AP5: Bereitstellung des CFD-Moduls für die Verbundprojektpartner, Dokumentation und Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die im Berichtszeitraum ausgeführten Arbeiten konzentrierten sich auf den AP3, wobei die AP2, AP4 und AP5 ebenfalls in Teilaspekten bearbeitet wurden.

Um die Genauigkeit der Siedemodellierung zu erhöhen, wurde im Berichtszeitraum die Kopplung zwischen einem Populationsbilanzmodell (MUSIG) und dem Wandsiedemodell (RPI) implementiert. Diese Kopplung kann sowohl mit der homogenen als auch mit der inhomogenen Version des MUSIG-Modells kombiniert werden. Eine ausführliche Validierung für das homogene MUSIG-Modell wurde in der zweiten Hälfte des Jahres 2010 durchgeführt. Um die Arbeiten an AP2 abzuschließen, wurden die Projektpartner vom HZDR bei ihrer Validierung der inhomogenen MUSIG-Modell-Version anhand von DEBORA-Versuchen unterstützt. Die Anwendung des inhomogenen MUSIG-Modells ist in

Fällen mit einem großen Blasendurchmesserspektrum von wesentlicher Bedeutung. Es ist bekannt, dass die Auftriebskraft ab einem bestimmten kritischen Blasendurchmesser die Wirkungsrichtung wechselt. Dieser Effekt kann nur mit dem inhomogenen MUSIG-Modell simuliert werden.

Außerdem wurde intensiv an AP3 gearbeitet. Die Standard-Formulierung des RPI Wandsiedenmodells berücksichtigt drei physikalische Phänomene, d. h. konvektiven Wärmeübergang zur flüssigen Phase, transienten Wärmeübergang wegen Blasenablösung (Quenching) sowie Wärmeübergang auf Grund von Verdampfung. Diese Formulierung ist nicht mehr gültig, wenn man Anwendungen simuliert, wo die Wärmestromdichte an der beheizten Wand so groß ist, dass die Wand größtenteils von Dampf bedeckt ist. Die Flüssigkeit im inneren der Strömung ist dann von der beheizten Wand isoliert. In solchen Fällen findet ein konvektiver Wärmeübergang von der Wand zur Dampf-Phase statt. Um dieses weitere Phänomen berücksichtigen zu können (und damit einen breiteren Bereich von Anwendungen berechnen zu können), wurde eine Erweiterung des RPI Modells implementiert. Diese Erweiterung hat Auswirkungen auf eine Reihe anderer implementierter Modelle bzw. Erhaltungsgleichungen, da die Energieerhaltungsgleichung für die Dampf-Phase modifiziert werden muss. Ein erster Software-Prototyp basierend auf ANSYS CFX Vers. 14.0 wird demnächst für die Projektpartner zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus wurde im Berichtszeitraum an weiteren Validierungs-Testfällen, bzw. Brennstabündel-Simulationen gearbeitet. Dafür wurde der OECD-PSBT-Benchmark ausgewählt und ausführlich untersucht. Der PSBT-Benchmark besteht aus einem typischen zentralen Unterkanal mit 4 beheizten Rohrwänden unter DWR-Bedingungen. Gemischdichte- bzw. Dampfgehaltmessungen liegen in diesem Benchmark für ein weites Spektrum von Betriebsbedingungen vor. Verschiedene verfeinerte Gitternetze wurden erstellt und die Simulationen wurden mit dem Wandsiedemodell und verschiedenen Turbulenzmodellen ausgeführt. Fünf verschiedene Modellvarianten mit verschiedenen Randbedingungen wurden untersucht. Die Simulationen zeigen, dass der Einsatz von Reynolds-Stress-Turbulenzmodellen erforderlich ist, um die Sekundärströmungen in den Unterkanälen mit ihren potentiellen Auswirkungen auf die Dampfverteilung an der Brennstaboberfläche genau simulieren zu können. Die erste Phase des OECD-PSBT-Benchmarks wurde erfolgreich abgeschlossen, wobei die numerischen Simulationen mit Abweichungen von weniger als 10 % recht gut mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmten.

Über den gesamten Berichtszeitraum hinweg fand mit den Projektpartnern ein regelmäßiger und intensiver Austausch von Informationen, gewonnenen Erfahrungen und neuen Erkenntnissen sowie von neu implementierten Modellen in ANSYS CFX in Form von CFD-Solver-Prototypen statt, die insbesondere am HZDR intensiven Tests und Validierungsuntersuchungen unterzogen wurden. Da für Ende 2011 ein neues Release von ANSYS CFX geplant ist, wurden die bis heute durchgeführten Modell-Implementierungen auf den Stand von ANSYS CFX 14 (Preview 3) aktualisiert und werden so in der kommenden Version von ANSYS CFX allgemein verfügbar sein.

4. Geplante Weiterarbeiten

Für den nächsten Berichtszeitraum ist die Validierung der implementierten Erweiterungen des RPI Modells geplant. Der Testfall nach Bartolomej mit höherem Dampfgehalt wurde hierfür ausgewählt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Validierung der Modelle in ANSYS CFX anhand der experimentellen Daten der einphasigen und Kühlmittelversuche an der Versuchsanlage am HZDR.

5. Berichte, Veröffentlichungen

PSBT - CFD Simulation of Subcooled Boiling in Heated Subchannel Geometry using ANSYS CFX 13.0. Th. Frank, F. Reiterer, C. Lifante. 12.04.2011. PSBT-2-Workshop. KTH, Stockholm, Sweden.

Polydisperse Wall Boiling Modelling and Validation. C. Lifante, Th. Frank, F. Reiterer. 24.03.2011. CFD-Verbund für Kernreaktorsicherheit, Garching, Deutschland.

Wall boiling modeling in ANSYS CFD. State of the art, CFD model validation & applications. C. Lifante. Thermodynamik-Seminar. Technische Universität München. 06.05.2011.

Coupling of a population balance approach with the RPI wall boiling model. Part I. C. Lifante, Th. Frank, A. Burns. 09.06.2011. 9th HZDR-ANSYS Workshop Multiphase Flows. Dresden, Deutschland.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 NUK 010H
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Experimentelle Untersuchung des Einflusses reaktorspezifischer Kühlmittelzusätze auf Siedevorgänge		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 468.048,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Hurtado	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einem gemeinsamen Verbundprojekt sollen CFD-Modelle für Siedevorgänge in Druckwasserreaktoren vom Blasensieden bis hin zu Phänomenen des Filmsiedens weiterentwickelt und validiert werden.

Das Ziel der Arbeiten an der Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik besteht dabei darin, die Wirkung DWR-typischer Kühlmittelzusätze auf das Siedeverhalten an beheizten metallischen Wänden experimentell zu untersuchen und die Ergebnisse für die Modellbildung aufzubereiten.

Zusammenarbeit mit Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, KIT, Ruhr-Universität Bochum, Technische Universität München, Hochschule Zittau-Görlitz und ANSYS Germany GmbH.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Planung und Konstruktion der Versuchsanlage
- AP2: Errichtung und Inbetriebnahme der Versuchsanlage
- AP3: Versuche ohne Kühlmittelzusätze
- AP4: Versuche mit Kühlmittelzusätzen
- AP5: Auswertung der Versuchsdaten

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Planung und Konstruktion sowie die Fertigung und Errichtung der Versuchsanlage SECA (Study into the effects of coolant additives) ist abgeschlossen. Die Entwurfs-, Bau- und Druckprüfung der Anlage ist vom TÜV positiv abgenommen worden (Betriebsgenehmigung ab 28.04.2011). Bedingt durch eine komplette Renovierung der Versuchshalle, des Neubaus des Gerüsts und eines vollständigen Austausches der Elektrik des Versuchsfeldes zur Verbesserung der Arbeitssicherheit, hat sich die Installation der Anlagenperipherie (Messtechnik, Wärmeabfuhr etc.) verzögert, so dass mit der Inbetriebnahme erst zum Ende des Berichtszeitraumes begonnen werden konnte.

4. Geplante Weiterarbeiten

Die Inbetriebnahme ist fast abgeschlossen und die Versuche ohne Kühlmittelzusätze werden in Kürze beginnen. Die Versuche mit Kühlmittelzusätzen werden voraussichtlich 3 Wochen später folgen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

R. Nakath; C. Schuster; A. Hurtado: Experimentelle Untersuchung des Einflusses reaktorspezifischer Kühlmittelzusätze auf Siedevorgänge in Druckwasserreaktoren, Jahrestagung Kerntechnik 2011, Berlin, 17.-19. Mai 2011, Tagungsbericht

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		Förderkennzeichen: 02 NUK 010I
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt Modellierung, Simulation und Experimente zu Siedevorgängen in Druckwasserreaktoren; TP: Darstellung von Siedevorgängen mittels PIV und Optischer-Kohärenz-Tomographie		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2009 bis 31.07.2012	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 283.252,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Koch	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In diesem Teilprojekt wird das Ziel verfolgt, den Einfluss der Blasenbildung auf den Wärmetransport von Brennelementen zur Kühlflüssigkeit zu verstehen und zu optimieren und damit zur Erhöhung der Sicherheit und weiteren technischen Verbesserung von Reaktoren beizutragen. Dazu sollen die Erscheinungen beim Blasensieden von der Einzelblase bis zum Blasenfilm dreidimensional und mit hoher zeitlicher Auflösung sichtbar gemacht werden um diese experimentellen Befunde mit den theoretischen Vorhersagen vergleichen zu können. Alle bisher bei der Erforschung von Dampfblasen eingesetzten Verfahren können entweder nur zweidimensionale Projektionen darstellen oder es können nur einzelne Momentaufnahmen dreidimensional erfasst werden. Nur durch die 4D-Erfassung (3 Raum- und eine Zeit-Dimension) ist eine Optimierung und Verifizierung der theoretischen Modelle möglich.

Wissenschaftliche und technische Teilziele sind deshalb:

- Aufbau eines Versuchsstands zur gezielten Erzeugung von Einzelblasen und Blasenfilmen mit optischem Zugang (Versuchsstand Deionat).
- Aufbau eines Systems zur Darstellung von dynamischen 3-dimensionalen Strukturen mit hoher zeitlicher Auflösung (Aufbau des schnellen OCT-Systems).
- Visualisierung von 3-dimensionalen Gas-Flüssigkeitsstrukturen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung.
- Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit den Vorhersagen der theoretischen Modelle.

Für die Aufklärung der Siedevorgänge ist die Verwendung schneller zweidimensionaler Bildgebung PIV und tiefenauflösender Optischer Kohärenztomographie (OCT) einschließlich Methodenentwicklung dringend erforderlich. Der Aufbau des Versuchstandes zur Erzeugung von Einzelblasen und Blasenfilmen erfolgt in enger Abstimmung mit der Gruppe von Frau Prof. Traichel, an der Hochschule Zittau/Görlitz. Auch verfügen diese Arbeitsgruppe und die anderen Partner im Verbund über die notwendigen theoretischen und praktischen Kenntnisse bei der Beschreibung und Erzeugung von Blasen und Blasenfilmen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Auswahl und Aufbau eines optimierten OCT-Systems für das Studium der Dampfblasen
2. Anpassung der Konstruktion eines vorhandenen OCT-Messkopfes an den Versuchsstand zur Blasenherzeugung. Aufbau des OCT-Messkopfes.

3. Auswahl und Optimierung der synchronen Bildgebung mittels Kamera.
4. Optimierung der Beleuchtung (Stroboskoplicht).
5. Optimierung und Aufbau eines OCT-Messkopfes zur parallelen Messung mit Kamera und OCT für unterschiedliche relevante Geometrien.
6. Entwicklung und Programmierung der synchronen Erfassung mittels Kamera (PIV) und OCT.
7. Durchführung der Experimente an Einzelblasen, Blasensystemen bis zum Blasenfilm.
8. Auswertung der Daten.
9. Gemeinsame Zusammenstellung der Ergebnisse.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Stand zu Beginn des Berichtszeitraumes:

Zu Beginn des Berichtszeitraumes stand eine Messkammer zur Verfügung, mit welcher es möglich war sowohl Blasensieden als auch Filmsieden mit Hilfe der Optischen Kohärenztomografie dreidimensional zu dokumentieren.

Im Laufe des Berichtszeitraumes wurden die Aufnahmeparameter weiter optimiert. Es wurde die optimale Konzentration von Streuzentren im Medium ermittelt. Als Streumedium wurde Intralipid eingesetzt. Bei Intralipid handelt es sich um eine Ölemulsion, welche in der Klinik für die künstliche Ernährung eingesetzt wird. Es wurde eine optimale Konzentration von 0,1 % Intralipid ermittelt. Es wurden im Weiteren gezielte Aufnahmen des Blasenfußes erstellt. Zeitlich aufgelöste zweidimensionale Bilderstapel wurden während des Blasenwachstums erfasst und für die offline Auswertung eingesetzt. Ein wichtiger Arbeitspunkt im Berichtszeitraum war die Entwicklung der Software für die Auswertung der erfassten Bilder. Es wurde eine LabVIEW basierte Software erstellt, die nicht nur eine morphologische Analyse der Blasengeometrie während des Wachstums ermöglicht, sondern dahingehend erweitert ist, dass ebenfalls die durch die Optische Kohärenztomografie bereitgestellte Phaseninformation ausgewertet werden kann. Die Phaseninformation, insbesondere die Phasendifferenz zweier zeitlich und örtlich benachbarter A-Scans, liefert Informationen über die Strömungsverhältnisse am Blasenfuß während des Wachstum, des Ablösens der Blase und dem Kollabieren von Dampfblasen. Die entwickelte Software ermöglicht es folgende Parameter zu bestimmen: Blasendurchmesser, zeitliche Veränderungen des Blasendurchmessers, Kontaktwinkel, Durchmesser des Blasenfußes, Strömungsgeschwindigkeiten im Umkreis der Dampfblase. Weiterhin können dreidimensionale Strömungsprofile erstellt werden.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Erweiterung der Messung um statistisch signifikante Aussagen zu treffen
- Etablierung der OCT-Messung am Versuchsstand Deionat (Kooperation FH Zittau/Görlitz)
- 4 dimensionale Dokumentation des Blasenwachstums am Versuchsstand Deionat

5. Berichte, Veröffentlichungen

L. Kirsten, et al.: "Optical coherence tomography for imaging of subpleural alveolar structure using a Fourier domain mode locked laser", Proceedings of SPIE 8091, 809118, (2011)

Bachelorarbeit, Juliane Herold: "Visualisierung der Geometrie und Geschwindigkeit von Siedevorgängen auf heißen Oberflächen mittels Optischer Kohärenztomografie", (2011)

L. Kirsten, et al.: "Effect of detuning in Fourier domain mode locked lasers on the performance of optical coherence tomography", DPG Jahrestagung, Dresden, Deutschland, (2011)

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG), Hansastr. 27c, 80686 München		Förderkennzeichen: 02 NUK 011A
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt A		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 484.253,45 EUR	Projektleiter: Dr. Dudlik	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

- Koordination des Gesamtprojektes
- Beratung der Projektpartner bei Umbau, Betrieb und Messtechnik der Versuchsanlagen
- Konzeptionierung und Umbau des institutseigenen Versuchsstandes
- Teilnahme an den Druckstoß-Seminaren

Im Rahmen des Gesamtprojektes werden in diesem Teilprojekt wichtige experimentelle Daten erzeugt werden, die zur Validierung von neuen Modellen benötigt werden. Diese Modelle werden von den universitären Projektpartnern erstellt, mit experimentellen Daten verglichen und im Rahmen des Projektes optimiert. Die beiden im Projekt beteiligten TUEV-Organisationen qualifizieren die neuen Modelle und nutzen sie für die Berechnung kerntechnischer Aufgabenstellungen.

Darüber hinaus obliegt Fraunhofer UMSICHT die Gesamtkoordination sowie die Leitung aller experimentellen Arbeiten, die außer in Oberhausen an den Versuchsanlagen in Hamburg und München durchgeführt werden sollen. Dies schließt u. a. Beratung bei der Planung, aber auch den koordinierten Austausch wichtiger, teurer oder zeitlich knapp verfügbarer messtechnischer Geräte mit ein.

So wurde z. B. die speziell zu konstruierende Kaltwassereinspeisung bei UMSICHT entworfen und getestet, bevor an den anderen Versuchsanlagen ähnliche Geometrien eingebaut werden. Weiterhin werden einige, mit z. T. langer Lieferzeit versehene transiente Druckaufnehmer an die TUHH ausgeliehen.

Das Vermitteln neuer Erkenntnisse an dritte erfolgt u. a. durch die Teilnahme und Vortragstätigkeit an den im Projekt durchzuführenden Druckstoss-Seminaren. Weiterhin finden die Projektergebnisse Verbreitung durch regelmäßig durchgeführte, weiterbildende Veranstaltungen, z. B. beim Haus der Technik, Essen, bei dem 4 - 6 mal/Jahr Druckstoss-Seminare unter der Leitung von H. Dudlik durchgeführt werden.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Leitung des AP2: Experimente zu Kondensationsschlägen, Koordination Gesamtprojekt

Im 1. Halbjahr 2011 wurden die Arbeiten zu AP2 fortgeführt: Schwerpunkt waren die Konstruktion und Funktionsprüfung der Einspeisestelle Kaltwasser. Das Bauteil soll unterschied-

liche reale Einspeisegeometrien in (nuklearen) Anlagen simulieren. Unterschiede existieren z. B. in der geführten / ungeführten Kaltwasserstromführung, der Konstruktion der Hutze, usw.

Die unterschiedlichen Ausführungen der Kaltwassereinspeisung können wiederum Auswirkungen auf Bildung und Zerfall lokaler Dampfblasen in der Speisewasserleitung haben und stellen damit Modellparameter in den physikalischen Modellen dar.

Weiterhin wurden ein Durchlauferhitzer bestellt, der mit unaufbereitetem Wasser arbeiten kann und somit erheblich mehr Versuche möglich werden läßt als wenn man entsalztes und entgastes Wasser benutzt und dieses recycelt (Kondensat- und Speisewasseraufbereitung).

Im Rahmen der Koordination des AP2 werden Druckaufnehmer an die TUHH ausgeliehen, die Einspeisestelle wird ebenfalls nach München (BWM) ausgeliehen, TUHH baut die Einspeisung im Maßstab 1:2 nach.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden 2 Meetings, 1 Treffen des Lenkungsausschusses sowie 1 DS-Seminar in Hamburg organisiert bzw. es wurden Vorträge für diese Veranstaltungen vorbereitet und gehalten.

Nach Auswahl eines geeigneten Materials für den Durchlauferhitzer wurde dieser bestellt und ab November 2011 in die UMSICHT-Anlage eingebaut.

Die Partner TUHH und BWM wurden bei Um- / Neubau ihrer Versuchsanlagen beraten.

4. Geplante Weiterarbeiten

Der Anlagenumbau wird fortgesetzt. Derzeit werden die am Institut vorhandenen transienten Druckaufnehmer geprüft und es wird nach einem geeigneten Kalibrierverfahren recherchiert. Parallel dazu sollen Testmatrizen erstellt, weitere experimentelle Randbedingungen für die jeweiligen Versuchsanlagen definiert und praktisch umgesetzt werden.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: TÜV NORD SysTec GmbH & Co KG, Große Bahnstr. 31, 22525 Hamburg		Förderkennzeichen: 02 NUK 011B
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt B		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 496.419,92 EUR	Projektleiter: Dr. Schaffrath	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung von kondensationsinduzierten Druckstößen in Rohrleitungssystemen. Neue, experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass vorhandene analytische Modelle keine abdeckenden Ergebnisse liefern und daher zu verbessern sowie zu validieren sind. Im Rahmen des Vorhabens sollen die bei kondensationsinduzierten Druckstößen auftretenden Phänomene beschreiben und anschließend modelliert werden. Die Modelle sollen validiert, in bestehende 1D sowie 3D Codes eingebunden und für den Einsatz in kerntechnischen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren qualifiziert werden. Darüber hinaus soll das Vorhaben einen Beitrag dazu liefern, die Sicherheit der sich im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke entsprechend dem Atomgesetz nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu gewährleisten. Das Forschungsvorhaben wird im Verbund mit der TÜV Süd Industrie Service GmbH, dem IMS der Technischen Universität Hamburg-Harburg, dem E.on-Energie-Lehrstuhl für Nukleartechnik an der Technische Universität München und dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT sowie dem Institut für Hydromechanik und Wasserbau an der Bundeswehr Universität München durchgeführt. Für die Zusammenarbeit wurde zwischen den Partnern ein Kooperationsvertrag geschlossen, die Arbeitsteilung ist in dem Projektantrag geregelt.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Forschungsvorhaben ist in 6 Arbeitspakete (AP1 - AP6) unterteilt. Zusätzlich ist die Durchführung von 2 Seminaren vorgesehen (AP-S). Jedes Arbeitspaket wird von einem sog. technischen Manager geleitet.

AP1: Modell und Datenrecherche

AP2: Experimente zu Kondensationsschlägen

AP3: Entwicklung eines Kondensationsschlagmodells

AP4: Implementierung und Validierung des Modells in DYVRO Mod. 3

AP5: Softwarequalifizierung für kerntechnische Anwendungen

AP6: Abschlussbericht

APS: Druckstoßseminare

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nachfolgend gehen wir nur auf die AP ein, in denen im Berichtszeitraum Arbeiten durchgeführt wurden. Dies sind der AP1, der AP2 sowie der APS.

AP1: Gemäß den Vorgaben des technischen Managers des AP1 zur Aufteilung der Arbeiten wurde die „Modell- und Datenrecherche“ zu kondensationsinduzierten Druckstößen fortgeführt. Das

Augenmerk bei der Recherche und dem Vergleich von Modellen lag auf der Berechnung der Höhe des Druckstoßes. Die Bewegung der dabei aufeinander treffenden Wassersäulen wird durch deren Trägheit, Reibung an der Rohrwandung sowie die Kondensationsrate im eingeschlossenen Dampfbereich limitiert. Die Liste der Parameter mit einem Einfluss auf die Höhe der Drucksteigerung besteht nicht ausschließlich aus dem Systemdruck und der Unterkühlung der Flüssigphase, sondern auch aus Größe und Zeitpunkt der sich bildenden Wasserpfropfen sowie deren Abstand voneinander. Die TÜV NORD SysTec wertete die Modelle der Autoren Schnellhammer, Harling, Jackobek, Schulz und Disselhorst aus und verglich die Ergebnisse mit Messwerten aus der Literatur. Einen Zwischenstand der Auswertung präsentierte die TÜV NORD SysTec den Projektpartnern sowie dem Projektträger auf der Lenkungsausschusssitzung in München am 3.2.2011.

AP2: Die TÜV NORD SysTec hat zusammen mit der TÜV Süd Industrie Service eine Zusammenstellung von typischen Einspeisegeometrien in den von uns betreuten KKW erstellt.

APS: Das 1. Seminar des Verbundes CIWA wurde am 24. und 25. Februar 2011 bei der TÜV NORD SysTec abgehalten. Neben der Organisation trug die TÜV NORD SysTec mit mehreren eigenen Vorträgen zur fachlichen Gestaltung bei. Das Seminar wurde von den Teilnehmern äußerst positiv aufgenommen.

TÜV NORD SysTec organisiert ein sog. Mini-Symposium zu „Pressure Surges in Nuclear Power Plants“ auf der 14th International Conference on Nuclear Reactor Thermalhydraulic (NURETH 14), die vom 25.-29. September 2011 in Toronto (Canada) stattfindet. Ein eigens hierzu von der TÜV NORD SysTec erstellter Call for Papers hatte ein Einreichen von 12 weiteren Abstracts zu Folge. Bei dem Review der Abstracts war die TÜV NORD SysTec mit mehreren Mitarbeitern beteiligt.

4. Geplante Weiterarbeiten

Nachfolgend gehen wir nur auf die AP ein, in denen im folgenden Berichtszeitraum Arbeiten durchgeführt werden sollen. Dies sind die AP1, AP2, AP4 sowie der AP5.

AP1: Die Literaturrecherche zeigte, dass zwar diverse Modelle zur Berechnung der Höhe des Druckstoßes existieren. Für diese müssen jedoch umfangreiche Ausgangsbedingungen, die ebenfalls einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der Druckstöße haben, vorgegeben werden. Das in diesem Forschungsvorhaben zu entwickelnde Modell soll frei von Vorgaben der Größe und Zeitpunkt der sich bildenden Wasserpfropfen, deren Abstand voneinander sowie der Kondensationsrate des eingeschlossenen Dampfes sein. Die Bildung eines Wasserpfropfens wird durch den Geschwindigkeitsunterschied zwischen den Phasen, hier kann lokale Kondensation zu erheblichen Abweichungen von der globalen Strömung führen, verursacht. Folglich sind ein geeignetes Aufwallmodell sowie ein Stoffübergangsmodell, welches auch die Kondensation der eingeschlossenen Dampfblase beschreibt, auszuwählen oder ggf. im AP3 neu zu entwickeln. Mögliche Optionen hierzu werden u.a von Schultz et al. diskutiert. (u. a. das Stabilitätskriterium von Kelvin-Helmholtz mit der Lösung von Taitel und Dukler).

AP2: Basierend auf der Literaturrecherche erstellt die TÜV NORD SysTec zusammen mit der TÜV Süd Industrie Service eine Spezifikation von Parametern, die die Versuchsstände in Summe abdecken sollen.

AP4: Ein in AP3 von den universitären Partnern entwickeltes 1D-Modell zur Berechnung von Amplitude und Zeitdauer ihres Anstehens soll in DYVRO implementiert und anschließend für das kerntechnische Aufsichts- und Genehmigungsverfahren qualifiziert werden. Vorbereitend hierfür definiert die TÜV NORD SysTec die Schnittstelle sowie die Übergabeparameter.

AP5: Es ist die Unterstützung des TÜV Süd Industrie Service bei den vorbereitenden Arbeiten zur „Software-Qualifizierung“ vorgesehen.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Westendstr. 199, 80686 München		Förderkennzeichen: 02 NUK 011C
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt C		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 202.790,00 EUR	Projektleiter: Swidersky	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Verbundprojekts CIWA werden Modellentwicklungen zur Berechnung von Direkt-Kondensationsvorgängen (CIWH) sowie experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Vorhabenziel ist u. A. die Bereitstellung eines experimentell validierten und wissenschaftlich fundierten Berechnungsmodells, das fluiddynamische Belastungen aus CIWH abdeckend ermittelt. Hierfür erfolgt eine qualifizierende Bewertung des Programmmoduls für die Anwendung in der kerntechnischen Überwachung und erlaubt die Entwicklung von Bewertungskriterien nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Die Zusammenarbeit erfolgt mit dem Fraunhofer UMSICHT, der technischen Universität München, der technischen Universität Hamburg-Harburg, der Bundeswehruniversität München sowie der TÜV Nord SysTec GmbH & Co. KG.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Im Rahmen des Arbeitspakets 5 des Verbundprojekts, werden von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH derzeit verfügbare und eingesetzte Berechnungsmethoden evaluiert.

Es erfolgen die konzeptionelle Planung durchzuführender Validierungsberechnungen, Versuchsnachrechnungen und die Definition von Qualifizierungsmerkmalen und programmtechnischer Schnittstellen.

Abschließend wird das Programmmodul für die Anwendung in kerntechnischen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren qualifizierend bewertet.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zuarbeiten zu AP1.1:

Literaturrecherche von Zysk, Esselman, und Van Duyne, EPRI GENERIC LETTER 96-06 WATERHAMMER ISSUES RESOLUTION, 2002. Das geplante Review der Versuche der American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) wurde durch die TÜV NORD SysTec GmbH & Co KG übernommen.

Zuarbeiten zu AP1.3:

Auswertung und Dokumentation existierender Messdaten des EPRI aus dem Jahr 2002. Beurteilung der funktionalen Zusammenhänge zwischen Unterkühlung, Systemdruck und maximaler Druckamplitude aus den Druckstoßmessungen der PMK-2-Anlage in Budapest.

Arbeiten zu AP5.1:

Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte von Validierungsprozeduren und Anforderungen in Anlehnung an internationale Standards. Es wurden insbesondere die Punkte aus dem ECORA Projekt 2004 berücksichtigt. Zusammenstellung in Frage kommender Benchmarks und Einzeleffekt-Tests aus verfügbaren Dokumenten wie den ATHLET- und RELAP5/MOD3-Validierungsbeschreibungen. Konzept für die CIWA-Validierungsprozeduren in Form einer ersten inhaltlichen Struktur. Zusammenfassung und Dokumentation der wesentlichen Testparameter. Einteilung in vier Typen von durchführbaren Versuchsreihen (CFC, ICW, SFC, SFF). Vorschlag für eine einheitliche Codierung von Versuchsreihen und Dokumentationstiteln. Bereitstellung eines Entwurfs für die einheitliche Gestaltung des Layouts auf der CIWA-Google-Web-page.

Überarbeitung und endgültige Einreichung einer Veröffentlichung für die 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics, NURETH-14, Toronto, September 25-30, 2011. Teilnahme und Vorträge auf folgenden Projektreffen:

- Lenkungsausschuss und CIWA-Projektreffen vom 03. bis 04.02.2011, TU München,
- Druckstoßseminar 24.-25.02.2011, TÜV NORD Akademie, Hamburg.

Zu anderen Arbeitspaketen wurden im Berichtszeitraum keine weiteren Zuarbeiten geleistet.

4. Geplante Weiterarbeiten

Ergänzungen zu AP1.1. Review der Arbeiten von Van Duyne et al., Rooney et al., Arastu et al., Bergant et al., Strubelj et al.

Weitere Ausarbeitung des Validierungskonzepts und Abschluss von AP5.1 bis Ende 2011. Zusammenfassung und Darlegung von Übereinstimmungen und Unterschieden der eingesetzten Berechnungsverfahren. Erstellung von Einzelberichten.

Geplantes Projektreffen Mitte November 2011 (Lenkungsausschuss),

Teilnahme an der Konferenz NURETH14 vom 25.-30.09.2011, Toronto, Kanada.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Hamburg-Harburg, Schwarzenbergstr. 95, 21073 Hamburg		Förderkennzeichen: 02 NUK 011D
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt D		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 305.621,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Schlüter	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorrangiges Ziel ist die Erfassung und Bewertung von schnellen Kontaktkondensationsvorgängen sowie eine Erweiterung derzeit bestehender Berechnungsmöglichkeiten. Hierfür sollen experimentelle Ergebnisse an einer Versuchsanlage gewonnenen und zur Validierung von Simulationen mit unterschiedlichen Programmcodes genutzt und die derzeitigen Grenzen in den Berechnungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Auf Basis theoretischer und experimenteller Arbeiten wird ein Berechnungswerkzeug entwickelt, das die Anforderungen bzgl. der Ermittlung konservativ abdeckender Ergebnisse erfüllt. Zu diesen Zwecken erfolgt eine zusätzliche Validierung mit den Ergebnissen von 2 weiteren Versuchsanlagen der Partner unter veränderten Geometrie- und Betriebsbedingungen. Die praktikable Anwendbarkeit des Modells in der Praxis stellt eine wichtige Forderung dar. Hierfür soll durch Entwicklung einer transparenten Datenschnittstelle das CIWA-Modul an externe System- und CFD-Codes gekoppelt werden können. In den o. g. Schwerpunkten werden die in dem Verbundprojekt involvierten Nachwuchswissenschaftler wechselweise eingebunden und erhalten damit einen starken Praxisbezug mit dem Ziel des Kompetenzerhalts in der Kraftwerkstechnik.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Modell- und Datenrecherche
- AP2: Experimente zu Kondensationsschlägen
- AP3: Entwicklung eines Kondensationsschlagmodells
- AP4: Implementierung und Validierung des Modells in DYVRO mod. 3
- AP5: Software-Qualifizierung für kerntechnische Anwendungen
- AP6: Abschlussbericht

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Ausrichtung des 1. Projekttreffens zur Versuchsanlagenplanung an der TUHH am 20. Januar 2011
- Abschluss der Bewertung bestehender Modelle sowie Auswertung und Dokumentation existierender Messdaten von Versuchen der Autoren Bankoff und Lim von der Northwestern University (Evanston, IL, USA) mit abschließendem Bericht, welcher an den Arbeitspaketkoordinator TU München übergeben wurde. Zudem wurden Messdaten und Literaturbewertungen in ein Online-Portal zum Austausch mit den Projektpartnern eingegeben.
- Einrichtung eines ftp-Servers auf welchem jeder Projektpartner digitale Literatur ablegen kann um sie so den übrigen Projektpartnern zur Verfügung zu stellen.
- Einrichtung einer neuen Projektwebseite zur besseren Präsentation des Projekts nach Außen sowie für einen schnelleren und sicheren Zugriff von den Projektpartnern.
- In Bearbeitung: AP2.1 Planung des Versuchsstands an der TUHH. Ein Kostenplan der geplanten Anlage mit allen Einzelteilen wurde erstellt. Dieser liegt zurzeit beim BMBF vor und wird hinsichtlich einer Umwidmung von Projektgeldern geprüft.
- In Bearbeitung: Planung Simulationsvorhaben an der TUHH.
- Begonnen: Bachelor-Arbeit mit dem Thema „Numerische Strömungssimulation von isothermen Zweiphasenströmungen in Kanälen und Rohren mit OpenFOAM“.

4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss von AP2.1 mit der Bestellung der Einzelteile des Versuchsstands.
- Start von AP2.2: Erstellung der Testmatrizen für die Versuchsanlage an der TUHH.
- Start von AP2.2a: Aufbau des Versuchsstandes an der TUHH.
- Vorversuche mit dem aufgebauten Versuchsstand.
- Start von AP3.1: Identifizierung signifikanter Größen für ein Kondensationsschlagmodell.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		Förderkennzeichen: 02 NUK 011E
Vorhabensbezeichnung: Verbundprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer; Teilprojekt E		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 216.560,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Macián-Juan	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Verbundprojekts CIWA werden Modellentwicklungen zur Berechnung von Direkt-Kondensationsvorgängen (CIWH) sowie experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Vorhabenziel ist u. a. die Bereitstellung eines experimentell validierten und wissenschaftlich fundierten Berechnungsmodells, das fluiddynamische Belastungen aus CIWH abdeckend ermittelt. Hierfür erfolgt eine qualifizierende Bewertung des Programmoduls für die Anwendung in der kerntechnischen Überwachung und erlaubt die Entwicklung von Bewertungskriterien nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Die Zusammenarbeit erfolgt mit dem Fraunhofer UMSICHT, der technischen Universität München, der technischen Universität Hamburg-Harburg, der Bundeswehruniversität München sowie der TÜV Nord SysTec GmbH & Co. KG

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1:

Modell- und Literaturrecherche wurde weiter koordiniert. Die Struktur der Datenbank wurde mit einer Kategorie für experimentelle Ergebnisse sowie mit Skizzen der Versuchsanlagen erweitert. Das AP1 wurde nicht abgeschlossen, sondern wird weiterbetreuet um immer die neuesten Erkenntnisse aus der Literatur aufzunehmen und so die Aktualität sicherstellen zu können.

AP3:

Die Entwicklung eines Kondensationsschlagmodells wurde begonnen. Nach einer ersten Literaturrecherche wurden Parameter identifiziert, die eine wichtige Rolle in Kondensationsschlagmodelle spielen.

3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Koordination von AP1:

Die bereits erstellte Datenbank wurde weiterhin von den Projektpartnern durch unsere Koordination vervollständigt, dieser Prozess wird weiterhin von uns koordiniert. Zusätzlich wurde die online-Datenbank um eine Kategorie speziell für experimentelle Ergebnisse erweitert. Diese neue Kategorie soll auch Skizzen der Versuchsanlagen beinhalten damit der Zusammenhang zwischen Versuchsparameter und Ergebnisse vereinfacht wird.

Koordination von AP3:

Einer der ersten Parameter die als wichtig für die Nachrechnung von Direktkontakt-kondensation, mit eventuellen Druckstößen, ist der Wärmeübergangskoeffizient. Die Literaturrecherche zu AP3 ergab zwei Ansätze die auf der Oberflächenerneuerungstheorie basieren. Modelle die auf dieses Theorie basieren empfehlen sich für die Nachrechnung von Phänomenen die einen stark lokalen Charakter aufweisen wie z. B. die Direktkontaktkondensation. Für die Implementierung der Modelle des Phasenübergangs musste das quelloffene CFD-Paket OpenFOAM 1.7.1 mit der Energieerhaltungsgleichung erweitert werden, da es diese nicht in der offiziellen Standard-Version beinhaltet. Der von uns neu entwickelte Solver der den Wärmeübergangskoeffizienten anhand der Oberflächenerneuerungstheorie berechnet, wurde anschließend erfolgreich mit experimentellen Daten der LAOKOON-Anlage verglichen. Die kommerziell verfügbare CFD-Software ANSYS CFX5 wurde ebenso mit Modelle für die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten basierend auf der Oberflächenerneuerungstheorie erweitert. Um die Fähigkeiten der neu implementierten Modelle weiter zu testen wurden erste Simulationen der PMK2-Anlage durchgeführt ohne aber die Möglichkeit zu haben diese mit experimentellen Daten zu vergleichen.

Es haben Gespräche mit UniBW und TÜV SÜD stattgefunden, um wichtige Messgrößen für die spätere Validierung eines Kondensationsschlagmodells zu identifizieren.

Eine Zusammenarbeit mit der TUHH wird begonnen, dabei soll unser Partner stark lokale Phänomene genau auflösen mittels LES und DNS.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP3 wird weiter koordiniert. Die implementierten Modelle sollen gegen experimentelle Messwerte verglichen und ausgewertet werden. Zuständige Personen wurden bereits kontaktiert.

Simulationen sollen durchgeführt werden mit getrennten Teileffekten um deren Einflüsse besser zu ermitteln sowie eventuelle Probleme vorhandener Modelle besser erkennen zu können und so das neue Kondensationsschlagmodell zu entwickeln.

5. Berichte, Veröffentlichungen

Ein Vortrag zum Thema „Direct Contact Condensation in horizontal Two-Phase Flow with OpenFOAM“ wurde im Rahmen der „Open Source CFD International Conference 2011“ akzeptiert.

Zuwendungsempfänger: Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg		Förderkennzeichen: 02 NUK 111F
Vorhabensbezeichnung: Kooperationsprojekt CIWA: Untersuchungen zu Kondensationsschlägen in Rohrleitungssystemen – Condensation Induced Water Hammer		
Zuordnung zum FuE-Programm: Nukleare Sicherheitsforschung: Reaktorsicherheit		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2010 bis 30.06.2013	Berichtszeitraum: 01.01.2011 bis 30.06.2011	
Gesamtkosten des Vorhabens: 234.175,00 EUR	Projektleiter: Prof. Dr. Malcherek	

1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Phänomen Kondensationsstoß kann zu wesentlich höheren Druckspitzen führen als klassische Druckstöße, verursacht durch schnelles Schließen von Armaturen. Der Kondensationsstoß kann rechnerisch nur unzureichend modelliert werden, ferner ist es bisher nicht gelungen Systemcodes an Experimenten zu validieren.

Experimente zu Kondensationsstößen wurden z. B. an der PMK-2, ROSA, etc. durchgeführt. Die Ergebnisse wurden unzureichend protokolliert bzw. sind für die Öffentlichkeit nicht in vollem Umfang verfügbar. Im Rahmen dieses Projekts soll daher an der UniBw ein Versuchsaufbau zur Erzeugung von Kondensationsstößen aufgebaut werden. Der Versuchsaufbau soll die numerische Modellierung, ein Projekt der Technischen Universität München, unterstützen sowie Validierungsdatensätze bereitstellen.

2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Stand des Wissens zu Kondensationsschlägen

AP2: Experimente zu Kondensationsschlägen

AP3: Entwicklung eines Kondensationsschlagmodells

AP4: Implementierung und Validierung des Modells in DYVRO mod. 3

AP5: Software-Qualifizierung für kerntechnische Anwendungen

