

Angesichts zukünftig knapperer Budgets für öffentliche Förderung kerntechnischer Forschung und Entwicklung wollen 8 große deutsche Unternehmen und die im Kompetenzverbund Kerntechnik zusammengeschlossenen Hochschulen und Forschungseinrichtungen bei der Kompetenzerhaltung durch gemeinsame Forschungsprojekte verstärkt zusammenarbeiten. Auslöser war das Positionspapier der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften vom September 2011, das auf die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der kerntechnischen Kompetenz trotz des beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie aufmerksam gemacht hat. Im Rahmen der Empfehlungen dieses Positionspapiers haben sich die Leiter für Forschung und Entwicklung der 8 Unternehmen darüber verständigt, wo im Zeichen der Energiewende aus Sicht der Industrie künftig die Schwerpunkte der kerntechnischen Forschung liegen sollten. Auf dieser Basis haben die Vertreter der Industrie und der öffentlichen Kernforschung in Ergänzung zum acatech-Papier Forschungsthemen von beiderseitigem Interesse identifiziert, die im Rahmen bestehender Forschungsprogramme der Bundesregierung Aussicht auf Förderung haben. Mit der Durchführung dieser Forschungsprojekte soll die kerntechnische Kompetenz in der Industrie und in Forschung und Lehre erhalten und weiterentwickelt werden.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Michael Fuchs

Leiter Technik

E.ON Kernkraft GmbH

Tresckowstraße 5, 30457 Hannover

Dr. Norbert Haspel

Vice President & Managing Director

Central Europe

Westinghouse Electric Germany GmbH

Dudenstraße 44, 68167 Mannheim

Dr. Uwe Kleen

Leiter Grundsatzfragen Kerntechnik

Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH

Überseering 12, 22297 Hamburg

Dr. Stefan Nießen

Vice President Research & Development,

Patent Management

AREVA NP GmbH

Paul-Gossen-Str. 100, 91052 Erlangen

Dr. Wolfgang Steinwarz

Geschäftsführung

Siempelkamp Nukleartechnik GmbH

Siempelkampstraße 45, 47803 Krefeld

Dr. Hannes Wimmer

Vorsitzender der Geschäftsführung

GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH

Frohnhauser Straße 67, 45127 Essen

Kompetenzerhaltung in der Kerntechnik – Forschungsbedarf aus Sicht der Industrie

Norbert Haspel, Michael Fuchs, Uwe Kleen, Stefan Nießen, Wolfgang Steinwarz und Hannes Wimmer

Im September 2011 legte die acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften ihr Positionspapier „Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten“ vor [1]. In diesem Positionspapier heißt es: „Der Ausstieg aus der Kernenergie darf nicht gleichbedeutend sein mit einem „Ausstieg“ aus den kerntechnischen Kompetenzen. Diese werden in den Bereichen Reaktorsicherheit, Strahlenschutz, Rückbau, Endlagerung, Krisenmanagement sowie zur kritischen Begleitung internationaler Entwicklungen noch weit über den deutschen Ausstieg hinaus gebraucht. Die Bundesregierung hat diesen Gedanken bei der Verabschiedung des 6. Energieforschungsprogramms mit dem Titel „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ im August 2011 verstärkt. acatech hält es deshalb für notwendig, „die kerntechnische Forschung nicht zu beenden, sondern vielmehr neu zu priorisieren und nach den mit dem Atomausstieg einhergehenden Herausforderungen auszurichten.“

An der Erarbeitung des Positionspapiers waren alle im Kompetenzverbund Kerntechnik zusammengeschlossenen Forschungseinrichtungen beteiligt. Das Papier benennt aus der Sicht der Forschungseinrichtungen konkret die wichtigsten Gebiete, auf denen Forschungsbedarf gesehen wird. Auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit sind das:

- Anlagensicherheit und Auslegungsstorfälle
- Auslegungsüberschreitende Storfälle
- Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA)
- Fragestellungen zur Sicherheitskultur
- Sicherheitsbewertung osteuropäischer Reaktoren im Rahmen der Abkommen zur wirtschaftlich-technischen Zusammenarbeit
- Innovative Sicherheitskonzepte
- Rückbau von Kernkraftwerken
- Internationale Zusammenarbeit

Die Industrieseite nahm das acatech-Positionspapier zum Anlass, den Forschungsbedarf aus Sicht der Industrie zu ermitteln und sich ihrerseits im Zeichen der Energiewende über Prioritäten zu verständigen.

Hierzu fanden sich im Oktober 2011 die Leiter für Forschung und Entwicklung von 8 großen deutschen Industrieunternehmen unter der Koordination von Dr. Stefan Nießen (Areva) zusammen und riefen die Initiative „Forschungsbedarf für die Kompetenzerhaltung der kerntechnischen Industrie in Deutschland“ ins Leben.

Die gemeinsame Motivation dazu war folgende: Da im Zuge der Ausstiegspolitik befürchtet werden muss, dass die verfügbaren Forschungskapazitäten und -budgets im öffentlichen Bereich knapper werden, erscheint ein effizienter Einsatz der Ressourcen umso wichtiger. Ein gemeinsamer Vorschlag der Industrie für Forschungsprojekte bietet die besten Chancen für die Kompetenzerhaltung. Ein gemeinsamer Vorschlag bietet eine gute Basis für eine abgestimmte Prioritätensetzung zwischen Industrie und öffentlicher Forschung sowie eine enge Verzahnung der Forschungsteams beider Seiten.

Im 1. Schritt verständigten sich die beteiligten Unternehmen über die Anwendungsgebiete, auf denen in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten kerntechnische Kompetenz benötigt wird (Abbildung 1), nämlich

- Betrieb der laufenden Reaktoren der Generation II
- Brennelementauslegung und -fertigung
- Beherrschung schwerer Störfälle (Nachweise und ggf. Nachrüstungen und Accident-Management-Maßnahmen)
- Passive Sicherheitssysteme und -komponenten für (schwere) Störfälle und Nachbetrieb
- Neubau von Reaktoren der Generation III
- Nachbetriebsphase, Stilllegung, Rückbau, Abfallkonditionierung
- Behälter, Transport und Logistik
- Zwischen- und Endlagerkonzepte
- Partitioning & Transmutation
- Kernfusion und
- Technologie von Reaktoren der Generation IV

Die Anwendungsfelder des kerntechnischen Know-hows sind also auch für die deutsche Industrie weit gestreut. Auf allen

verlieren. Insbesondere erlaubt die Beschäftigung mit diesen Themen gerade auch Nachwuchstalente durch das Erlernen und die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen, die grundsätzlich auch für die anderen Anwendungsgebiete nützlich sind.

Eine Auswertung nach Forschungsgebieten ergibt als Schwerpunkte Thermohydraulik und Fluidodynamik mit 24 % und Werkstofftechnik mit 19 % der Nennungen (Abbildung 3). Das Themenfeld der thermohydraulischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Beherrschung schwerer Störfälle hat zwar angesichts der Ereignisse in Fukushima die meisten Punkte erhalten. Jedoch ist dies bei Weitem nicht das einzige Thema, wie die breite Verteilung der Punkte in der Matrix anschaulich zeigt.

	Laufende Reaktoren Generation II	Brennelement-Auslegung und -Produktion	Beherrschung schwerer Störfälle	Passive Sicherheitssysteme und -komponenten für schwere Störfälle und Nachbetrieb	Neubau Generation III	Nachbetriebsphase, Stilllegung, Rückbau, Konditionierung	Behälter, Transport und Logistik	Zwischen- und Endlagerkonzepte	Partitioning & Transmutation	Kernfusion	Reaktoren Generation IV
Werkstofftechnik, Fertigungstechnik	23	6	30	20	18	17	16	6	5	5	8
Strukturmechanik z.B. mechanische Nachweismethoden	28	9	3	2	5	15	14	5	2	2	0
Thermohydraulik, Fluidodynamik, Thermodynamik	35	15	63	21	20	9	7	3	1	1	17
Chemie insbesondere Radiochemie, Dekontamination	6	1	2	0	2	14	0	5	3	1	1
Neutronik	10	11	3	0	2	3	4	3	3	2	4
Elektrotechnik, Leittechnik	24	0	4	0	14	6	0	0	0	0	0
Informationstechnologie insbes. IT-Sicherheit, Mensch-Maschine Schnittstelle	26	0	0	0	4	3	0	1	0	0	0
Bauingenieurwesen	12	0	8	0	7	7	0	0	0	0	0
Geologie, Seismologie, Bergbau	16	0	6	5	3	0	1	21	0	0	0
Organisation und personenbezogene Faktoren (Human Factor Engineering)	9	0	16	0	5	4	0	2	0	0	1
Governance und Kommunikation, Sicherheitskultur	3,5	2	5,5	0	5	1	0	3	0	1	5
Rechts- / Genehmigungsverfahren	3	0	2	0	5	9	12	9	0	2	0
Meteorologie z.B. Radiologie, langfristige Kühlbarkeit von Standorten	1	0	1	0	12	0	0	2	0	0	0

Abb. 1: Themenmatrix

diesen Gebieten gibt es Forschungsbedarf. Dieser leitet sich her aus

- dem weiteren Betrieb von 9 Kernkraftwerken im Inland auf dem Stand von Wissenschaft und Technik
- dem vorzeitigen Rückbau der deutschen Kernkraftwerke sowie der Entsorgung radioaktiver Abfälle im Inland
- dem Kompetenzerhalt deutscher Unternehmen im internationalen Wettbewerb und
- dem deutschen Interesse an einem Höchstmaß an kerntechnischer Sicherheit im Ausland und verantwortlicher Mitwirkung Deutschlands in internationalen Institutionen

Zu den in Abbildung 1 aufgeführten Anwendungsgebieten wurden die dafür erforderlichen Forschungsgebiete erfasst und mit den Anwendungsgebieten zu einer Themenmatrix zusammengestellt, mit 13 Forschungsgebieten als Zeilen und 11 Anwendungsgebieten als Spalten. Zur Ermittlung der Gewichtung der daraus resultierenden 143 Themenfelder hatte jedes Unternehmen – als 2. Schritt – 100 Punkte zu vergeben. Damit ergab sich in Abbildung 1 eine deutliche Priorisierung von Themenfeldern für den laufenden Betrieb der heutigen Reaktoren sowie für die Beherrschung schwerer Störfälle. Eine Auswertung der Kompetenzmatrix nach Anwendungsgebieten zeigt mit 50 % einen Schwerpunkt bei Themen, die laufende Anlagen betreffen (Abbildung 2). Der Themenbereich Rückbau und Abfallbehand-

lung erhielt 27 % der Nennungen. Nachrangig wird in den Bereichen Neubau, Generation IV und Fusionstechnologie Forschungs- und Kompetenzerhaltungsbedarf gesehen. In Anbetracht der erheblichen internationalen Aktivitäten zur Weiterentwicklung von Reaktoren der 3. Generation III (passive Sicherheitskonzepte auch für kleine und mittelgroße Reaktoren) sowie der Erschließung der Brutreakorttechnologie für die volle Ausschöpfung der Uran- und Thorium-Ressourcen und die Beseitigung langlebiger radioaktiver Abfälle sollte die deutsche Wirtschaft bestrebt sein, den Anschluss an diese Entwicklungen nicht zu

Aus der Matrix ist ersichtlich, dass Kerntechnik Know-how aus einer großen Bandbreite sehr unterschiedlicher Forschungsgebiete erfordert. Viele dieser Forschungsgebiete werden auch für andere, nicht-nukleare Anwendungsfelder benötigt. Bei der weiteren Erarbeitung der Projektideen wurde jedoch der Schwerpunkt auf diejenigen Themen gelegt, die hauptsächlich für die Kerntechnik Bedeutung haben.

Im 3. Schritt wurde die industrieseitige Vorarbeit im Januar 2012 den im Kompetenzverbund Kerntechnik [2] organisierten Hochschulen und Forschungseinrichtungen vorgestellt. Diese erklärten ihre

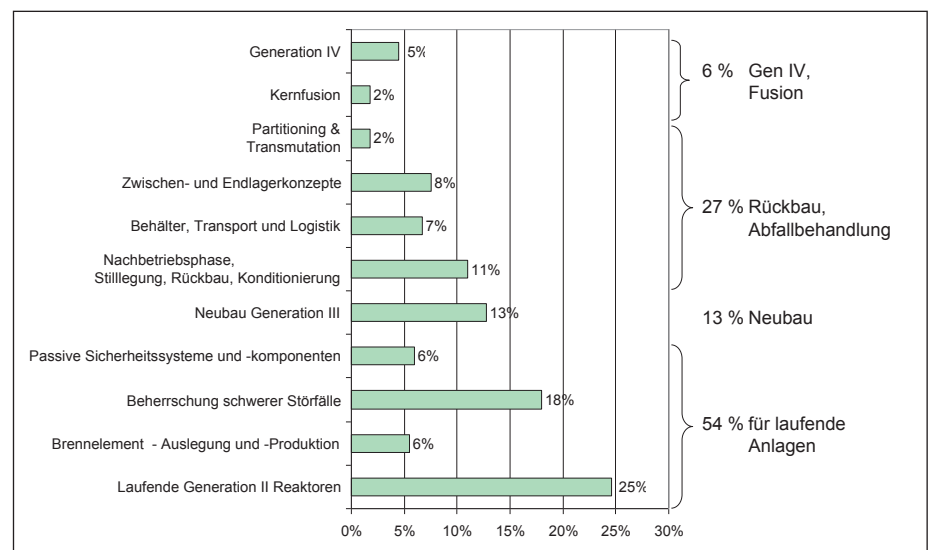


Abb. 2: Auswertung nach Anwendungsgebieten

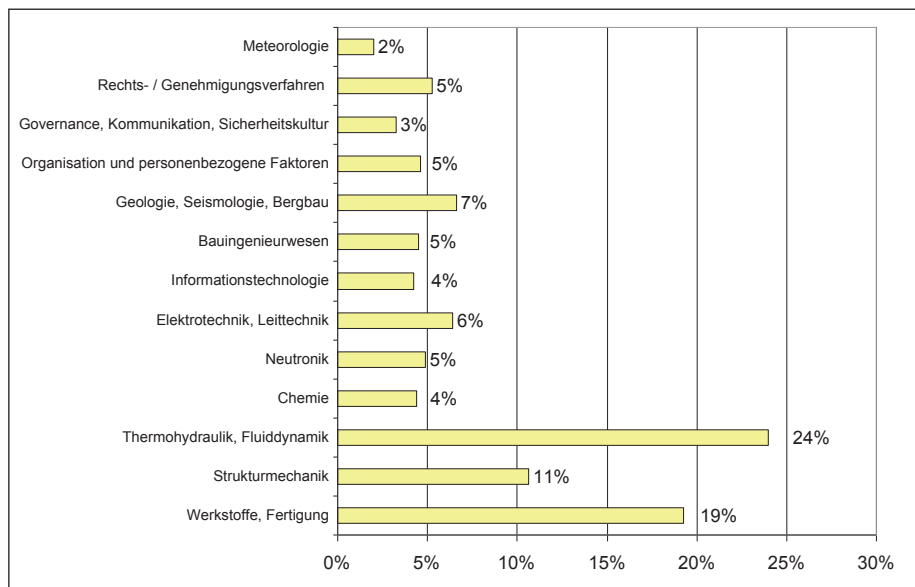


Abb. 3: Auswertung nach Forschungsgebieten

Kooperationsbereitschaft. Industrie- und Forschungsseite einigten sich für das gemeinsame weitere Vorgehen auf die Bildung folgender Kompetenzcluster, bei denen sowohl auf Industrie- als auch auf Hochschuleseite konkretes Interesse festgestellt wurde (Tabelle 1).

Für jeden Cluster wurde eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die bis Ende April 2012 insgesamt 43 konkrete Projektvorschläge erarbeitete (Tabelle 1). Insgesamt waren an den Arbeitsgruppen 107 Personen beteiligt, davon 46 aus der Industrie und 61 von Forschungseinrichtungen, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit und Hochschulen.

Diese wurden in einem 68 Seiten umfassenden Compendium „Forschungsbe-

darf und Kompetenzerhalt auf dem Gebiet der Kerntechnik in Deutschland“ [3] zusammengestellt. Im Compendium sind die Projektvorschläge skizziert und die an der Teilnahme interessierten Partner aus Industrie und Forschung aufgeführt.

Anschließend wurde – als 4. Schritt – am Rande der Jahrestagung Kerntechnik am 23. Mai 2012 der stattgefunden Arbeitsprozess mit seinen Ergebnissen den im Auftrag der betreffenden Bundesministerien tätigen Projektträgern Karlsruhe und Köln präsentiert. (Der Projektträger Karlsruhe des Karlsruher Instituts für Technologie ist für Forschungsvorhaben auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung, der Stilllegung und des Rückbaus kerntechnischer Anlagen sowie der Strahlenforschung, der Projektträ-

ger Köln der GRS für Reaktorsicherheitsforschung zuständig.) Diese prüften kurzfristig, welche der Projektideen im Rahmen der bestehenden Förderprogramme

- „Grundlagenforschung Energie 2020+“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Themenbereiche Sicherheitsforschung für Kernreaktoren, Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung und Strahlenforschung
- „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
- „Reaktorsicherheitsforschung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

gute Aussichten auf Förderung haben.

Für diejenigen Themen, bei denen das Feedback der Projektträger positiv war, werden derzeit gemeinsame Projektanträge ausgearbeitet. Der Bearbeitungsstand und das weitere Vorgehen sollen bei der nächsten Sitzung des Kompetenzverbands Kerntechnik besprochen werden.

Win-win-Strategie

Die Initiative „Forschungsbedarf und Kompetenzerhalt auf dem Gebiet der Kerntechnik in Deutschland“ verspricht für beide Seiten – Industrie und öffentliche Kernforschung – einen Nutzen:

- Die gemeinsame Festlegung von Schwerpunktthemen und enge Zusammenarbeit beider Seiten in konkreten Forschungsprojekten führt zu maximalem Nutzen bei effizientem Einsatz knapper Budgets.
- Durch Einbeziehung von Forschungskapazitäten des öffentlichen Bereichs kann die Industrie besser mit dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik Schritt halten und diesen, so wie in der Vergangenheit, mitprägen.
- Durch Industriemittel können Hochschulen und Forschungseinrichtungen zusätzliches wissenschaftliches Personal finanzieren. Das kommt zum einen der eigenen Forschung zugute, zum anderen wird mehr wissenschaftlicher Nachwuchs ausgebildet. Davon profitiert dann auch die Industrie.

Die eingeschlagene Strategie hat also Win-win-Charakter.

Mit der hier dargestellten Initiative tragen die deutschen Forschungseinrichtungen in enger Abstimmung mit der deutschen Nuklearindustrie mit dazu bei, den guten Stand an kerntechnischem Know-how und Know-why auch weiterhin auf hohem Niveau zu halten. Gleichzeitig eröffnen sich für junge Wissenschaftler und Ingenieure auch für die Zukunft interessante Möglichkeiten, sich im Bereich der Kerntechnik zu engagieren und zu qualifizieren. Die Initiative stellt einen

Kompetenzcluster	Projektideen [Anzahl]	Koordinator
1. Thermodynamik und Fluid-dynamik für Normalbedingungen	17	Dr. Andreas Pautz Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
2. Thermodynamik und Fluid-dynamik für Störfallbedingungen	8	Prof. Dr. Hans Josef Allelein Jülich Aachen Research Alliance
3. Werkstoffe, Strukturmechanik und Fertigungstechnik	7	Dr. Matthias Lamm Areva
4. Neutronik und Abschirm-rechnungen	(mit Nr. 1 zusammengelegt)	
5. Informationstechnologie	6	Dr. Karl Waedt Areva
6. Chemie	(nicht weiterverfolgt, da Industrie keinen Forschungsbedarf sieht)	
7. Meteorologie und Ozeane	3	Wolfgang Raskob Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
8. Organisation und personen-bezogene Faktoren	2	Dr. Andreas Pautz Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

Tab. 1: Zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen verabredete Kompetenzcluster

wichtigen Beitrag für den weiteren sicheren Betrieb der deutschen kerntechnischen Einrichtungen und die anstehenden Herausforderungen beim Rückbau und bei der Entsorgung von Abfällen dar.

Literatur

[1] <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/acatech/detail/artikel/den-ausstieg-sicher-gestalten.html>

[2] <http://nuklear-server.ka.fzk.de/Kompetenzverbund/start.htm>

[3] Forschungsbedarf und Kompetenzerhalt auf dem Gebiet der Kerntechnik in Deutschland. Ein gemeinsames Papier von Industrie und Forschung, Stand 23. Mai 2012 ■

Research Reactors: Fuel Analysis

Der Artikel basiert auf einer Untersuchung der numerischen Erforschung der turbulenten Strömungsdynamik und des konvektiven Wärmeübergangs in Unterkanälen eines kreisrunden Kernbrennstabbindels. Die geometrischen Einzelheiten des Stabbindels und der Wärmefluss aus dem Brennstab ähneln den entsprechenden Werten bei dem im Bau befindlichen 40-MW-Forschungsreaktor (IR-40, Iran). Eine rechnerische Untersuchung der Strömungsdynamik (CFD) wird mit Hilfe von Ansys Fluent 12.1 zur Abschätzung des Strömungsfeldes, des Druckverlusts und der Wärmeübergangskoeffizienten in Abstandshaltergittern und den Strömungsverteilern am Stabbindeleingang durchgeführt. Die Turbulenz wird mit Hilfe des Standardmodells der Renormalisierungsguppe (RNG) $k-\epsilon$ modelliert. Sie wird numerisch so berechnet, dass das Kühlmittel im Normalbetrieb unterkühlt ist und keine Zweiphasenströmung vorliegt. Die Wärmeübergangskoeffizientenparameter passieren die Abstandshalter und kommen rund 5 hydraulische Durchmesser strömungsabwärts in dieser Untersuchung zur Ruhe. Außerdem wird die Auswirkung der Eintrittskappe auf die thermohydraulischen Eigenschaften untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass der Gitterabstandshalter zusammen mit der Kappe höhere Sekundärströmungen und den Wärmeübergang verstärkende Turbulenzen am Stabbindel zur Folge hat. Die Ergebnisse zeigen, dass die Eintrittskappe den Wärmeübergang und die turbulente Durchmischung verstärkt. Der durch die Eintrittskappe hervorgerufene Gesamtdruckabfall beträgt für das IR 40 Brennelement 20,5 kPa. Die vorausgesagten Ergebnisse stimmen mit den in der Literatur angeführten Versuchsdaten überein.

Anschrift der Verfasser:

Mohammad Nazififard)^{1,2,3}

Mohammadreza Nematollahi)¹

Khosrow Jafarpur)⁴

Kune Y. Suh)^{2,3}

¹ Department of Nuclear Engineering, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, 71348-51154 Shiraz, Iran

² Department of Nuclear Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak Ro, Gwanak Gu, Seoul 151-744, Rep. of Korea

³ PHILOSOPHIA, Seoul National University, 1 Gwanak Ro, Gwanak Gu, Seoul 151-744, Rep. of Korea

⁴ Department of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, 71348-51154, Shiraz, Iran

Computational Analysis for Research Reactor IR-40 Rod Bundle

Mohammad Nazififard, Mohammadreza Nematollahi, Khosrow Jafarpur and Kune Y. Suh

1. Introduction

One of the most significant issues in nuclear fuel bundle design is to improve flow distribution that causes more uniform local convective heat transfer on the fuel rod surface. Generally the grid spacer boosts turbulent flow and heat transfer in the subchannels of fuel rod bundle [Nematollahi & Nazifi, 2008; Hoshi et al., 1988; Ikeda et al., 2006; In, 2001]. The cross flow generated by the grid spacer amongst and within subchannels locally enhance heat transfer [Yao et al., 1982]. The inlet flow distributor for the rod bundle further improves the uniformity of flow along the subchannels. There is a large volume of published studies experimentally and numerically investigating the flow field downstream of the grid spacer mixing promoter in different parts of the rod bundle. Most of the previous investigations show that the span averaged heat transfer over an entire grid span of $20 D_h$ is about 4 % larger than the span averaged heat transfer for a $20 D_h$ span with no support grids [Holloway et al., 2008]. Yao et al. Yao, [1982] measured the Nusselt number (Nu) for a typical rod bundle and developed a corre-

lation for the axial development of the local heat transfer based on a fully developed Nu number (Nu_{fd}) downstream of a grid spacer, the blockage ratio of the grid spacer (ϵ_g^2) and hydraulic diameter (D_h) as

$$\frac{Nu}{Nu_{fd}} = (1 + 5.55 \epsilon_g^2 e^{\frac{0.13 \times z}{D_h}}) \quad (1)$$

In another experimental study Holloway et al. [Holloway, 2008] used the pressure loss coefficient (K_g) proposed by Rehme (1973) as a correlating parameter for the heat transfer enhancement which is a similar concept to the grid blockage ratio implemented in Equation 1. Their correlation for the Nu enhancement downstream of the support grid designs is

$$\frac{Nu_{avg}}{Nu_{fd}} = 1 + (0.8 K_g - 0.4) e^{\frac{0.25 \times z}{D_h}} \quad (2)$$

The structural behavior of turbulent flow through the rod bundle was first studied by Rehme [Rehme 1993, 1992, 1987, 1989]. Rehme & Trippe [Rehme & Trippe, 1980] measured the velocity distributions in a 19 rod hexagonal bundle for fully developed flows through rod bundles and outlined a method for determining the turbulent flow geometry factors based on the laminar