

Weiterentwicklung und Validierung von CFD-Codes für Brandsimulationen

Further development and validation of CFD fire simulation codes

Hosser, Dietmar; Hohm, Volker; Riese, Olaf

Abstract

In the framework of the reactor safety research of the Federal Ministry of Economics, fire simulation models and computational design methods for safety-related objects are used and further developed as tools for the analysis of the fire safety of nuclear power plants. Such computational procedures already found entrance into the newer national and international guidelines and are considered as accepted analysis tools for a risk-orientated evaluation of fire safety. The aims of this research project is to evaluate the existing models, to detect and to close gaps in the modelling of heat and smoke spread and the associated impact on safety-relevant objects, such as cables or air ducts.

1. Einführung

Im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMW) ist der Einsatz von Brandsimulationsrechnungen und rechnerischen Nachweisverfahren für sicherheitsrelevante Objekte vor allem im Zusammenhang mit der Überprüfung der Brandsicherheit in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt. Derartige rechnerisch-analytische Verfahren haben bereits Eingang in die neueren nationalen und internationalen Regelwerke gefunden und gelten damit als anerkannte Analysehilfsmittel für die risikoorientierte Bewertung der Brandsicherheit.

Ziel des Vorhabens ist es, wesentliche Lücken bei der Modellierung der Wärme- und Rauchausbreitung und der damit einhergehenden Einwirkung auf sicherheitsrelevante Objekte zu schließen. Die damit verbundenen Entwicklungen sollen mit den Ergebnissen einzelner großmaßstäblicher Versuche des seit Januar 2006 laufenden internationalen OECD-Projekts PRISME /1/ validiert werden.

2. Ziele der Projektarbeit

Die Projektarbeit lässt sich in die beiden grundlegenden Hauptziele „Weiterentwicklung“ und „Validierung“ von Brandsimulationscodes gliedern.

Weiterentwicklung

Als Basis dient der frei verfügbare Quellcode des Brandsimulationsprogramms "Fire Dynamics Simulator" (FDS) des National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) /2/. Dieses CFD-Programm wurde vor dem Hintergrund der Ereignisse des 11. September 2001 mit großem Aufwand weiterentwickelt. Es ist speziell für Brandanalysen sowie auch für KKW spezifische Fragestellungen geeignet und erprobt und stellt somit im Bereich der Brandsimulation den internationalen Stand der Technik dar. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind Erweiterungen vorgesehen, welche insbesondere die nachfolgend dargestellten Objekte betreffen:

- Kabel (Bild 1):
Wärmetransferberechnung unter Berücksichtigung einer erhöhten Temperatur auf der Kabelader; Ergänzungen am thermoplastischen Pyrolysemodell zur realistischeren Berechnung der Oberflächentemperatur
- geschlossener Lüftungskanal in einem Raum (Bild 2):
Wärmetransfermodell zur Berücksichtigung von brandinduzierten Temperaturerhöhungen

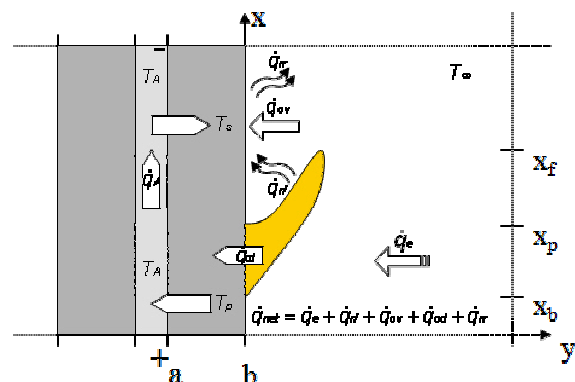


Bild 1 Schematische Darstellung der Wärmetransferberechnung für Kabel

Für das Objekt „Kabel“ (Bild 1) bedeutet dies im Detail, dass die gegenwärtig in FDS integrierte Methode zur Berechnung der Wärmeleitung in Festkörpern nicht geeignet ist, um die thermische Wirkung auf komplexe,

inhomogene Objekte zu bestimmen. Eine temperaturabhängige Vorhersage des Funktionsverlustes oder der Entzündung ist bislang nicht möglich. Eine Verbesserung der Wärmetransferberechnung ist daher erforderlich.

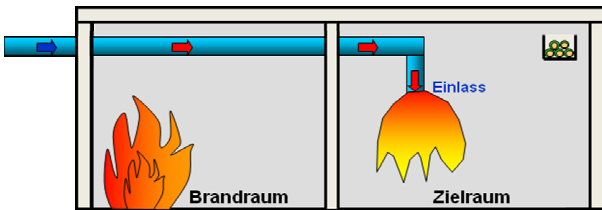


Bild 2 Schematische Darstellung des Wärmetransfers über geschlossene Lüftungskanäle in benachbarte Räume

Für das Objekt „geschlossener Lüftungskanal“ (Bild 2) gelten bezüglich der Berechnung der Wärmeleitung in Festkörpern dieselben Aussagen. Eine Ausbreitung der Temperaturen in Quer- und Längsrichtung innerhalb der Kanalwände infolge Wärmeleitung kann bislang nicht simuliert werden. Ferner ist es zwingend notwendig, die gegenwärtig im Programm enthaltenen Methoden zur Berücksichtigung des konvektiven Wärmeübergangs zwischen Gasphase und fester Phase zu verbessern und deren Möglichkeiten so zu erweitern, dass u. a. die oben genannten Objekte bei einem Brandereignis berechnet werden können.

Die zu untersuchenden Objekte stellen wichtige, sicherheitsrelevante Einrichtungen in KKW dar. Die Modellerweiterungen machen eine Beurteilung wesentlicher Prozesse in den Objekten erst möglich, die durch das Simulationsprogramm bisher nicht oder nur unzureichend erfasst werden. Es werden weitgehend eigenständige Submodelle entwickelt und mit dem vorhandenen Quellcode des CFD-Programms FDS verknüpft. Diese Vorgehensweise erlaubt es einerseits, weitere Modifikationen unkompliziert aufzunehmen. Andererseits ist auch die Implementierung der Submodelle (mit relativ geringem Aufwand) in andere Simulationsprogramme möglich. Hierbei werden effektive numerische Algorithmen angewendet, um die zuvor allgemein hergeleiteten theoretischen Grundlagen in der Brandsimulationsrechnung einsetzen zu können.

Validierung

Die Validierung unterschiedlicher Typen von Brandsimulationscodes zur Berechnung der Wärme- und Rauchausbreitung und ihrer Wirkungen ist eine grundlegende Voraussetzung für die spätere Anwendung bei der Brandsicherheitsbewertung kerntechnischer Anlagen. Nur so kann der für die jeweilige Fragestellung am bes-

ten geeignete Typ von Simulationsprogramm eingesetzt werden.

Am iBMB werden Validierungsrechnungen zu einzelnen Versuchen des OECD PRISME Projekts /1/ mit dem CFD-Programm FDS durchgeführt. Neben sogenannten „offenen“ Simulationen mit Kenntnis aller Versuchsparmeter und -ergebnisse, die einer Nachrechnung des Versuchs zum Zwecke der Validierung des numerischen Modells gleichkommen, werden zudem sogenannte „blinde“ Simulationen durchgeführt, für die lediglich ein notwendiges Mindestmaß an Versuchsrandbedingungen (z. B. Art der Brandquelle, Materialeigenschaften, Geometrie usw.) zur Verfügung steht. Letztere dienen zum Beleg der Vorhersagbarkeit von Brandgeschehen und -folgen mit numerischen Simulationsmodellen.

3. Ausblick

Mit den Untersuchungen und Modellierungen zu wesentlichen Versuchen des OECD PRISME Projekts /1/ stehen in Kombination mit den Ergebnissen früherer Forschungsvorhaben am iBMB /3/ umfangreiche Vergleichsrechnungen mit dem international anerkannten CFD Brandsimulationsprogramm FDS zur Verfügung.

Die eigenen Weiterentwicklungen ermöglichen darüber hinaus eine verbesserte rechnerische Ermittlung bzw. Vorhersage von Brandfolgen und brandbedingten Ausfällen sicherheitstechnisch relevanter Komponenten, wie sie insbesondere für die Ermittlung brandbedingter Kernschadenshäufigkeiten im Rahmen einer probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) für Brandereignisse benötigt werden.

4. Literatur

- /1/ OECD PRISME: A Project to Investigate Fire Propagation by Means of Experiments and Analysis Relevant for Nuclear Power Plant Applications, Draft Agreement on the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) PRISME Project, 2005
- /2/ McGrattan, K. B.; Forney, G.: Fire Dynamics Simulator (Version 4), Users Guide, NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2004
- /3/ Riese, O.; Hosser, D.; Roewekamp, M.: Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Flame Spread in Cable Tray Fires, International Panel Report - Benchmark Exercise No. 5, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Report Number 214, 2006