

Kurzfassung

Das Nasslager ist ein wichtiger Bestandteil eines Kernkraftwerkes zur Lagerung der abgebrannten Brennelemente unter der Nutzung von Wasser als Kühlmittel zur Abschirmung und zur Wärmeabfuhr. Im Fall eines Störfalls (z. B. Kühlmittelverlust) wird die Sicherheit eines Reaktors stark beeinträchtigt. Deshalb ist es wichtig die Möglichkeiten innerhalb des Systems im Fall eines Druckwasserreaktors unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen und Gegebenheiten zu prüfen, den Störfall also am besten unabhängig von einer zusätzlichen Hilfsenergie zu beherrschen.

Zu diesem Zweck wurden im Rahmen dieser Arbeit fluiddynamische Einzeleffektexperimente zu Austauschbewegungen zwischen vertikal aufsteigenden und horizontal überströmenden Gasen für verschiedene Konfigurationen (Einzel-Brennelement-Dummy ohne Absorberschacht und 3×1 Brennelement-Konfiguration mit Absorberschächte) im Labormaßstab durchgeführt, um das Strömungsverhalten im Brennelement und oberhalb des Brennelementes zu quantifizieren. Hierbei wurden die im Druckwasserreaktor-Lagerbecken vorliegenden Dichteunterschiede zwischen dem aufsteigenden Wasserdampf-Luftgemisch (vertikale Strömung) und der Atmosphäre oberhalb der Brennelemente (horizontale Strömung) durch Luft und Modellgase nach dem Ähnlichkeitsprinzip nachgebildet.

Um die experimentellen Randbedingungen zu bestimmen, wurden Simulationen mit dem Simulationscode ATHLET (**A**nalysis of **T**hermal-hydraulics of **L**Eaks and **T**ransients) zum Lagerbecken mit verschiedenen Beladungszuständen durchgeführt.

Diese Arbeit zeigte experimentell sowohl den Einfluss der Bestandteile eines Brennelementes (Brennelement-Kopf, Brennelement-Fuß und Abstandhalter) als auch den Einfluss der Absorberschächte auf das Strömungsverhalten im Brennelement und oberhalb der Brennelemente. Hierbei wurde durch den hohen Strömungswiderstand des Brennelement-Kopfes und durch die Scherschichtbildung (aufgrund der Kelvin-Helmholtz-Instabilität) oberhalb des Brennelementes das Eindringen der kalten Umgebungsluft in das Brennelement erschwert und die Kühlbarkeit der Brennelemente bei einem Kühlmittelverlust beeinträchtigt.

Die methodischen Ansätze zeigten, dass die Reduzierung der Problematik auf Einzeleffekt-Experimente mit einem Brennelement bzw. zwei Brennelementen aus verschiedenen Zonen zielführend ist und fundierte Erkenntnisse zur Beurteilung des angenommenen Störfalls beigetragen werden konnten.

Durch das Zusammenspiel von Experimenten und Modellierung erweitert die vorliegende Arbeit den Stand der Technik hinsichtlich der Phänomenologie der ablaufenden Prozesse und der Prognosesicherheit durch validierte Simulationscodes. Dies erhöht die Zuverlässigkeit der Ereignisvorhersage in Nassbrennelementlagerbecken.

Abstract

The spent fuel storage pool is a water-pool to shield the removed spent fuel assemblies from reactor. The storage pool uses water as coolant to remove the decay heat. In case of an accident scenario (e.g., loss of coolant) the safety of the reactor is strongly affected. Therefore, it is important to explore strategies for managing incidents in the pressurized water reactor storage pool, considering existing boundary conditions and without relying on auxiliary power.

The goal of this analysis is to quantify the flow behavior within and above the fuel assembly on a laboratory scale. Under real conditions involving loss of coolant, the steam/air mixture flows vertically, and the surrounding air flows horizontally. In this work, the density differences between the vertical flow of the rising medium (water vapor/air mixture) and the horizontal flow of the surrounding air are simulated using model gases and air according to the similarity principle.

For this purpose, fluid dynamic single-effect experiments on exchange movements between vertically rising and horizontally overflowing gases are carried out for various configurations (single fuel assembly dummy without absorber shaft and 3×1 fuel assembly configuration with absorber shafts).

The simulation with the program ATHLET (**A**nalysis of **T**hermal-hydraulics of **L**eaks and **T**ransients) served primarily as a computational method for determining the experimental boundary conditions. Therefore, this work doesn't address any comparison between the simulation and the experiment.

This thesis experimentally demonstrated the influence of the components of a fuel assembly (top nozzle, bottom nozzle, and spacers) as well as the influence of the absorber shafts on the flow behavior within and above the fuel assemblies. The high flow resistance of the fuel assembly top nozzle and the formation of a shear layer (due to the Kelvin-Helmholtz instability) above the fuel assembly prevented the penetration of cold ambient air into the fuel assembly. Under these circumstances, the coolability of the spent fuel assemblies is affected under real incident conditions in a spent fuel storage pool.

The methodological approaches demonstrated that reducing the problem to single-effect experiments with one or two fuel assemblies from different zones is effective as means of assessment of the assumed accident.

Through the interaction of experiments and modeling, the thesis expands the state of the art in terms of phenomenology of the processes taking place and prognosis security through validated simulation codes. This increases the reliability of events prediction in the fuel assembly storage pools.