

## Thermohydraulische Auslegung des Reflektorraumes des Hochflußreaktors Grenoble

D. Hein, H. Klöpfer  
Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG.  
F. Mayinger  
Technische Universität Hannover

Die im Hochflußreaktor Grenoble verwirklichten hohen Werte für den Neutronenfluß bedingen eine äußerst kompakte Corekonstruktion und damit verbunden eine hohe Leistungsdichte. Eine hinreichend sichere Wärmeabfuhr erfordert bei den gegebenen Verhältnissen eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels im Kern. Demgegenüber muß in dem anschließend vom Kühlmittel durchströmten Reflektorraum, in den die empfindlichen Bestrahlungskanäle hineinragen, eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten und einer weitgehend beruhigten, turbulenzfreien Strömung gefordert werden. Die in diesem Zusammenhang bei der hydraulischen Auslegung aufgetretenen Probleme wurden im Auftrag des *Instituts Max von Laue—Paul Langevin* im Versuchsfeld der Abteilung für Kernkraftanlagen der *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG.* theoretisch untersucht und die beschrittenen Lösungswege experimentell überprüft.

Die wesentlichen Merkmale der Strömungsführung, wie sie in Abb. 1 dargestellt sind, waren durch die speziellen Anforderungen eines Testreaktors vorgegeben. Somit konzentrierten sich die Arbeiten auf die Gestaltung der Umlenkzone am Austritt aus dem Brennelement und

Übertritt in den Reflektorraum, wobei das Hauptziel in dem Erreichen einer möglichst gleichmäßigen, turbulenzfreien Strömung gesehen wurde und nicht ein minimaler Druckverlust angestrebt wurde.

Bei einer Umlenkung der Strömung um  $180^\circ$  und gleichzeitiger Verzögerung der Geschwindigkeit von 16 m/s im Brennelement auf 0,15 m/s im Reflektorraum liegt die Anwendung von ringförmigen Umlenkdiffusoren nahe. Wegen des geringen zur Verfügung stehenden Raumes wiesen die einzelnen Kanäle jedoch Erweiterungswinkel auf, die zu Strömungsablösungen mit Wirbelbildung führen. Auch die Überlegungen, durch Verwendung von Profilkörpern mit sprunghafter Erweiterung der Kanäle die Wirbelablösung in Zonen geringer Geschwindigkeiten zu legen, führten nicht zum gewünschten Erfolg. Als beste Lösung erwiesen sich zwei hintereinander angeordnete, sorgfältig ausgelegte Gitterplatten, deren erste die Aufgabe hat, Pulsationen zu zerschlagen, während die zweite für eine gleichmäßige Strömungsverteilung sorgt. Folgende Auslegungsgrößen sind von ausschlaggebender Bedeutung:

- Das Verhältnis von freiem zu gesamtem Querschnitt;
- der Lochdurchmesser;
- der unter jeder Gitterplatte vorhandene Raum.

Bestimmt das Querschnittsverhältnis in erster Linie den Druckverlust, so bewirken kleine Lochdurchmesser eine gleichmäßige Verteilung der Strömung. Der Beruhigungsraum unter einer Gitterplatte ist für die Neuordnung der Strömung wichtig und trägt wesentlich zu einer turbulenzfreien Strömung über der Platte bei.

Aus Gründen einer einfachen Meßtechnik wurden die Versuche zur Auswahl einer geeigneten Anordnung zu-

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. D. Hein, Ing. H. Klöpfer, Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., 8500 Nürnberg, Katzwanger Str. 101;

Prof. Dr. F. Mayinger, Technische Universität Hannover, 3000 Hannover, Welfengarten 1.

nächst mit Luft als Modellfluid durchgeführt. Das Ergebnis wurde für das ausgewählte Konzept durch Versuche mit Wasser bestätigt und ist in Abb. 2 dargestellt. Es zeigt die gewählte Konstruktion und die sich im Reflektorraum einstellende Geschwindigkeitsverteilung.

Die mittels der Gitterplatten erzielte Gleichmäßigkeit und Turbulenzfreiheit der Strömung im Reflektorraum kann in Höhe der Bestrahlungskanäle durch die Aufheizung des Kühlmittels infolge Absorption der Gammastrahlung in unmittelbarer Nähe des Außenmantels des Brennelementes und die dadurch entstehende freie Konvektion, die sich der Zwangskonvektion überlagert, gestört werden. Hier bereitet die Nachbildung des Effektes im Versuch Schwierigkeiten. Würde man Wasser als Modellfluid wählen, so führt die Nachbildung der hohen Wärmezeugung in Corenähe zu einer großen Anzahl von Heizelementen und gleichzeitig zur Dampfblasenbildung auf der Oberfläche der Heizelemente, d. h. zu unterkühltem Sieden, was eine völlige Verfälschung der Meßergebnisse bedeutet. Es wurde daher Luft als Modellfluid gewählt. Für Ähnlichkeitsbetrachtungen in freier Konvektion sind die Grashof'sche Kennzahl sowie die Rayleigh-Zahl maßgebend. Da im vorliegenden Fall der freien Konvektion eine merkliche Zwangskonvektion überlagert ist, muß zusätzlich die Reynolds-Zahl beachtet werden. Luft als Strömungsmedium verlangt zur besseren Wahrung der Ähnlichkeit eine Aufheizspanne von 80 bis 100° C an der Stelle des höchsten Wärmefflusses. Die gesamte Heizleistung reduziert sich von 250 kW bei Wasser auf 4,6 kW bei Luft. Damit ist nicht nur eine wesentliche Versuchsvereinfachung erreicht, sondern es können auch die hydrodynamischen Vorgänge im Reflektor weitgehend gewahrt werden.

Die mit wachsender Entfernung vom Brennelement exponentiell abnehmende Aufheizspanne wurde durch unterschiedlich dicht gespannte Heizdrähte simuliert. Zur Bestimmung des Geschwindigkeitsprofils wurden Hitzdrahtanemometer mit Miniaturthermoelementen zur Temperaturkorrektur verwendet. Das Ergebnis der Untersuchungen ist in Abb. 2 mit eingezeichnet. Es zeigt die durch die freie Konvektion infolge Gammastrahlenaufheizung verursachte Veränderung des Geschwindigkeitsprofils in unmittelbarer Nähe des Brennelementes.

Eine wesentliche Rolle für den Strömungszustand im Reflektorraum spielt die zur Zentrierung des Brennelementes zwischen Kaminunterteil und Brennelementkopf hindurchtretende Wassermenge. Diese tritt mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 m/s in den Reflektorraum ein und würde, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden, in Höhe der Bestrahlungskanäle auf Grund der Aufächerung eines einseitig anliegenden Freistrahles noch eine Geschwindigkeit von 5 m/s aufweisen.

Die Lösung des Problems erfolgte durch ein Ablenken der Strömung mittels einer genau ausgelegten Abschälvorrichtung. Seitliche Öffnungsquerschnitte sowie der Abstand der Nase von der Umlenkkante — siehe Abb. 3 — wurden so gewählt, daß die unvermeidbare Störung der Strömung auf den Raum oberhalb der Bestrahlungskanäle beschränkt bleibt. Der Nachweis hierfür wurde in Versuchen erbracht, bei denen dem austretenden Wasser Farbstoff beigegeben wurde und die Verteilung der Farbe beobachtet wurde.

Die durchgeführten strömungstechnischen Maßnahmen garantieren trotz der konstruktiv bedingten Einschränkung in der Wahl der Möglichkeiten eine gleichmäßige, pulsationsfreie Strömung im Reflektorraum und damit eine minimale Beanspruchung der Bestrahlungskanäle.

(Eingegangen am 16. 7. 70)

DK 621.039.526.037(44)

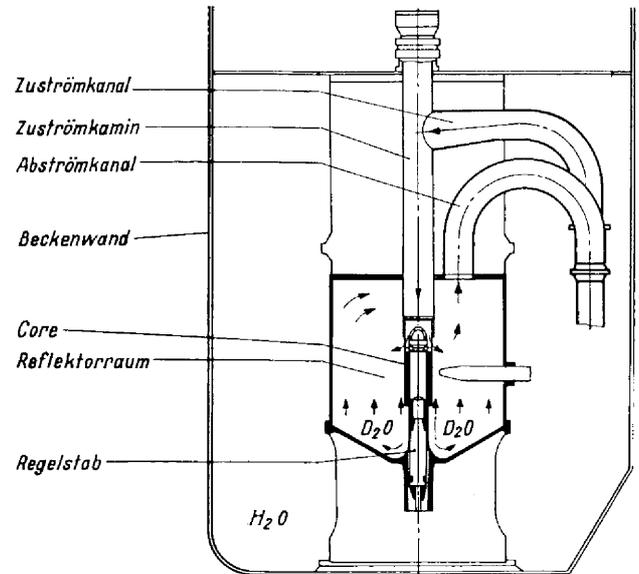


Abb. 1: Strömungsführung im Hochflußreaktor Grenoble.

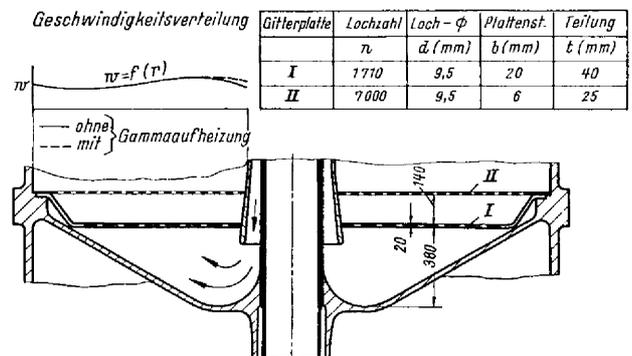


Abb. 2: Ausbildung der Umlenkzone und Strömungsverteilung im Reflektorraum.

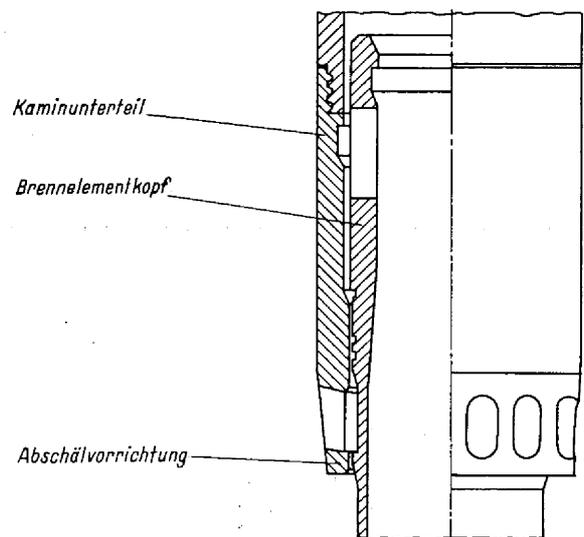


Abb. 3: Abschälvorrichtung zur Verhinderung eines einseitig anliegenden Freistrahles.