

# Archiv-Ex.:

FZR-210

Februar 1998

*Thomas Höhne*

## **Kühlmittelvermischung in Druckwasserreaktoren**

***Vergleich von Kühlmittelströmung und  
-vermischung in einem skalierten Modell des  
DWR Konvoi mit den Vorgängen im  
Originalreaktor***

**Rechnung mit dem CFD-Code CFX 4.1**

Herausgeber:  
FORSCHUNGSZENTRUM ROSSENDORF  
Postfach 51 01 19  
D-01314 Dresden  
Telefon (03 51) 26 00  
Telefax (03 51) 2 69 04 61

Als Manuskript gedruckt  
Alle Rechte beim Herausgeber

# **Kühlmittelvermischung in Druckwasserreaktoren**

*Vergleich von Kühlmittelströmung und  
-vermischung in einem skalierten Modell des  
DWR Konvoi mit den Vorgängen im  
Originalreaktor*

**Rechnung mit dem CFD-Code CFX 4.1**

**T. Höhne**

## Inhaltsverzeichnis

|   |   |
|---|---|
| 1. Einleitung.....  | 3 |
| 2. Überblick über das Programmpaket CFX4.1.....                 | 3 |
| 3. Geometrieaufbereitung und Gittergenerierung.....             | 3 |
| 4. Ergebnisse der Strömungsberechnungen.....                    | 4 |
| 4.1 Variantenvergleich der wichtigsten Strömungskenngrößen..... | 4 |
| 4.2 Basis-Kenngrößen der CFD-Rechnungen.....                    | 5 |
| 4.3 Vergleich der Strömungsfelder in Modell und Original .....  | 5 |
| 4.4 Vergleich der Vermischungsphänomene.....                    | 6 |
| 5. Schlußfolgerungen.....                                       | 6 |
| 6. Literatur.....   | 7 |
| 7. Anhang.....  | 7 |

## 1. Einleitung

Druckwasserreaktoren besitzen mehrere Hauptumwälzschleifen, aus denen bei bestimmten transienten Vorgängen bzw. unter Störfallbedingungen Kühlmittel mit unterschiedlicher Temperatur und/oder Borsäurekonzentration in das Reaktordruckgefäß eintreten kann.

Auf dem Weg vom Eintrittsstutzen über den Ringraum und das untere Plenum vermischt sich das Kühlmittel, wobei sich die anfänglich zwischen den Schleifen bestehenden Parameterunterschiede abbauen. Die Kühlmittelvermischung ist jedoch in einigen Fällen unvollständig [1-5]. Am Kerneintritt kann eine ungleichmäßige Parameterverteilung vorliegen, die wegen der Abhängigkeit der neutronenphysikalischen Eigenschaften des Reaktorkernes von der Moderator-temperatur und der Borsäurekonzentration bei einer dreidimensionalen neutronenkinetischen Simulation berücksichtigt werden muß.

Um sich ein Bild über die Strömungsvorgänge im Downcomer und im unteren Plenum eines Druckwasserreaktors machen zu können, wurde mit dem CFD-Code (CFX 4.1) die Strömung mit möglichst realen Randbedingungen nachgerechnet.

## 2. Überblick über das Programmpaket CFX 4.1

CFX (früher Flow3D) ist ein Finite Volumen Programm, welches folgende Optionen anbietet:

Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen für stationäre und instationäre Strömungen kompressibler und nichtkompressibler Fluide

Anwendbarkeit für laminare und turbulente Strömungen (verschiedene Turbulenzmodelle) newtonscher und nicht newtonscher Fluide

Berücksichtigung von Wärmeübergängen, chemischen Reaktionen und Verbrennungsprozessen

Verwendung allgemein bewegter Koordinatensysteme

Für alle vorliegenden instationären CFD-Rechnungen wurde Inkompressibilität des Mediums Wasser angenommen. Für die Beschreibung der Turbulenz wurde das k-Epsilon-Modell verwendet.

## 3. Geometriaufbereitung und Gittergenerierung

In den Abbildungen 1-3 ist der Aufbau des Netzgitters zu erkennen. Dabei wurde Wert auf eine möglichst originalgetreue Darstellung des Stutzenbereiches / Schrägen bzw. der Erweiterungen im Downcomer und der Rundungen der Stutzenpartien gelegt.

Der Bereich hoher Geschwindigkeitsgradienten wurde mit einem dichteren Grid belegt.

## 4. Ergebnisse der Strömungsberechnungen

### 4.1 Variantenvergleich der wichtigsten Strömungskenngrößen

Tabelle 1: Vergleich Original DWR - Modell: Modellmedium Wasser, 20°C

| Größe                                    | Maßeinheit        | Original         | 1:10             | 1:6.66           | 1:6.66<br>v=v(max) |
|--|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Druckgefäßin-<br>nendurchmesser          | mm                | 5000             | 500              | 750              | 750                |
| Druckgefäß-<br>höhe                      | mm                | ~12 000          | 1200             | 1800             | 1800               |
| Kühlmittelein-<br>trittsdurchm.          | mm                | 750              | 75               | 113              | 113                |
| Downcomer-<br>Spaltweite                 | mm                | 315              | 31.5             | 47               | 47                 |
| Kühlmittelge-<br>samtdurchsatz           | m <sup>3</sup> /h | 92 000           | 92               | 310              | 800                |
| Kühlmittel-<br>durchsatz pro<br>Schleife | m <sup>3</sup> /h | 23 000           | 23               | 78               | 200                |
| Kühlmittelein-<br>trittsgeschw.          | m/s               | 14.5             | 1.45             | 2.2              | 5.5                |
| Geschwindig-<br>keit im Down-<br>comer   | m/s               | 5.5              | 0.55             | 0.83             | 2.1                |
| Re Kühlmittel-<br>eintritt               | -                 | $8.4 \cdot 10^7$ | $1.1 \cdot 10^5$ | $2.5 \cdot 10^5$ | $6.2 \cdot 10^5$   |
| Re Downcomer                             | -                 | $2.7 \cdot 10^7$ | $3.5 \cdot 10^4$ | $7.8 \cdot 10^4$ | $2 \cdot 10^5$     |
| Re Original/<br>Re Modell                | -                 | 1                | ~770             | ~340             | ~135               |

## 4.2 Basis-Kenngrößen der CFD-Rechnungen

Aufgrund der sehr hohen Unterschiede zwischen den Reynolds-Zahlen von Original und dem 1:10 Modell wurde diese Variante in den CFD-Rechnungen nicht betrachtet. Zusätzlich wurde das Original mit Modellrandbedingungen (siehe Tabelle 2) rechnerisch simuliert, um einen einheitlichen Vergleich der Vermischung anhand von Temperaturunterschieden zu ermöglichen.

**Tabelle 2: Randbedingungen der CFD-Rechnungen**

| Größen im Stutzen                        | Maßeinheit | Original | Original mit Modellrandbedingungen | Modell 1:6.66 | Modell 1:6.66, $v=v(\max)$ |
|--|------------|----------|------------------------------------|---------------|----------------------------|
| Geschwindigkeit im Stutzen               | m/s        | 14.5     | 14.5                               | 2.2           | 5.5                        |
| Druck                                    | bar        | 158      | 1                                  | 1             | 1                          |
| Temperatur (in 3 Schleifen)              | °C         | 291.3    | 20                                 | 20            | 20                         |
| abweichende Temperatur in einer Schleife | °C         | 50       | 60                                 | 60            | 60                         |

## 4.3 Vergleich des Strömungsfeldes

Die Vergleichsebene (Abb. 4) liegt unterhalb der unteren Gitterplatte. Aus den Abb. 5 und 6 ist erkennbar, daß sich die Form der Felder der Strömungsgeschwindigkeit im Original unter Modellrandbedingungen kaum von der Geschwindigkeitsverteilung im Modell unterscheidet. Außerdem veranschaulicht Abb. 5, daß sich die Form der Geschwindigkeitsverteilung im Konvoi bei Übergang auf Modellrandbedingungen nicht ändert.

Übereinstimmend zeigen alle Varianten einen Drall der Strömung des Kühlmittels im unteren Plenum. Dies könnte für die Vermischung unter Umständen günstig sein.

In Abb. 8 sind die absoluten Geschwindigkeiten von Original und Modell entlang einer Linie, welche in der Mitte der geschnittenen Ebene liegt (Abb. 4), gegenübergestellt.

Der Vergleich der skalierten absoluten Geschwindigkeit belegt die gute Übereinstimmung zwischen dem Original bei unterschiedlichen Randbedingungen und den skalierten Modellen (Abb. 9).

Die lokale Überhöhung der Geschwindigkeit in der Mitte des untersuchten Bereiches am Spaltzoneneintritt wird in allen Rechnungen beobachtet. Plausibel ist auch die Abnahme der Geschwindigkeit an den Rändern als Folge des Kühlmittelaustritts aus dem Downcomer in das untere Plenum.

#### 4.4 Vergleich Vermischung

Als Vergleichsebene ist, wie auch im vorangegangenen Kapitel, ein Bereich unterhalb des Spaltzoneneintritts gewählt worden. Für die Berechnung wurde angenommen, daß das Kühlmittel aus einer Schleife mit 40 K Übertemperatur in den Downcomer eintritt (Abb. 7).

Das Vermischungsbild von Original und Modell ist fast identisch.

Abb. 10 zeigt die auf einer Linie in der zu betrachtenden Ebene liegenden Temperaturverteilungen von Original und dem skalierten Modell.

#### 5. Schlußfolgerung

Die Vergleichsrechnungen belegen, daß es ausreichend ist, die Vermischungsvorgänge in einem mindestens 1:6.6 skalierten Modell eines DWR zu untersuchen.

Die Parameter (Druck, Temperatur, Geschwindigkeit) erlauben den Aufbau als Plexiglasmodell, das eine optische Beobachtung der Vermischung ermöglicht. Das Forschungszentrum Rossendorf hat mit dem Aufbau eines 1:5 Modells 1997 begonnen.

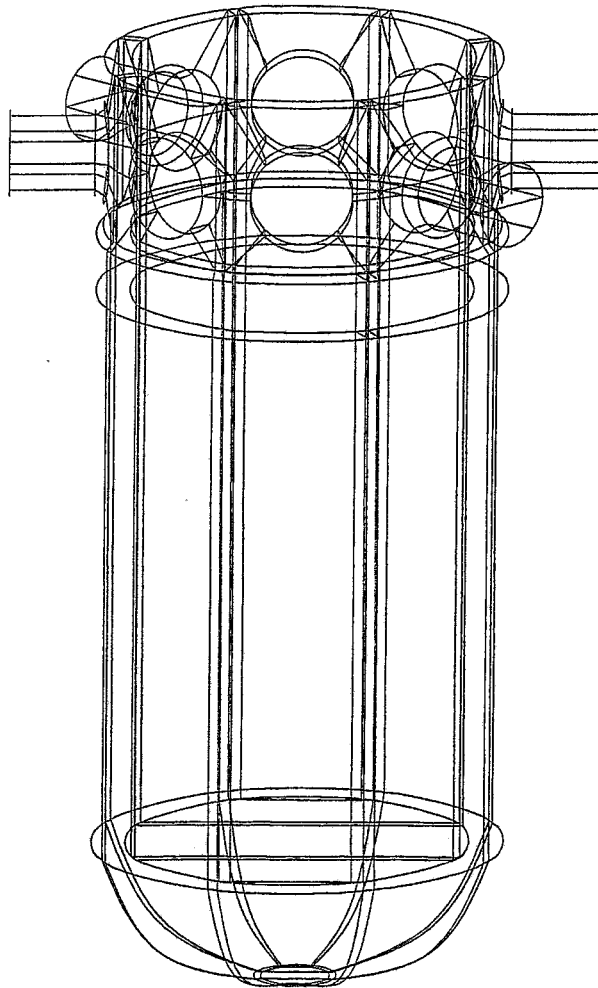


## 6. Literatur

- /1/ Frach, K.-H., Greiner-Mai, H., Suschowk, G.: Physikalische Experimente an Leistungsreaktoren. Akademie-Verlag, Berlin 1982, 188-189
- /2/ Ulrych, G., Weber, E.: Neuere Ergebnisse zur Kühlmittelströmung in Druckwasserreaktoren. Atomkernenergie-Kerntechnik 42(1983) 4, 217-223
- /3/ Ackermann, G., Dräger, P.: Theoretische und experimentelle Ermittlung der Temperaturverteilung am Eintritt in die Spaltzone des WWER-440. Kernenergie 28(1985) 7 293-297
- /4/ Dräger, P., Makroskopische Kühlmittelvermischung in Druckwasserreaktoren. Dissertation A, TH Zittau, 1987
- /5/ Ackermann, G., Sonnenkalb, M.: Näherungsweise Berechnung des Kühlmittel-Strömungsfeldes in Druckwasserreaktoren oberhalb des Reaktorkernes. Kernenergie 29(1986) 11 419-422

## 7. Anhang

- Abb. 1 **Blockstruktur des Vollmodells Siemens DWR Konvoi Typ**
- Abb. 2 **Stützenbereich des Vollmodells Siemens DWR Konvoi Typ**
- Abb. 3 **Netzgitter des Modelles**
- Abb. 4 **Lage der Auswerteebene und der Auswertelinie (unterhalb des Spaltzoneneintritts)**
- Abb. 5 **Geschwindigkeitsverteilungen in der Auswerteebene für den DWR Konvoi unter Real- und Modellbedingungen**
- Abb. 6 **Geschwindigkeitsverteilungen in der Auswerteebene für das 1:6.6-Modell bei Eintrittsgeschwindigkeiten von 2.2 m/s und 5.5 m/s**
- Abb. 7 **Temperaturverteilungen in der Auswerteebene für das 1:6.6-Modell bei Eintrittsgeschwindigkeiten von 2.2 m/s und 5.5 m/s**
- Abb. 8 **Geschwindigkeitsverteilung auf der Auswertelinie**
- Abb. 9 **Skalierte Geschwindigkeitsverteilung auf der Auswertelinie**
- Abb. 10 **Temperaturverteilung auf der Auswertelinie**



DWR Konvoi Typ

Blockstruktur

Abb. 1 Blockstruktur des Vollmodells Siemens DWR Konvoi Typ

## DWR Konvoi Typ

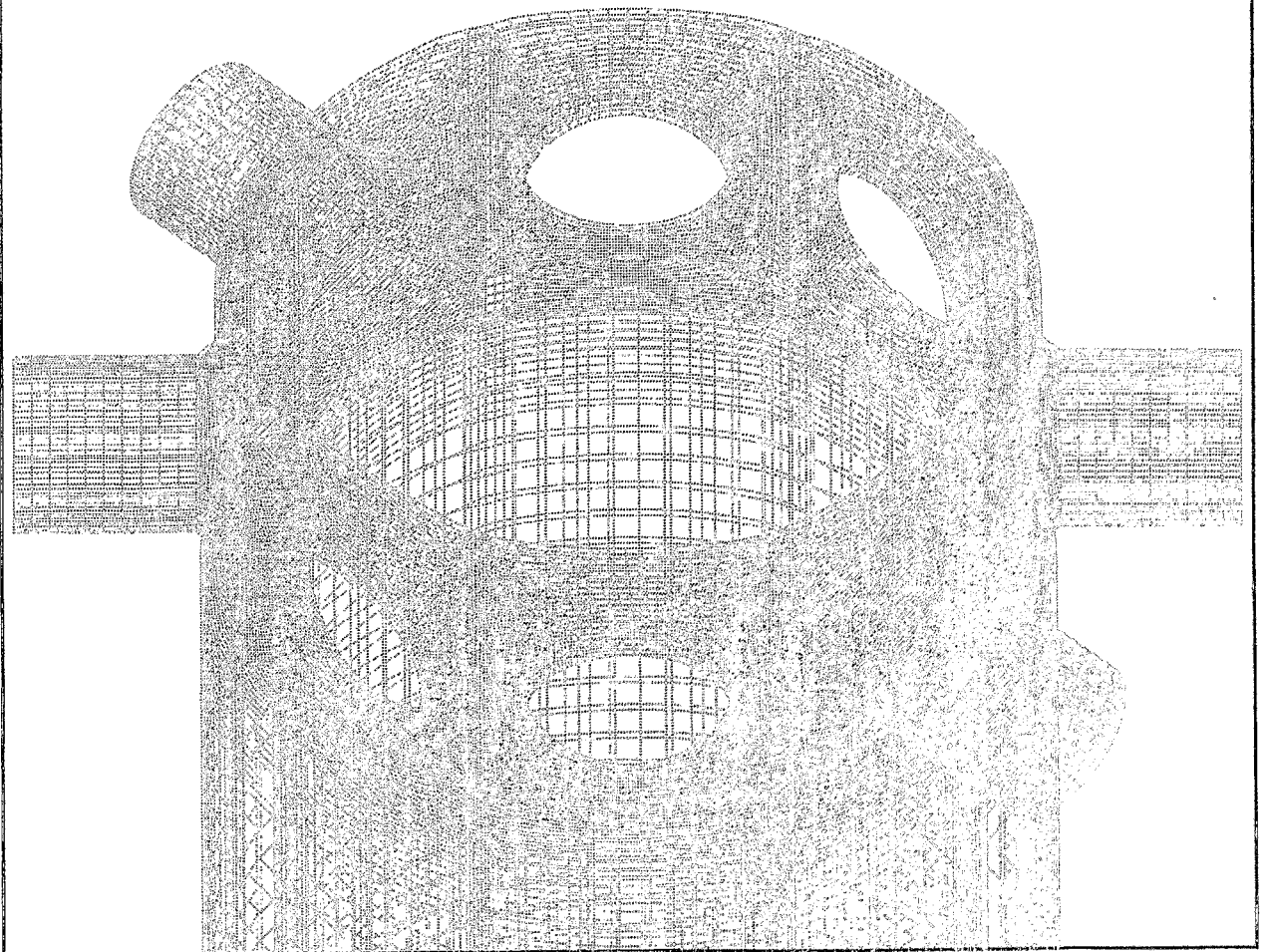
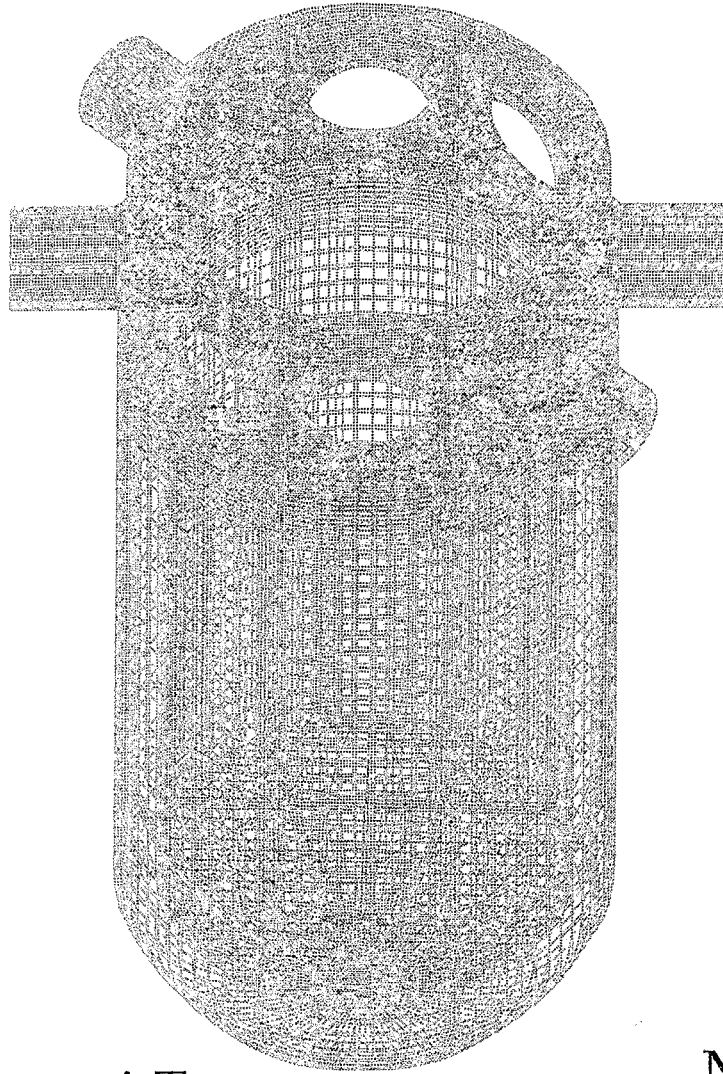


Abb. 2 Stützenbereich des Vollmodells Siemens DWR Konvoi Typ

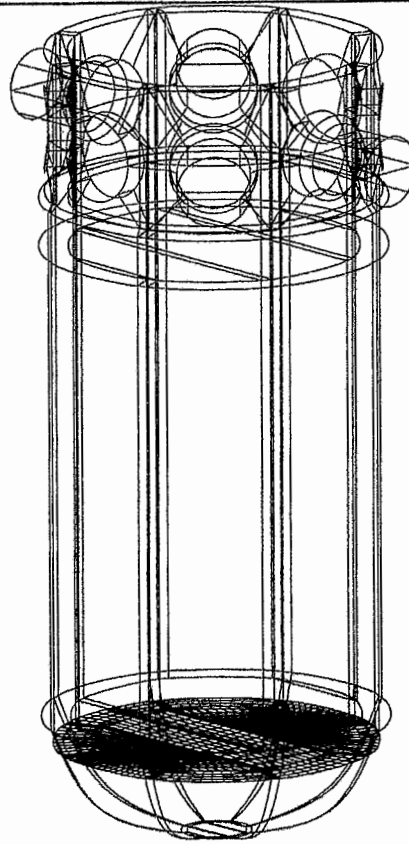


DWR Konvoi Typ

Mesh

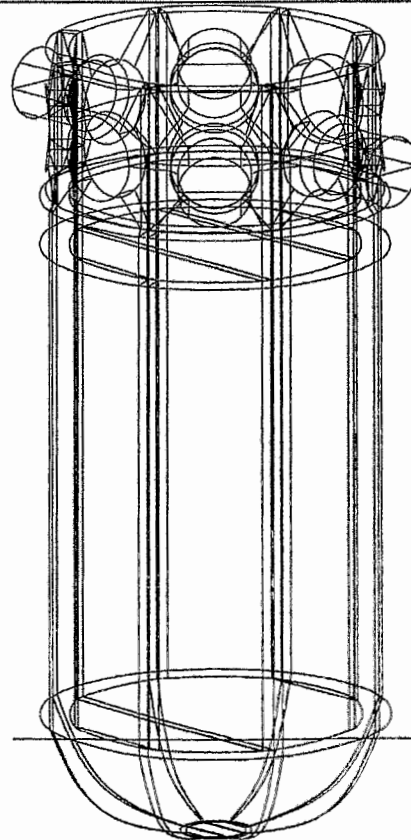
Abb. 3 Netzgitter des Modelles

DWR Konvoi Original



Lage der Auswerteebene

DWR Konvoi Original



Lage der Auswertelinie

Abb. 4 Lage der Auswerteebene und der Auswertelinie (unterhalb des Spaltzoneneintritts)

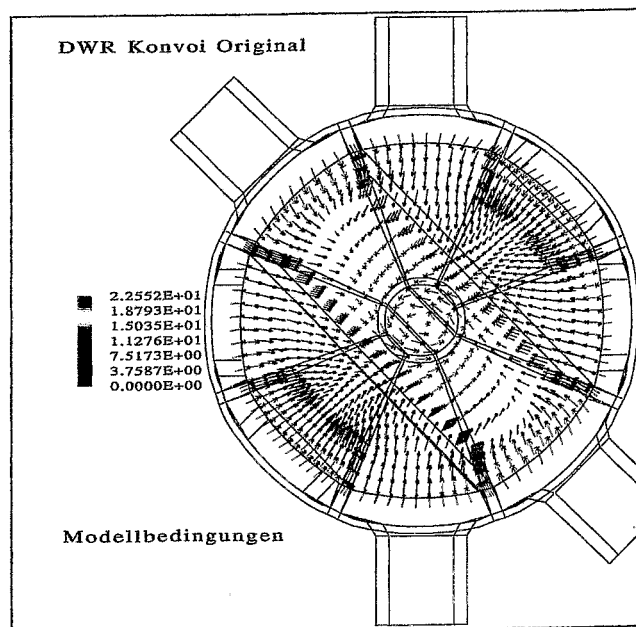
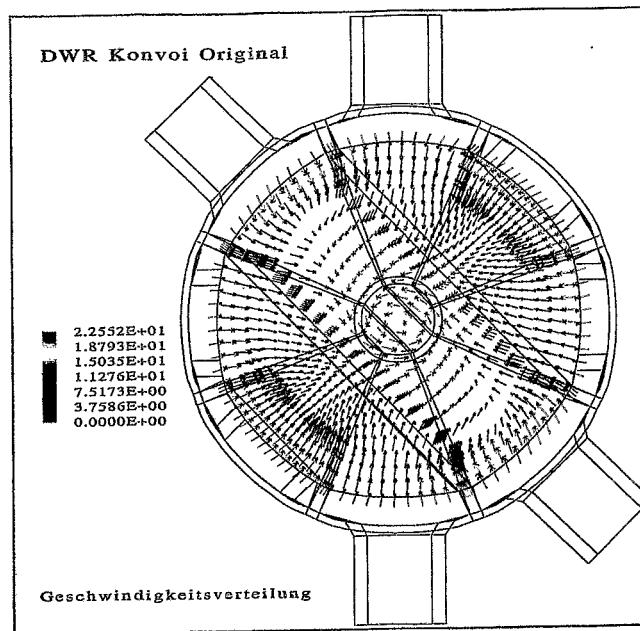


Abb. 5 Geschwindigkeitsverteilungen in der Auswerteebene für den DWR Konvoi unter Real- und Modellbedingungen

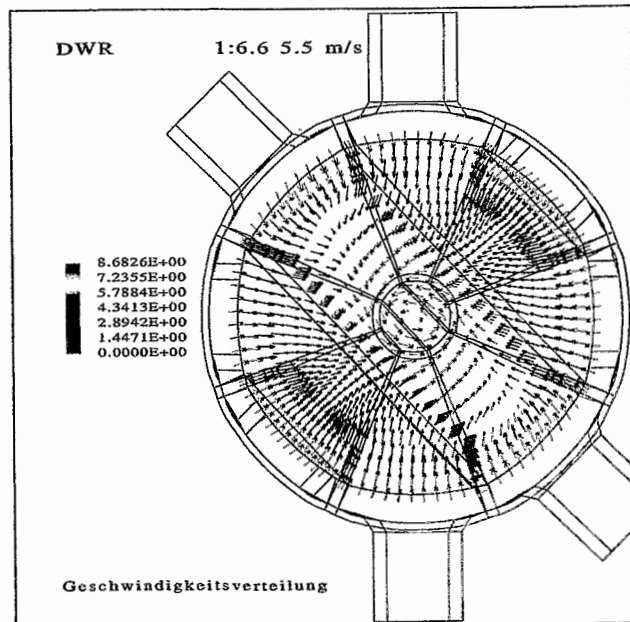
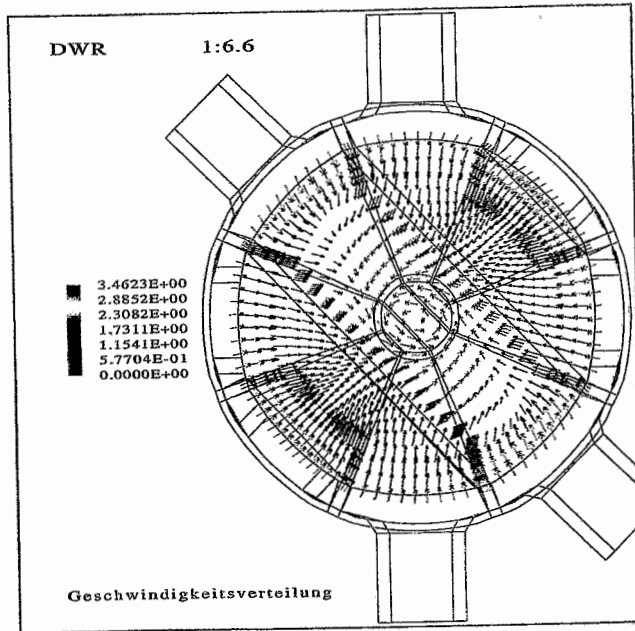


Abb. 6 Geschwindigkeitsverteilungen in der Auswerteebene für das 1:6.6-Modell bei Eintrittsgeschwindigkeiten von 2.2 m/s und 5.5 m/s

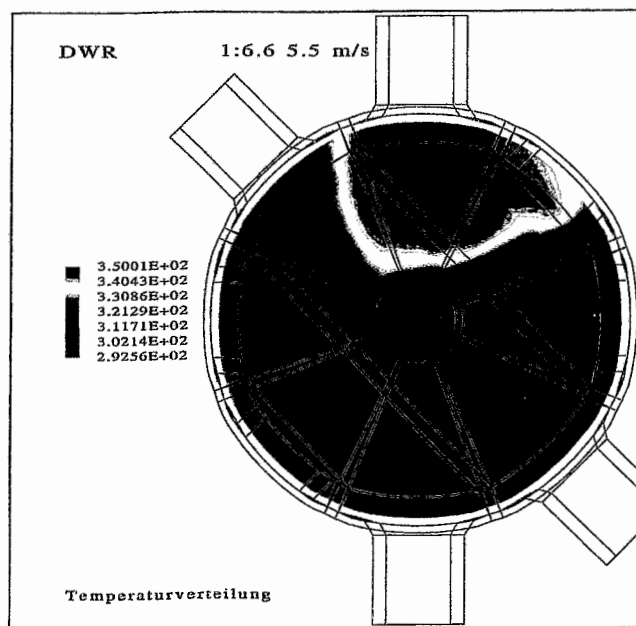
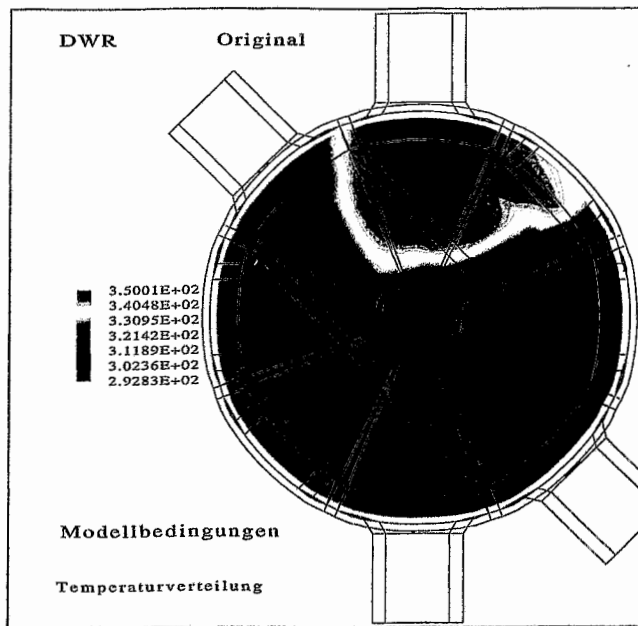


Abb. 7 Temperaturverteilungen in der Auswerteebene für das 1:6.6-Modell bei Eintrittsgeschwindigkeiten von 2.2 m/s und 5.5 m/s .



Geschwindigkeitsverteilung unterhalb des Spaltzoneintritts

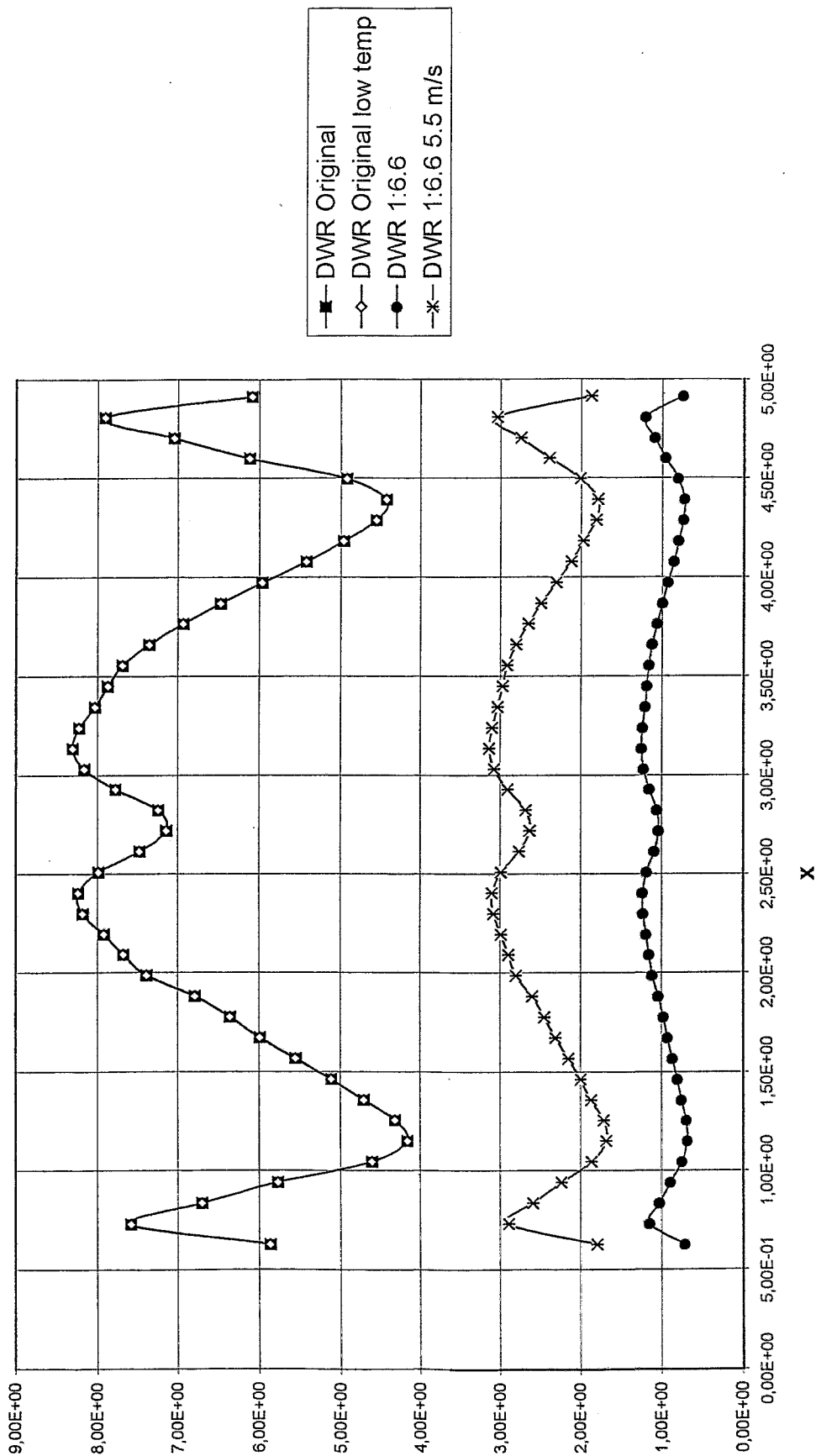


Abb. 8

Geschwindigkeitsverteilung auf der Auswertelinie

Skalierte Geschwindigkeitsverteilung unterhalb des Spaltzoneeintritts

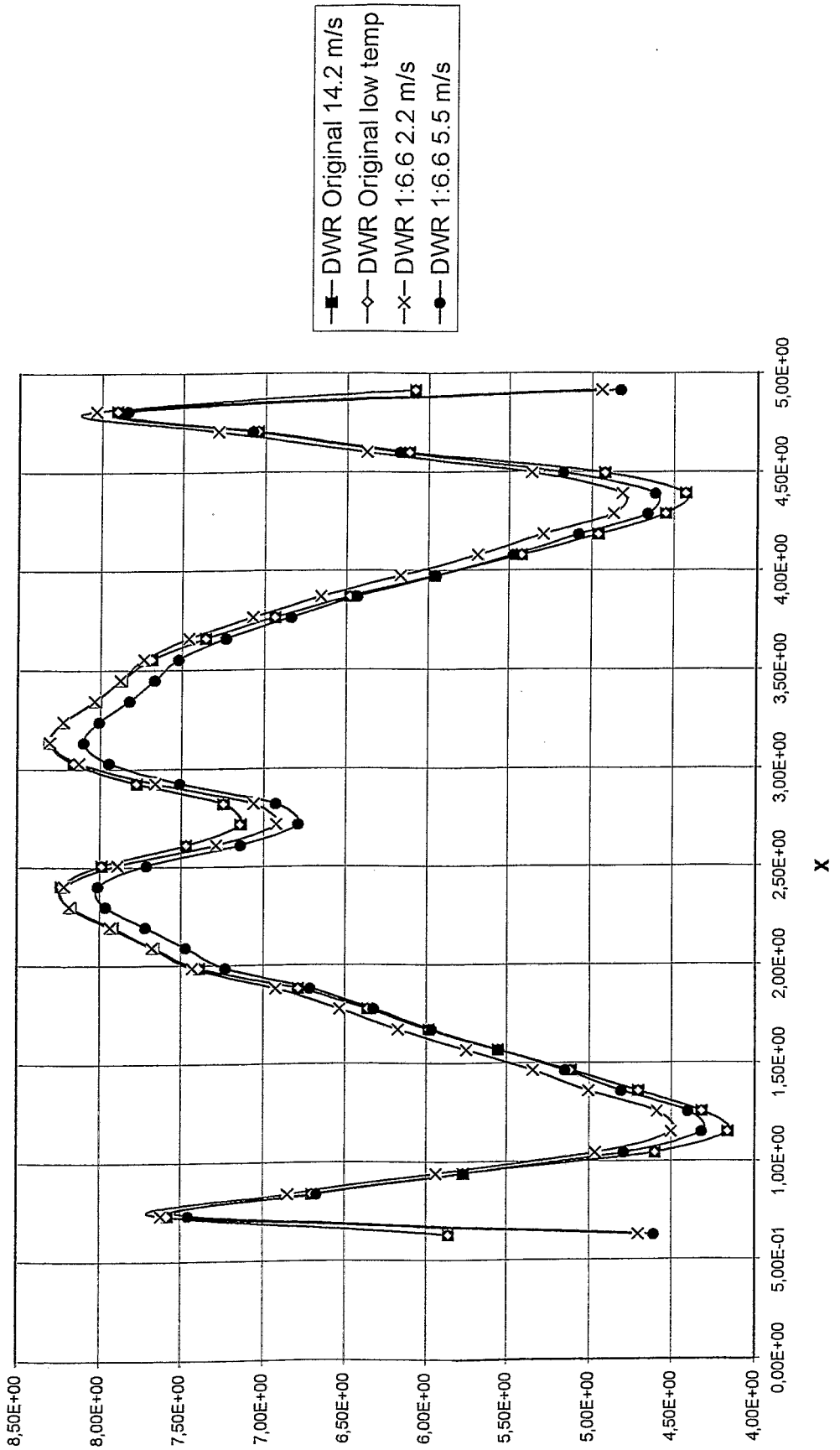


Abb. 9

Skalierte Geschwindigkeitsverteilung auf der Auswertelinie

Temperaturverteilung unterhalb des Spaltzoneneintritts

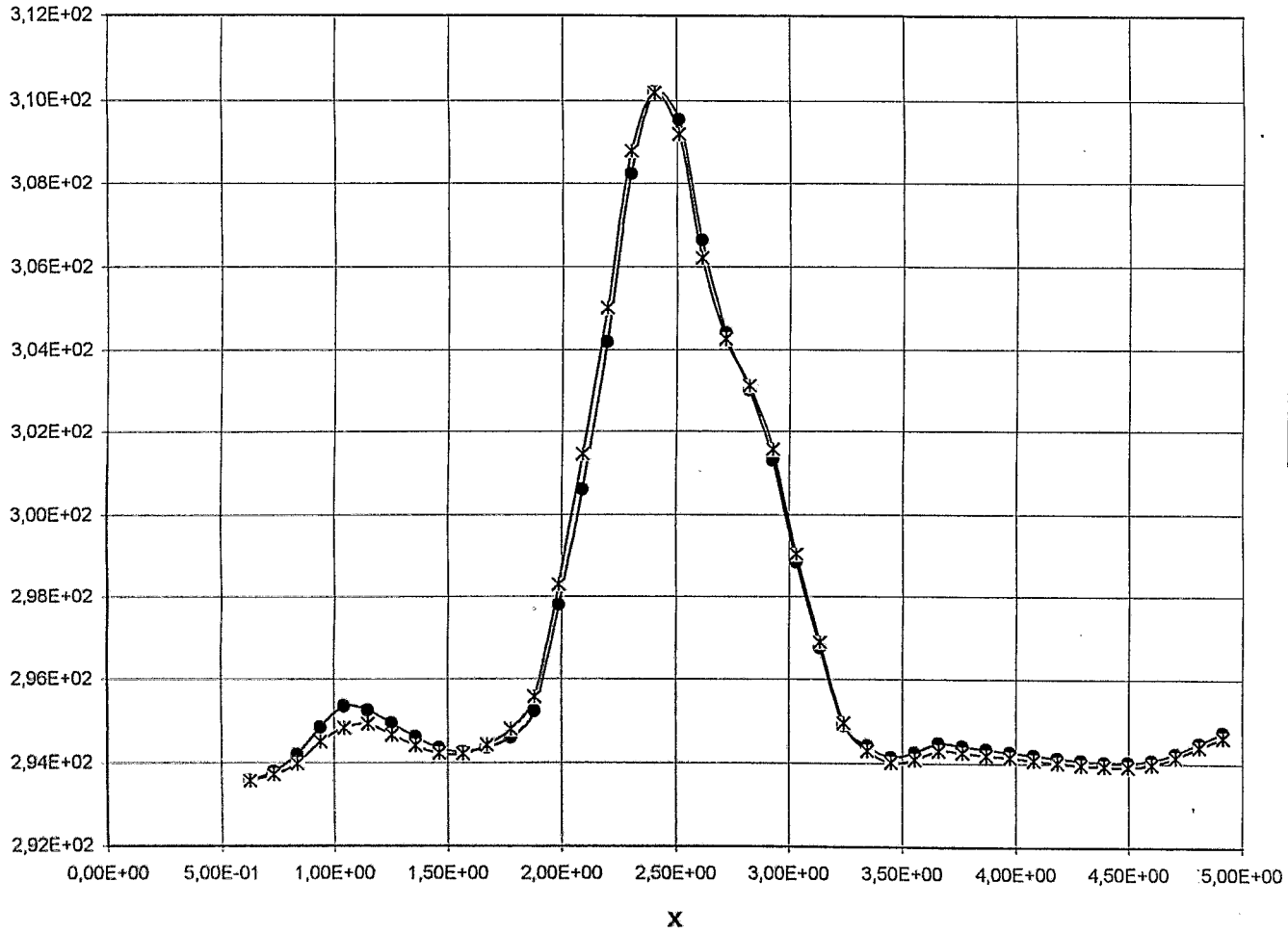


Abb. 10 Temperaturverteilung auf der Auswertelinie