

Dipl.-Ing. Jörg Krückels, Mülheim

**Numerische Berechnung
der spaltbeeinflußten
Strömung in Axialturbinen
mit Diffusoren**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **306**

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Nomenklatur | VII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Stand der Forschung | 5 |
| 3 Mathematisches Modell | 13 |
| 3.1 Grundgleichungen | 13 |
| 3.2 Grundgleichungen des rotationssymmetrischen numerischen Verfahrens zur Lösung der Eulergleichungen mit Verlustmodell | 15 |
| 3.2.1 Mathematisches Modell in Zylinderkoordinaten | 15 |
| 3.2.2 Grundgleichungen in integraler Form | 16 |
| 3.2.3 Normierung der Strömungsgrößen | 16 |
| 3.3 Grundgleichungen des dreidimensionalen numerischen Verfah- rens zur Lösung der vollständigen Navier-Stokes-Gleichungen | 17 |
| 3.3.1 Mathematisches Modell in Zylinderkoordinaten | 17 |
| 4 Numerischer Lösungsalgorithmus | 20 |
| 4.1 Rotationssymmetrisches Euler-Verfahren mit Verlustmodell für Diffusoren | 20 |
| 4.1.1 Zelleckpunktschema | 20 |
| 4.1.2 Berechnung der Projektionsflächen und Elementvolumina | 20 |
| 4.1.3 Zeitintegration | 22 |
| 4.1.4 Stabilitätskriterium | 23 |
| 4.1.5 Numerische Dämpfung | 23 |
| 4.1.6 Berechnung der Reibungskräfte aus einer analytisch vorgegebenen Schubspannungsverteilung | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1.7 | Berechnung der Reibungskräfte aus Geschwindigkeitsgradienten | 26 |
| 4.1.8 | Turbulenzmodell | 28 |
| 4.1.9 | Behandlung der Ränder | 31 |
| 4.2 | Dreidimensionales numerisches Verfahren zur Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen für Axialturbinenstufen | 33 |
| 4.2.1 | Multiblock-Verfahren | 34 |
| 5 | Diffusorströmung | 40 |
| 5.1 | Gewinnung der experimentellen Daten | 40 |
| 5.2 | Ergebnisse der numerischen Berechnungen | 41 |
| 5.2.1 | Gittererzeugung | 41 |
| 5.2.2 | Berechnung von gemittelten Strömungsgrößen und Diffusorkennwerten | 43 |
| 5.2.3 | Variation des Parameters des Verlustmodells | 45 |
| 5.2.4 | Axial-Radialdiffusor der Versuchsendstufe | 46 |
| 5.2.5 | Axialdiffusor | 57 |
| 5.2.6 | Optimierung eines Diffusors | 58 |
| 5.3 | Berechnung instationärer Strömungen im Diffusor | 63 |
| 5.3.1 | Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf | 70 |
| 6 | Berechnung der Strömung in Axialturbinen unter Berücksichtigung des Radialspalts | 71 |
| 6.1 | Ebenes Turbinengitter | 71 |
| 6.2 | Dampfturbinenendstufe und Diffusor | 79 |
| 6.3 | Vergleich der verschiedenen Berechnungsverfahren | 91 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 94 |