

TEMPERATURVERTEILUNG IN FLACHEN

WASSER-WÄRMESPEICHERN

Von der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

WILHELM ADÄ

geboren in Thalfinger

Hauptberichter: Prof.Dr.-Ing. H. Bach

Mitberichter: Prof.Dr.-Ing. K. Stephan

Tag der mündlichen Prüfung: 27. April 1981

Institut für Kernenergetik und Energiesysteme  
der Universität Stuttgart

1981

## Übersicht

Für die Berechnung des thermischen Verhaltens von großen, flachen Langzeitwärmespeichern liegen derzeit keine umfassenden Berechnungsgrundlagen vor. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein für die Projektierung von Verdrängungsspeichern anwendbares Näherungsmodell zu entwickeln, in dem sämtliche die Temperaturverteilung im Speicher beeinflussende Größen berücksichtigt sind. Zur Untersuchung der inneren und äußeren Verluste von Warmwasserspeichern werden an verschiedenen Wasser-Behältern Experimente durchgeführt. Die dabei gemessenen Temperaturverteilungen werden mit den Ergebnissen eines eindimensionalen Näherungsmodells verglichen. Neben den Wärmeleitvorgängen wird in diesem Näherungsmodell auch der erhöhte Wärmetransport im Speicher durch die Konvektionsströmungen von der Flüssigkeitsoberfläche und an den Seitenwänden des Speichers berücksichtigt. Bei den für gedämmte Wasserspeicher typischen Verlusten unter  $30 \text{ W/m}^2$  liegt dieser zusätzliche Wärmetransport aus dem warmen Bereich des Speichers bei ca. 20-30 %, bezogen auf die äußeren Verluste des warmen Speicherinhalts.

## Abstract

At present there exist no comprehensive bases to calculate the thermal behaviour of large flat seasonal storage reservoirs. The objective of this project is the development of a numerical model which includes all parameters influencing the temperature distribution in the reservoir, and which can be applied for the design of displacement-storage reservoirs. To investigate the inner and outer losses of water storage tanks experiments have been performed at various reservoirs. The measured temperature distribution are compared with the results of a one-dimensional numerical approach, where both the heat transfer by conduction and the increased heat transfer due to different convective flows are considered. At typical losses for an insulated water tank of less than  $30 \text{ W/m}^2$  this increased heat transfer from the warmer into the colder regions of the reservoir is 20 to 30% approx, referred to the outer losses of the warm section of the tank.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Grundlagen	12
2.1	Die beschreibenden Differentialgleichungen	12
2.2	Vereinfachungen	14
2.2.1	Die Boussinesq-Approximation	14
2.2.2	Die Wirbeltransportgleichung	15
2.3	Turbulente Strömungen	17
2.4	Ähnlichkeitsüberlegungen	18
3	Bisherige Arbeiten anderer Autoren	20
3.1	Vorbemerkungen	20
3.2	Freie Konvektion unter der Flüssigkeits- oberfläche	21
3.2.1	Einsetzen der Konvektion	21
3.2.2	Ausgebildete Konvektion unter einer Flüssig- keitsoberfläche	23
3.2.3	Näherungsmodelle	27
3.3	Konvektion an senkrechten freien Flächen	30
3.4	Konvektion in Behältern	33
4	Theoretische Untersuchungen	35
4.1	Das Zonenmodell für einen Warmwasserwärmespeicher	35
4.2	Beschreibung des Zonenmodells	38
4.2.1	Mischzone	38

4.2.2	Einmischzone	41
4.2.3	Gradientenzone	46
4.2.4	Grundzone	49
4.2.5	Randbedingungen	50
4.3	Numerische Lösung	51
5	Experimentelle Untersuchungen	52
5.1	Versuchsaufbau	52
5.1.1	Flüssigkeitsbehälter	53
5.1.2	Warm- und Kaltwasserversorgung	56
5.1.3	Meßtechnik	58
5.1.3.1	Temperaturmessung	58
5.1.3.2	Wärmestrommessung	62
5.1.4	Sichtbarmachung	63
5.2	Versuchsdurchführung	65
5.3	Versuchsauswertung	67
5.4	Durchgeführte Versuche	69
6	Ergebnisse der Messungen	71
6.1	Horizontale Temperaturverteilung in Behältern	71
6.2	Vertikale Temperaturverteilung in Behältern	75
6.3	Die Mischzone	78
7	Ergebnisse der Berechnungen	80
7.1	Berechnungsablauf	80
7.2	Erhöhte Wärmeverluste an der Flüssigkeitsoberfläche	81
7.2.1	Kennzeichnende Größen	82
7.2.2	Vergleich von gemessenen und berechneten Temperaturverteilungen	84

7.3	Erhöhte Wärmeverluste an den Seitenwänden	90
7.3.1	Kennzeichnende Größen	91
7.3.2	Vergleich von gemessenen und berechneten Temperaturverteilungen	93
7.4	Eirmischparameter	96
7.5	Übertragbarkeit	103
8	Zusammenfassung	106
9	Literaturverzeichnis	109
10	Anhang	