

Dipl.-Phys. Joachim Brunotte, München

**Dynamische Beschreibung
der Wärmeverteilung in
Warmwasserspeichern mit
innenliegenden Wärme-
übertragern**

Reihe **19**: Wärmetechnik/
Kältetechnik

Nr. **95**

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	VII
Kurzfassung	XI
1 Einleitung	1
1.1 Energiespeicherung	1
1.2 Warmwasserspeicher	1
1.3 Rechenmodelle	3
1.4 Ziele dieser Arbeit	5
2 Laminare Rohrströmung von Wasser im Gravitationsfeld	6
2.1 Dreidimensionale Bewegungsgleichungen einer Flüssigkeit	7
2.2 Vereinfachende Annahmen	8
2.3 Zweidimensionale Bewegungsgleichungen	10
2.4 Numerisches Lösungsverfahren, Modellrechnungen	12
2.5 Überprüfung des Lösungsverfahrens	13
2.6 Stationäre Lösungen	15
2.7 Übersicht der Ergebnisse von Modellrechnungen	20
2.8 Entropieproduktion	22
2.9 Grenzschichtströmung bei seitlichen Wärmeverlusten	25
2.10 Diskussion	27
3 Kolbenflußmodell für Warmwasserspeicher	31
3.1 Grundgleichung	31
3.2 Innenliegende Wärmeübertrager	32
3.3 Mischprozesse bei Kaltwasserzuluß	33
3.4 Zirkulation, partielle Durchströmung	34
3.5 Wärmeverluste an die Speicherumgebung	35
3.6 Modellgleichungen	39
3.7 Lösungsansatz	41
4 Versuchsobjekte und experimenteller Aufbau	43
4.1 Speicher SV, Versuchsaufbau der Arbeitsgruppe an der LMU	43
4.2 Speicher SI	44

5 Experimentelle Ergebnisse	47
5.1 Bewertungsgröße für die Modellanpassung	47
5.2 Verfahren zur Parameterbestimmung aus Meßdaten	48
5.3 Laminare Durchströmung	50
5.4 Beladung	53
5.5 Entladung	55
5.6 Wärmeverluste an Seitenwänden	60
5.7 Zirkulation, partielle Durchströmung	63
6 Dynamisches Testverfahren für Warmwasserspeicher	67
6.1 Aktueller Standard: stationäres Verfahren	68
6.2 Anforderungen an das dynamische Testverfahren	70
6.3 Allgemeines zum dynamischen Testverfahren	70
6.4 Meßkonzepte: Detailtest und Gesamttest	73
6.4.1 Detailtest	74
6.4.2 Gesamttest	77
6.5 Test von Speicher SI	78
6.6 Test von Speicher SV	85
6.7 Vergleich von Detailtest und Gesamttest	92
7 Zusammenfassung	94
A Zur Implementierung des Speichermodells	100
A.1 Numerisches Lösungsverfahren	100
A.2 Wärmeübergang am Wärmeübertrager	103
A.3 Innere Wärmeleitung	104
B Stationäre Grenzschichtströmung, Ergebnisse von Modellrechnungen	107
C Technische Daten der getesteten Speicher	111
C.1 Speicher SI	111
C.2 Speicher SV	112
Literaturverzeichnis	113