

Dipl.-Ing. Martin Neumaier, Reithofen

Der Trend zum Gleichgewicht. Experimentelle Untersuchung mittels einer Versuchsanlage zur Präzisionsmessung des thermischen Zustandsverhaltens von Fluiden

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **463**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	6
3	Anlagenbeschreibung	8
3.1	Gesamtübersicht	8
3.2	Meßprinzip	10
3.3	Meßkammer	12
3.4	Kolbendichtung	14
3.5	Sperrgassystem	14
3.6	Dichtebestimmung der Meßsubstanz	15
3.7	Temperaturmessung	17
3.8	Druckmessung	20
3.9	Temperaturregelung	20
3.10	Membranregelung	24
3.11	Membran-Rettungssystem	25
3.12	Sperrgasrettungssystem	26
3.13	Prozeßautomatisierung	27
4	Kinematisches Gleichgewicht	30
4.1	Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	30
4.2	Die Boltzmann-Gleichung	31
4.2.1	Physikalisches Fundament der Boltzmann-Gleichung	31
4.2.2	Die Boltzmann-Gleichung mit Stoßterm	31

4.3	Lösungen der Boltzmann-Gleichung	32
4.3.1	Bilanzgleichung für Mittelwerte	33
4.3.2	Erhaltungssätze und Hydrodynamik	33
4.3.3	Eulersche Bewegungsgleichung	33
4.4	Gleichgewicht nach Maxwell	34
4.4.1	Dissipationsfreie Strömung	35
4.5	Die Alternative Theorie	37
4.5.1	Die Energie	37
4.5.2	Die Dissipationsgeschwindigkeit	39
4.5.3	Die thermischen Zustandsgrößen	40
4.5.4	Der Gleichgewichtszustand	43
5	Messungen	45
5.1	Vorbereitung des Meßvorganges	45
5.2	Kontrollmessung mit Kohlendioxid und Stickstoff	48
5.2.1	Kohlendioxid-Messung	48
5.2.2	Stickstoff-Messung	50
5.2.3	Diskussion der Meßergebnisse aus den Kontrollmessungen	52
5.3	R134a-Messungen	54
5.4	Gleichgewichts-Messungen	56
5.4.1	Störung des Gleichgewichtszustandes	56
5.4.2	Diskussion der Meßergebnisse aus den Gleichgewichtsmessungen	63
5.5	Zusammenfassung	65
A	Regleroptimierung	68
B	Technische Daten der Meßinstrumente	70
B.1	Temperaturmessung	70
B.2	Druckmessung	70
B.3	Druckwaage	71
B.4	Volumenmessung	71
B.5	Wägung	71

C	Koeffizienten für Zustandsgleichung	72
C.1	Kohlendioxid	72
C.2	Stickstoff	72
C.3	R134a	75
D	Ausgleichsvorgang bei reiner Wärmeleitung	76
D.1	Grundgleichungen	76
D.2	Mehrdimensionaler Wärmestrom	77
D.3	Lösung der Gleichung	78
D.4	Dynamisches Meßverhalten eines Thermoelementes	79
E	Boltzmann-Gleichung	81
E.1	Zweierstöße	81
E.2	Verteilungsfunktion	82
E.2.1	Die stoßfreie Boltzmann-Gleichung	83
E.2.2	Der Stoßterm	83
E.3	Bilanzgleichung für Mittelwerte	84
6	Literaturverzeichnis	85