

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Die Eigenschaften des Wassers	3
2.1	Das Wassermolekül	3
2.2	Wasser im flüssigen Aggregatzustand	4
2.3	Wasser im unterkühlten Zustand	9
2.4	Die Struktur des Eises	12
3	Der Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand	15
4	Die homogene Nukleation	19
4.1	Klassische thermodynamische Beschreibung der Nukleation in der Dampfphase	20
4.2	Die Größenverteilung der Cluster im Gleichgewicht	22
4.3	Nichtgleichgewicht-Clustergrößenverteilung und Nukleationsrate	23
4.4	Die Nukleation von Eis in unterkühltem Wasser	26
4.5	Klassische Nukleationstheorie und Struktur des Wassers	31
4.6	Die Temperaturabhängigkeit der Nukleationsrate	32
4.7	Einfluß von elektrischen Feldern auf die Nukleationsrate	32
4.8	Abhängigkeit der Nukleationsrate von der elektrischen Ladung der Flüssigkeitströpfchen	34
4.9	Die nichtstationäre Nukleationsrate	34
4.10	Statistik der homogenen Nukleation in unterkühlten Flüssigkeiten	36
4.10.1	Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit des Tröpfchenvolumens	40
5	Die Mittel zum Zweck	43
5.1	Methoden zur Messung von Nukleationsraten	43
5.2	Grundlagen der elektrodynamischen Levitation	45
5.3	Bestimmung des Tröpfchenvolumens	55
5.3.1	Die Streuung des Laserlichts durch das Tröpfchen	55
5.3.2	Die Polarisierung des Streulichts	59
5.3.3	Die Winkelverteilung des Streulichts	60

5.3.4	Bestimmung von Lage („90 °-Stelle“) und Breite des erfaßten Winkelbereichs	64
5.3.5	Ermittlung des Durchmessers aus dem Streubild	65
5.3.6	Bestimmung der Brechzahl	70
5.3.7	Fehlerabschätzung für die Volumenbestimmung	72
5.3.8	Wie groß ist der Einfluß der Brechzahl auf die Anzahl der Streifen im Mie-Streubild?	75
5.4	Detektion des Phasenüberganges	77
6	Experimentelle Realisierung	79
6.1	Das Herzstück der Apparatur	80
6.1.1	Historie und konstruktive Vorgaben	80
6.1.2	Der mechanische Aufbau	81
6.1.3	Das Kühlsystem	86
6.1.4	Kalibrierung der Temperatursensoren	89
6.1.5	Der optische Aufbau	92
6.2	Wie kommt der Tropfen in die Falle?	95
6.2.1	Tropfengenesis	95
6.2.2	Die Aufladung des Tröpfchens	108
6.2.3	Fall' ich von einem Berg herab, fall' ich $\frac{g}{2} t^2$	109
6.2.4	Die Abkühlung des Tröpfchens	111
6.2.5	Das Verdampfen des unterkühlten Tröpfchens	116
6.3	Die elektronische Peripherie des Experiments	119
6.3.1	Die Spannungsversorgung der elektrodynamischen Falle	119
6.3.2	Der Rechteckpulsgenerator („Spritzensteuerung“)	121
6.3.3	Das Programm zur Steuerung des Experiments und zur Datenerfassung	125
6.4	Durchführung der Messungen	130
6.4.1	Verwendete Chemikalien	130
6.4.2	Inbetriebnahme der Apparatur	130
6.4.3	Diskussion eines einzelnen Gefrierexperiments	132
6.4.4	Faktoren, die die Länge einer Meßreihe limitieren	138
7	Auswertung der Daten und Diskussion der Ergebnisse	141
7.1	Der „ <i>Induction Time Determinator</i> “	142
7.2	Das Problem der polydispersen Volumenverteilung	144
7.3	Übergang von der t- zur Vt-Koordinate. Rechnerische Generierung eines Datensatzes und Simulation der Auswertung	146
7.4	Bestimmung der Nukleationsraten	149
7.4.1	Auswertung der Messungen mit H ₂ O	151
7.4.2	Auswertung der Messungen mit D ₂ O	154
7.4.3	Diskussion der Abweichungen der $\ln(N_u/N_0), Vt$ -Auftragungen vom linearen Verlauf	158

7.4.4	Raten für die homogene Nukleation in unterkühltem H_2O und D_2O	164
7.5	Vergleich der Nukleationsraten für H_2O und D_2O	167
7.6	Die Temperaturabhängigkeit der Nukleationsraten	168
7.7	Beobachtung des Kristallwachstums	171
8	Zusammenfassung	177
9	Summary	179
10	Anhang	181
10.1	Zahlenwerte der gemessenen Nukleationsraten als Funktion der Temperatur	182
10.2	Technische Zeichnungen	184
10.3	Wissenschaftliche Beiträge	186
10.4	Über den Autor	187
	Literaturverzeichnis	189

