

1 Einleitung

Das Wasser ist unter allen chemischen Verbindungen die am weitesten verbreitete, am leichtesten zugängliche und meistuntersuchte Substanz. Seine Allgegenwart und grundlegende Bedeutung für das Überleben des Menschen sowie die Fähigkeit, innerhalb eines engen, der alltäglichen Erfahrung unterliegenden Temperaturbereichs alle drei Aggregatzustände zu durchlaufen, sicherten ihm von altersher einen besonderen Platz in der menschlichen Vorstellungswelt. Ohne das Wasser wäre die Entstehung von Leben höchstwahrscheinlich unmöglich gewesen und das Leben in seiner irdischen Form ist ohne das „vierte Element“ gänzlich undenkbar, wenn man sich beispielsweise vor Augen hält, daß der menschliche Embryo während des ersten Monats zu 93 Massenanteilen aus Wasser besteht.

Wasser ist ein äußerst exzentrisches Medium, das sich in fast jeder Hinsicht von anderen Flüssigkeiten grundlegend unterscheidet. Das Dichtemaximum bei 4 °C sowie das negative Schmelzvolumen zählen zu den bekanntesten Anomalien, die seit langem im Zentrum vielfältiger Forschungsaktivitäten stehen. Inzwischen gelingt es immer besser, einzelne Teilaspekte des Wassers quantitativ zu beschreiben und zu verstehen. Von einem umfassenden Verständnis der Struktur und der Eigenschaften des Wassers sind wir jedoch bis heute weit entfernt.

Gerade durch sein anormales Verhalten und wegen des umfangreichen Vorkommens wird das Wasser zum dominierenden Faktor bei der Entstehung von Wetter und Klima. Dabei spielen die Phasenübergänge zwischen den Aggregatzuständen sowie metastabile Zustände in Form von übersättigtem Dampf und unterkühlter Flüssigkeit eine wesentliche Rolle. Wolken aus unterkühltem flüssigen Wasser sind in der Natur weit verbreitet. Die Wechselwirkung zwischen unterkühlten Tropfen und Eispartikeln ist von entscheidender Bedeutung bei der Entstehung von Schnee, Regen, Hagel und Gewittern. Dabei setzt die Existenz unterkühlter wäßriger Tropfen eine genügend kleine Konzentration heterogener Keime in der Atmosphäre voraus. Durch die massive Emission anthropogener Aerosole, insbesondere in Form von Flugzeugabgasen direkt in der oberen Troposphäre, besteht die Gefahr der vorzeitigen Umwandlung des unterkühlten flüssigen Wassers in Eispartikel. Dadurch ändern sich die Eigenschaften der betroffenen Wolken hinsichtlich der Bilanz von Strahlungsabsorption und -emission deutlich [IPCC].

Der Mechanismus der heterogenen Nukleation ist sehr komplex. Sie läßt sich im Labor nur schwer quantitativ reproduzieren und wegen der Vielgestaltigkeit der heterogenen Keime kaum theoretisch beschreiben. Demgegen-

über ist die homogene Nukleation einer wissenschaftlichen Quantifizierung wesentlich leichter zugänglich. Die Keimbildung findet in diesem Fall unter ausschließlicher Beteiligung von Molekülen der metastabilen Phase statt. Deshalb besteht die berechtigte Hoffnung, aus dem Studium der homogenen Nukleation von Eis in unterkühltem Wasser Aussagen bezüglich der immer noch geheimnisvollen Struktur und Dynamik des flüssigen Wassers ableiten zu können. Ein Vergleich der Nukleationseigenschaften von leichtem und schwerem Wasser liefert zusätzliche Informationen.

Die homogene Nukleation in unterkühltem flüssigem Wasser ist bisher mit verschiedenen Methoden in einem relativ engen Temperaturbereich untersucht worden. Durch die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Messungen wird dieser Temperaturbereich zu etwas höheren Temperaturen hin erweitert und das vorhandene Datenmaterial ergänzt. Die vorgestellte Methode ermöglicht die Messung von Nukleationsraten mit vergleichsweise hoher Präzision. Dabei werden ungewöhnlich lange Nukleationszeiten realisiert und infolgedessen treten einige Phänomene zutage, die bisher noch nicht beobachtet wurden.

Im folgenden soll zunächst ein kompakter, aber trotzdem recht umfassender Überblick über die theoretischen Grundlagen rund um das unterkühlte Wasser gegeben werden. Wir werden uns zunächst mit der Struktur des Wassers in den verschiedenen Aggregatzuständen sowie dem Mechanismus eines Phasenübergangs zwischen ihnen beschäftigen. Der Schwerpunkt wird dabei auf der theoretischen Beschreibung der homogenen Nukleation liegen. Anschließend diskutieren wir verschiedene Methoden zur experimentellen Überprüfung der Erkenntnisse. Wir werden sehen, daß elektrodynamisch levitierte unterkühlte Flüssigkeitströpfchen geeignet sind, um die homogene Nukleation zu studieren. Deshalb werden wir uns mit der Funktionsweise elektrodynamischer Partikelfallen beschäftigen. Gegenstand des darauffolgenden Abschnitts ist die Streuung von Laserlicht durch die levitierten Tröpfchen. Auf die Bestimmung des individuellen Probenvolumens aus der räumlichen Intensitätsverteilung des gestreuten Lichts wird dabei besonderes Gewicht gelegt, denn in dieser Hinsicht ist die vorgestellte Methode allen Alternativen zur Messung von Nukleationsraten überlegen. Es folgt eine detaillierte Schilderung des apparativen Aufbaus und der praktischen Durchführung der Experimente. Anschließend werden die Meßdaten ausführlich präsentiert und ausgewertet. Wir wollen den Versuch unternehmen, die dabei auftretenden unerwarteten Phänomene zu interpretieren. Die ermittelten Nukleationsraten werden mit den vorhandenen Daten anderer Autoren verglichen.