

## Kapitel 9

# Wirkungsspektroskopie - Ausblick

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass die Wirkungsspektroskopie an Mikrotropfen sich sowohl zum Nachweis der Absorption infraroter wie sichtbarer Strahlung eignet.

Das Prinzip beruht auf einer Erwärmung des gesamten Mikrotropfens, welche aus der Dissipation der absorbierten Energie folgt. Die Erwärmung führt zu einer Verdampfung des Lösungsmittels. Dadurch ändert sich der Radius des untersuchten Mikropartikels. Die Detektion dieser Radiusänderung erfolgt über die Änderung der Streulichtintensität einer zweiten, nicht absorbierten Strahlung eines Diodenlasers im Bereich einer Mie-Resonanz.

Im Falle der Absorption infraroter Strahlung resultiert aus der Absorption direkt eine Erwärmung, im Falle der Absorption sichtbarer Strahlung wird ein elektronischer Übergang angeregt, die Energie wird erst anschließend in Wärme konvertiert. Dieser Prozess ist jedoch genügend schnell und effektiv, so dass auch hier die Absorption über die Erwärmung gut nachgewiesen werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Varianten erprobt, die Änderung des Tropfenradius, welche aus der Erwärmung folgt, nachzuweisen. Die Versuchsdurchführung für die Anregung mit infraroter Strahlung bzw. sichtbarer Strahlung erfolgt nach dem gleichen Prinzip. Als Messgröße für die Absorption wurden folgende Effekte verwendet:

1. Die direkt gemessene Verschiebung der Mie-Resonanzwellenlänge als Folge der IR-Strahlung. Hierzu wird die Frequenz des Lichtes eines durchstimmbaren Diodenlasers auf eine Mie-Resonanz des Mikrotropfens stabilisiert, und das Ansteuersignal des Diodenlasers als Mess-Signal verwendet.
2. Die Modulation der Streulichtintensität als Reaktion auf die IR-Strahlung. Hier wird die Frequenz des Diodenlasers konstant gehalten und

die Streulichtintensität als Messgröße verwendet.

Für beide Varianten wurde die Empfindlichkeit und die benötigte Beleuchtungsstärke ermittelt. Die Empfindlichkeit beider Methoden ist im Vergleich zu anderen substanzspezifischen Spektroskopie-Methoden, die für die Untersuchung von einzeln levitierten Mikropartikeln angewendet werden, vorteilhaft.

Die unter 1. genannte Methode hat den Vorteil, dass direkt die Verschiebung der Resonanzwellenlänge gemessen wird. Die Änderung der Wellenlänge  $\Delta\lambda$  ist direkt proportional zur Radiusänderung  $\Delta a$ . Die genaue Form der Mie-Resonanz muss nicht bekannt sein, um den Proportionalitätsfaktor für die Umrechnung der Änderung der Intensität des gestreuten Lichtes in eine Änderung der Resonanzwellenlänge zu bestimmen. Zudem sind bei dieser Methode die Anforderungen an die Tropfengröße nicht ganz so hoch, da die unvermeidlichen Fluktuationen derselben durch die Messung erfaßt werden. Die unter 2. genannte Methode weist den Vorteil auf, dass die Messung schneller erfolgen kann. Hier muss sich nicht notwendigerweise die Gleichgewichtsgröße einstellen, sondern es reicht, die Änderung der Streulichtmodulation zu beobachten. Dies gilt besonders für kurze Pulse, da sich dann der Tropfen stärker erwärmt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine gute theoretische Beschreibung des Experimentes erreicht. In diese Beschreibung geht die Thermodynamik des Verdampfens von Lösungen sowie die Mie-Theorie der Absorption im infraroten und der Lichtstreuung durch einen Mikropartikel im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums ein.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Wirkungsspektroskopie sind komplementär zu der direkten Absorptionsspektroskopie an Mikropartikeln, da mit dieser Methode kleinere Partikel untersucht werden können. Durch die Untersuchung von Mikropartikeln zwischen  $1\ \mu\text{m}$  und  $10\ \mu\text{m}$  lassen sich selbst für den Fall wässriger Lösungen Sättigungseffekte weitgehend ausschließen. Dadurch können atmosphärisch relevante Mikropartikel und größenabhängige Effekte untersucht werden. Weitere Vorteile gegenüber der direkten Absorptionsspektroskopie sind die Eliminierung von Streueffekten im Absorptionsspektrum und der Ausschluss von Störungen durch die Gasphase. Die Methode der Wirkungsspektroskopie ist auf den sichtbaren Spektralbereich erweiterbar. Mit der Wirkungsspektroskopie ist sowohl die direkte Aufnahme von Spektren möglich als auch die Messung von Spektren über eine Fourier-Transform-Methode.

Ein Nachteil der Wirkungsspektroskopie ist der hohe experimentelle Aufwand, der für die extrem gute Stabilisierung der Tropfengröße, bevor das zusätzliche, anregende Licht eingestrahlt wird, notwendig ist. Der „dynamische“ Bereich ist durch den maximalen Hub der Frequenzdurchstimmung des Diodenlasers und unvermeidbare Fluktuationen der Tropfenform und -größe gegeben.

In Zukunft ist der Einsatz der Wirkungsspektroskopie als Fourier-Transform-Methode möglich. Hierzu ist eine FT-Spektrometer mit einer schrittweise verstellbaren Spiegelposition (Step-Scan Spektrometer) notwendig.

Für die direkte Aufnahme von Spektren ist eine Methode denkbar, bei der die Beleuchtungsstärke einer anregenden Laserstrahlung auf eine konstante Radiusänderung geregelt wird. Mit dieser Technik sollte es möglich sein, dass Signal zu Rausch Verhältnis zu verbessern.

Neben der Untersuchung von Mikropartikeln aus wässrigen Lösungen eignet sich die Wirkungsspektroskopie insbesondere auch für die Untersuchung organischer Aerosolpartikel.

