

# Untersuchungen zum Gefrierverhalten Levitierter n-Alkan Mikrotropfen

Dissertation  
eingereicht am  
Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Diplom-Physikerin  
INEZ MARITA WEIDINGER  
aus München

Berlin, im April 2003

1. Gutachter: Prof. H. Baumgärtel
  2. Gutachter: Prof. E. Illenberger
- Tag der Disputation: 16. Mai 2003

# Vorwort

Wie immer wäre ich allein im dunklen Kämmerchen natürlich niemals fertig geworden. Aber zum Glück muss man das ja auch nicht..

Zunächst möchte ich meinem Betreuer Prof. Helmut Baumgärtel danken. Er hat mich unentwegt in diesem Projekt unterstützt und war immer zu Diskussionen bereit.

Herrn Prof. Eugen Illenberger danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens. Prof. Thomas Leisner weiss alles über Fallen und noch viel mehr. Von diesem Wissen profitiere ich nun schon seit dem Beginn meiner Diplomarbeit. Ich habe ihm die Lösung sehr vieler Probleme zu verdanken.

Erwin Biller weiss mittlerweile auch alles über Fallen. Seine Kompetenz in der Lösung aller technischen Probleme ist wirklich unglaublich.

Juliane Klein danke ich für die herausragende Zusammenarbeit bei Aufbau und Messungen an der Falle. Gemeinsam trotzten wir Überschlägen, Vakuumlecks, Psychopaten, ungeheizten Laboren und unkooperativen Tropfen.

Auch beim Kollegen Nr. 2 Peter Stöckel möchte ich mich für die schöne Zeit bedanken. Seine perfektionistische Vorarbeit gepaart mit viel Hilfsbereitschaft hat mir eine Menge Zeit und Arbeit erspart

Den Physikern Hermann Vortisch, Friederike Weritz und Klaus Anhalt danke ich für die produktive und unterhaltsame Zusammenarbeit über Fachbereichsgrenzen hinaus. Dieses "Mie-Kompetenz-Zentrum" war selbst nach Beendigung ihrer eigenen Arbeiten immer für Fragen offen.

Bei Constanze Donner möchte ich mich für die hilfreichen Diskussionen in Bezug auf das Nukleationsverhalten bedanken.

Renate Weidinger und Bettina Lips danke ich für das viele Julius-Hüten.

Thomas Knaus hat sich immer mit Begeisterung alle technischen und physikalischen Details meiner Doktorarbeit angehört. Jetzt weiss ich auch, wieviel Thermodynamik und Makroökonomie gemeinsam haben. Für den immerwährenden Enthusiasmus sowie die Unterstützung bei Latex- und Statistikproblemen möchte ich mich herzlichst bedanken.

Nochmals Danke an Juliane, Peter, Friederike, Thomas L. und Herrn Baumgärtel für das schnelle und fleissige Korrekturlesen.

Berlin, April 2003.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2 Die Elektrodynamische Falle</b>	<b>13</b>
2.1 Theorie der elektrodynamischen Levitation . . . . .	15
2.1.1 Die Kraftwirkung elektrischer Wechselfelder . . . . .	15
2.1.2 Das Quadrupolfeld . . . . .	16
2.1.3 Die Teilchenbewegung im Pseudopotential . . . . .	18
2.2 Theorie der Tropfenaufladung . . . . .	20
2.2.1 Ionenanlagerung an Partikel . . . . .	20
2.2.2 Überschussladungen auf isolierenden Flüssigkeiten . . . . .	22
2.3 Die elektrodynamische Falle im Experiment . . . . .	24
2.3.1 Regelung der Temperatur . . . . .	27
2.3.2 Der Injektor . . . . .	29
2.3.3 Die Aufladung der Tropfen . . . . .	30
2.3.4 Der optische Aufbau . . . . .	32
2.4 Abkühlung des Tropfens . . . . .	33
<b>3 Tropfenanalyse mittels elastischer Lichtstreuung</b>	<b>35</b>
3.1 Theorie der elastischen Lichtstreuung . . . . .	36
3.1.1 Polarisation des Streulichtes . . . . .	39
3.1.2 Die Winkelabhängigkeit des Streulichtes . . . . .	40
3.2 Größenbestimmung . . . . .	41
3.2.1 Bestimmung des Streuwinkelbereichs . . . . .	42
3.2.2 Eichung der Durchmesserfunktion . . . . .	43

3.2.3	Brechungsindices der Alkane . . . . .	45
3.2.4	Fehlerbetrachtung bei der Bestimmung des Tropfenvolumens .	46
3.3	Bestimmung des Aggregatzustandes . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Eigenschaften bestimmter Alkane</b>	<b>49</b>
4.1	Phasendiagramm der Alkane . . . . .	50
4.2	Kettenlängen und Unterkühlung . . . . .	52
4.3	Eigenschaften der Oberfläche . . . . .	54
4.3.1	Änderung der Oberflächenspannung . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Kinetik des Phasenüberganges Flüssig → Fest</b>	<b>59</b>
5.1	Homogene Nukleation . . . . .	60
5.1.1	Keimbildungsenergien bei isotropen Keimen . . . . .	61
5.1.2	Keimbildungsenergien bei zylinderförmigen Keimen . . . . .	62
5.2	Heterogene Nukleation . . . . .	66
5.3	Bestimmung der Diffusionsaktivierungsenergie . . . . .	68
5.4	Die Nukleationsrate . . . . .	70
5.5	Messung der Nukleationsrate im Experiment . . . . .	74
5.5.1	Nukleation im Inneren eines Tropfens . . . . .	75
5.5.2	Nukleation an der Grenzfläche zur Luft . . . . .	76
5.5.3	Nukleation an der geschlossenen Oberfläche . . . . .	78
5.6	Kristallwachstum . . . . .	80
5.6.1	Mononukleation . . . . .	80
5.6.2	Polynukleation . . . . .	80
5.7	Einfluss der Ladung auf die Nukleation . . . . .	82
5.7.1	Einfluss der Ladung auf die Oberflächenspannung . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Aufnahme und Auswertung der Messdaten</b>	<b>85</b>
6.1	Aufzeichnung der Messdaten: Das Programm Viewmiescattering . . .	85
6.2	Messverfahren . . . . .	87
6.3	Erfassung der Nukleationszeiten . . . . .	89
6.4	Schmelzpunktbestimmung makroskopischer Proben . . . . .	91

---

<b>7</b>	<b>Diskussion der Messergebnisse</b>	<b>93</b>
7.1	Unterkühlungen . . . . .	94
7.1.1	Kühl-Heizzyklen . . . . .	94
7.1.2	Unterkühlungen im Vergleich . . . . .	97
7.2	Ergebnisse $C_{17}H_{36}$ . . . . .	99
7.2.1	Bestimmung der Nukleationsraten . . . . .	99
7.2.2	Nukleation und Oberflächenladung . . . . .	100
7.2.3	Temperaturabhängigkeit der Nukleationsrate . . . . .	100
7.2.4	Nukleationsmechanismen . . . . .	103
7.2.5	Bestimmung der Keimbildungsenergien . . . . .	104
7.2.6	Bestimmung der Grenzflächenenergie . . . . .	106
7.3	Ergebnisse $C_{15}H_{32}$ . . . . .	109
7.3.1	Bestimmung der Nukleationsraten . . . . .	109
7.3.2	Kinetik der Nukleation . . . . .	110
7.3.3	Keimbildungs- und Grenzflächenenergien . . . . .	112
7.3.4	Einfluss der elektrischen Ladung auf die Entstehung der Ober- flächenschicht . . . . .	114
7.3.5	Wachstumsdauer der Oberflächenschicht . . . . .	115
7.4	Vergleich zwischen $C_{15}H_{32}$ und $C_{17}H_{36}$ . . . . .	117
7.4.1	Vergleich der Wachstumszeiten für die Oberflächenschicht . . .	117
7.4.2	Vergleich der Nukleationsraten . . . . .	118
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Summary</b>	<b>125</b>

