

1. Einleitung

Benetzt eine Flüssigkeit eine Festkörperoberfläche, so daß sich ein Kontaktwinkel ungleich 90° oder 0° ergibt, kommt es aufgrund kapillarer Kräfte zu einer Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche und damit zur Ausbildung eines Meniskus.

Die durch einen solchen Meniskus hervorgerufenen Effekte können dominierende Einflüsse auf verschiedene Prozesse besitzen.

Als Beispiel für makroskopische Prozesse sei die Wichtigkeit von Wassermenisken bei der Erosion von Felsgestein [Israelachvili85] genannt.

Die Untersuchungen zu Reibungserscheinungen an einem Punktkontakt in der Raster-Kraft-Mikroskopie [Bach95] zeigen, wie wichtig Flüssigkeitsmenisken im Mikroskopischen sein können.

Bei der Züchtung von Kristallen nach Czochralski oder im offenen Boot kommt es zu Menisken am Kontakt zwischen dem erstarrten Kristall und der Schmelze oder beim Kontakt zwischen Schmelze und Tiegelwand. Bekannt ist die Wichtigkeit des Meniskus für die Kontrolle des Durchmessers des Kristalls beim Czochralski- und beim *Floating-Zone*-Schmelzverfahren [Bardsley74, Hurle77] und bei der Korrosion der Tiegelwände [Stanek70, Hrma70].

SCHWABE [Schwabe81] vermutet das Auftreten von Instabilitäten in der Strömung durch den Meniskus an der heißen Tiegelwand bei Kristallzüchtungsverfahren. Ist der Meniskusbereich thermische Grenzschicht, ist die aufgrund des Temperaturgradienten an der freien Oberfläche der Schmelze entstehende thermokapillare Konvektion besonders stark. Die der Meniskusform folgende schnelle Oberflächenströmung und der von der Konvektion hervorgerufene Rückstrom gleiten im Meniskusbereich an engem Raum gegeneinander. Dadurch entstehen große Scherkräfte.

Auch bei vielen Experimenten zu thermokapillar getriebenen Strömungen treten Menisken auf. In den Experimenten wird z. B. durch Benutzung einer nach oben offenen Küvette, die mit einer Experimentierflüssigkeit gefüllt wird, eine freie Flüssigkeitsoberfläche erzeugt. An dieser wird ein Temperaturgradient angelegt, indem eine Seitenwand geheizt, die gegenüberliegende gekühlt wird. Diese Temperaturdifferenz führt zu einer thermokapillar getriebenen Konvektion in der

Küvette. Ähnliche Experimente lassen sich mit ringspaltförmigen Aufbauten oder mit Aufbauten in Anlehnung an das *Floating-Zone*-Schmelzverfahren durchführen.

Bisher wurde der Einfluß von Meniskusbildungen in diesen Experimenten nicht systematisch untersucht. Zumeist versucht man die Bildung eines Meniskus durch geeignete Experimentbedingungen zu unterdrücken um definierte experimentelle Bedingungen zu erreichen.

Ein solches meniskusfreies Arbeiten ist nicht bei allen Experimenten gewährleistet. Zum Beispiel verwendeten BRAUNSFURTH und HOMSY [Braunsfurth96] eine mit Aceton gefüllte rechteckige Küvette, bei der sich Menisken am Interface zwischen Fluid und Seitenwänden bildeten. BRAUNSFURTH und HOMSY behaupten, im Bereich des Meniskus an der heißen Wand die zeitabhängige Strömung einer Konvektionsrolle geringer Ausdehnung beobachtet zu haben.

Aufgrund des niedrigen Dampfdrucks von Aceton ist jedoch nicht auszuschließen, daß die beobachtete Konvektionsrolle durch Verdunstungseffekte im Meniskusbereich entsteht; es sich also nicht um eine hydrodynamische Instabilität, angetrieben durch den angelegten Temperaturgradienten handelt.

Ein solcher Effekt wurde von KAYSER und BERG [Kayser71] beobachtet. Sie fanden in einem Meniskus an der Grenzschicht zwischen einer polaren und unpolaren Flüssigkeit die Bildung einer Konvektionsrolle aufgrund von Lösungseffekten.

Die vorliegende Arbeit wurde angeregt durch eine Beobachtung von METZGER [Metzger86] in einer ähnlichen Küvette. Im Gegensatz zu dem oben erwähnten, wurde Ethanol als Fluid verwendet. Der Benetzungswinkel an den Seitenwänden - und damit die Form und Ausbildung eines Meniskus - konnte kontrolliert werden. Bei bestimmten angelegten Temperaturdifferenzen konnten Oberflächenwellen mit extrem großer Auslenkung der Flüssigkeitsoberfläche beobachtet werden. Da diese nur auftraten, wenn durch leichtes Absenken der Flüssigkeit ein Meniskus an den Seitenwänden hervorgerufen wurde, liegt die Vermutung nahe, daß dieser Meniskus für die Entstehung mit entscheidend ist.

Ziel dieser Arbeit ist die Aufklärung des Mechanismus, der zur Entstehung dieser Oberflächenwellen großer Amplitude führt.

Dazu werden in Kapitel 4 die auftretenden Oberflächenoszillationen analysiert. In Kapitel 5 werden dann hydrodynamische Instabilitäten im Meniskus vor der kalten Wand betrachtet. Die

detailreichen Ergebnisse der Experimente erlauben in Kapitel 7 eine Synthese mit einer Aussage über den Anregungsmechanismus.

Die Oberflächenoszillationen werden so zu einem Indikator für die hydrodynamischen Instabilitäten im Meniskus, einem Phänomen, das in dieser Arbeit erstmals ausführliche untersucht wird.