

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Rasterkraftmikroskopie</b> .....	<b>11</b>
2.1	Funktionsprinzip und experimenteller Aufbau .....	11
2.2	Cantilever und Detektion.....	13
2.3	Wechselwirkungen zwischen Messspitze und Probe .....	16
2.3.1	Kräfte und Potentiale .....	16
2.3.2	Kontaktmechanik.....	20
2.3.2.1	Hertzscher Kontakt.....	20
2.3.2.2	Kontaktmodelle mit Adhäsion .....	22
2.3.2.3	Reibung und laterale Deformation.....	24
2.4	Messmodi .....	27
2.4.1	Kontaktmodus .....	27
2.4.2	Kraftmodulationsmikroskopie.....	28
2.4.3	Resonante Methoden.....	29
2.4.4	Kraftspektroskopie .....	30
<b>3</b>	<b>Detektionsverhalten des Rasterkraftmikroskops</b> .....	<b>33</b>
3.1	Einleitung.....	33
3.1.1	Das Buckling des Cantilevers .....	33
3.1.2	Probleme mit der Kraftmodulationsmikroskopie.....	34
3.2	Biege- und Detektionsverhalten des Cantilevers .....	40
3.2.1	Einleitung.....	40
3.2.2	Finite-Elemente-Modell .....	41
3.2.3	Finite-Elemente-Analysen für V-förmige Cantilever .....	44
3.2.4	Individuelle Cantilevereigenschaften .....	49
3.3	Übertragung auf das rasterkraftmikroskopische Experiment.....	50
3.3.1	Koordinatensystem der Probe .....	50

3.3.2	Skalare Federkonstanten beim Rasterkraftmikroskop .....	51
3.3.3	Skalare Winkeldetektionsempfindlichkeiten für das Normalkraftsignal .....	54
<b>4</b>	<b>Abbildungsmechanismus und Modulationstechnik beim AFM mit atomarer Auflösung.....</b>	<b>57</b>
4.1	Abbildungsmechanismus des AFM auf atomarer Skala .....	57
4.2	Modulationstechnik mit atomarer Auflösung .....	59
4.2.1	Motivation .....	59
4.2.2	Experiment .....	60
4.2.3	Quantitative Analyse .....	69
4.3	Schlussfolgerungen .....	71
<b>5</b>	<b>Kontrastmechanismus bei der Kraftmodulationsmikroskopie .....</b>	<b>75</b>
5.1	Motivation .....	75
5.2	Das FMM-Spektrum .....	76
5.2.1	Amplitudenbereiche .....	76
5.2.1.1	Unendlich harte Probe .....	76
5.2.1.2	Einfluss der Kontaktsteifigkeit.....	80
5.2.2	Experimentell aufgenommene Amplitudenspektren .....	88
5.2.2.1	Probensystem .....	88
5.2.2.2	Amplitudenspektren .....	89
5.2.2.3	Diskussion .....	92
5.2.3	Modellierung des FMM-Signals .....	93
5.2.3.1	Bewegungs- und Reibungsmodell.....	93
5.2.3.2	Zeitlicher Verlauf des NFM-Signals .....	96
5.2.3.3	Berechnung des FMM-Signal .....	98
5.2.3.4	Vergleich mit experimentellen Daten.....	100
5.2.4	Diskussion .....	101
5.2.4.1	Einfluss der Reibungskraft.....	101
5.2.4.2	Einfluss der Kontaktsteifigkeit.....	105
5.2.4.3	Kontrastinversion .....	107
5.2.5	Abweichungen zwischen Experiment und Simulation.....	109
5.3	Zusammenfassung.....	115
<b>6</b>	<b>Entwicklung neuer Messmethoden zur Materialcharakterisierung .....</b>	<b>119</b>
6.1	Oscillating Friction Mode (OFM) .....	119
6.1.1	Einleitung.....	119
6.1.2	Methode und Anwendungsbereich .....	121

---

6.1.3	Gezielte Anwendung auf Probensysteme .....	127
6.1.3.1	Spektroskopische Reibungsmessung auf Glimmer .....	127
6.1.3.2	OFM an Kohlenstoffinseln .....	130
6.1.4	Zusammenfassung und Diskussion.....	135
6.2	Low Amplitude Buckling Mode (LABM) .....	137
6.2.1	Einleitung.....	137
6.2.2	Methode und Anwendungsbereich .....	139
6.2.3	Experimente .....	142
6.2.4	Diskussion .....	144
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>149</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>154</b>
8.1	Formelsammlung .....	154
8.2	Literaturverzeichnis .....	161