

**Untersuchungen zur Erweiterung der  
thermogravimetrischen Messung mit  
Magnetschwebewaage für die  
Differenzthermoanalyse durch  
Einführung einer stabilen  
rotationsfreien magnetischen Lagerung**

Rebekka Taubmann



Universitätsverlag Ilmenau  
2013

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Ziel der Dissertation</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Stand der Technik</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Grundlagen der Thermischen Analyse</b> .....  | <b>11</b> |
| 4.1.     | Thermogravimetrie.....   | 11        |
| 4.2.     | Differenzthermoanalyse .....   | 14        |
| 4.3.     | Simultane Thermische Analyse.....  | 16        |
| <b>5</b> | <b>Grundlagen der Schwebelagerung</b> .....  | <b>20</b> |
| 5.1.     | Generelle Möglichkeiten zur Erzeugung eines Schwebezustands .....  | 20        |
| 5.2.     | Berührungsfreie Kraftübertragung mit Magnetschwebelagern in der Magnetschwebewaage .....                                   | 22        |
| <b>6</b> | <b>Untersuchungen und Methoden zur Entwicklung und Funktionsprüfung von Magnetlagern für eine Magnetschwebewaage</b> ..... | <b>25</b> |
| 6.1.     | Geplantes Vorgehen.....  | 25        |
| 6.2.     | Stand der Technik rotationsfreier Lager in der Magnetschwebewaage .....  | 27        |
| 6.3.     | Beschreibung möglicher Ursachen der Rotationsanregung .....  | 29        |
| 6.4.     | Kriterien zur Optimierung des Magnetschwebelagers .....  | 32        |
| 6.5.     | Versuchsaufbau zur Prüfung der Funktionalität .....  | 34        |
| 6.6.     | Messmethoden .....   | 41        |
| <b>7</b> | <b>Untersuchungen zur Weiterentwicklung des rotations-symmetrischen Magnetlagers für die Magnetschwebewaage</b> .....      | <b>46</b> |
| 7.1.     | Anforderungsprofil und Lastenheft .....  | 46        |
| 7.2.     | Auslegung und Berechnung.....  | 49        |
| 7.2.1.   | Berechnung des Magnetlagers .....  | 49        |
| 7.2.2.   | Auslegung der Erregerwicklung und der Regelung .....   | 54        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.3.      | Ergebnisse aus der Berechnung des Magnetlagers.....   | 54         |
| 7.4.      | Prüfung des rotationssymmetrischen Funktionsmusters .....   | 55         |
| <b>8</b>  | <b>Untersuchungen zur Entwicklung eines rotationsfreien Magnetlagers für die Magnetschwebewaage .....</b> | <b>57</b>  |
| 8.1.      | Anforderungsprofil und Lastenheft .....   | 57         |
| 8.2.      | Generelle Möglichkeiten zur Realisierung .....  | 60         |
| 8.3.      | Ausgewählte Lagervarianten zur näheren Betrachtung.....   | 67         |
| 8.4.      | Berechnung und Auslegung verschiedener rotationsfreier Magnetlager .....                                  | 69         |
| 8.4.1.    | Prinzip: Formänderung mittels quadratischen Gehäuses ohne zusätzliche Erregung .....                      | 69         |
| 8.4.2.    | Prinzip: Formänderung mittels Zahnung ohne zusätzliche Erregung .....                                     | 71         |
| 8.4.3.    | Prinzip: Formänderung mittels Zahnung mit zusätzlicher Erregung .....                                     | 82         |
| 8.4.4.    | Prinzip: Rastierung mit und ohne zusätzliche Erregung .....   | 89         |
| 8.4.5.    | Prinzip: Drehfeld mit und ohne zusätzliche Erregung.....  | 97         |
| 8.4.6.    | Gegenüberstellung der berechneten Varianten.....  | 100        |
| 8.5.      | Prüfung der Funktionsmuster zur rotationsfreien Lagerung.....   | 104        |
| 8.5.1.    | Prinzip: Formänderung mittels quadratischen Gehäuses ohne zusätzliche Erregung .....                      | 106        |
| 8.5.2.    | Prinzip: Formänderung mittels Zahnung ohne zusätzliche Erregung .....                                     | 106        |
| 8.5.3.    | Prinzip: Formänderung mittels Zahnung mit zusätzlicher Erregung .....                                     | 107        |
| 8.5.4.    | Prinzip: Drehfeld ohne zusätzliche Erregung .....   | 108        |
| 8.6.      | Vergleich der Messergebnisse mit den Berechnungsergebnissen .....   | 109        |
| 8.7.      | Zusammenfassung aus Berechnung und Prüfung der rotationsfreien Lagerung .....                             | 111        |
| <b>9</b>  | <b>Einbindung der neuen rotationsfreien Magnetlagerung in die Magnetschwebewaage .....</b>                | <b>113</b> |
| <b>10</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>  | <b>115</b> |
| <b>11</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>  | <b>118</b> |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>12</b> | <b>Anhang .....</b>  | <b>124</b> |
| 12.1.     | Anbringung von Lagesensor und Drehgeber im Versuchsstand.....    | 124        |
| 12.2.     | Berechnung des Trägheitsmomentes der schwebenden Baugruppe ..... | 126        |
| 12.3.     | Notwendige Materialdaten zur Berechnung der Magnetlager.....     | 127        |