

# Inhaltsverzeichnis

---

|   |     |
|---|-----|
| Danksagung  | iii |
| Symbolverzeichnis   | vii |
| Abbildungsverzeichnis   | ix  |
| Tabellenverzeichnis   | xi  |
| 1 Einführung  | 1   |
| 2 Grundlagen  | 5   |
| 2.1 Beobachtbarkeit nichtlinearer dynamischer Systeme . . . . .         | 5   |
| 2.1.1 Beobachtbarkeit nichtlinearer autonomer Systeme . . . . .         | 9   |
| 2.1.2 Beobachtbarkeit nichtlinearer Systeme mit affinem Eingang . . .   | 14  |
| 2.2 Automatische Differentiation . . . . .                              | 17  |
| 2.2.1 Vorwärtsmodus . . . . .   | 17  |
| 2.2.2 Rückwärtsmodus . . . . .  | 18  |
| 2.2.3 Potenzreihen kalkül . . . . .                                     | 20  |
| 2.3 Intervallarithmetische Grundlagen . . . . .                         | 24  |
| 2.3.1 Grundprinzipien der Intervallarithmetik . . . . .                 | 25  |
| 2.3.2 Intervallvektoren . . . . .                                       | 26  |
| 2.3.3 Funktionsauswertung mit Intervallen . . . . .                     | 28  |
| 3 Problemstellung und Stand der Forschung                               | 33  |
| 3.1 Abhängigkeiten zwischen Beobachtbarkeit und Systemeingängen . . . . | 33  |
| 3.2 Stand der Forschung . . . . .                                       | 35  |
| 3.2.1 Gramsche Beobachtbarkeitsmatrix . . . . .                         | 35  |
| 3.2.2 Differential-algebraischer Ansatz . . . . .                       | 37  |
| 3.2.3 Differential-geometrischer Ansatz . . . . .                       | 39  |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3      | Zielsetzung . . . . .  | 42         |
| <b>4</b> | <b>Neue Methoden zur Beobachtbarkeitsuntersuchung</b>          | <b>45</b>  |
| 4.1      | Allgemeiner Teil . . . . .                                     | 46         |
| 4.1.1    | Erstellung der Beobachtbarkeitsabbildung . . . . .             | 48         |
| 4.1.2    | Berechnung gemischter Lie-Ableitungen . . . . .                | 50         |
| 4.2      | Lokale Methode . . . . .                                       | 55         |
| 4.3      | Globale Methode . . . . .                                      | 59         |
| 4.3.1    | Initialisierung . . . . .                                      | 60         |
| 4.3.2    | Abbruchkriterium . . . . .                                     | 61         |
| 4.3.3    | Listenstruktur . . . . .                                       | 61         |
| 4.3.4    | Beobachtbarkeitsuntersuchung . . . . .                         | 62         |
| 4.4      | Beispiele . . . . .  | 66         |
| 4.4.1    | Beispiel 1: Wahl des Schwellwerts für das Abbruchkriterium . . | 66         |
| 4.4.2    | Beispiel 2: Anzahl der Lie-Ableitungen . . . . .               | 70         |
| 4.4.3    | Beispiel 3: Anzahl der Bisektionen . . . . .                   | 73         |
| 4.4.4    | Beispiel 4: Gegenüberstellung der lokalen und globalen Methode | 76         |
| 4.4.5    | Beispiel 5: Vergleich mit weiteren Methoden . . . . .          | 79         |
| <b>5</b> | <b>Implementierung der neuen Methoden</b>                      | <b>83</b>  |
| 5.1      | Hauptprogramm . . . . .  | 84         |
| 5.2      | Lokale Beobachtbarkeitsuntersuchung . . . . .                  | 86         |
| 5.3      | Globale Beobachtbarkeitsuntersuchung . . . . .                 | 87         |
| 5.4      | Berechnung der Beobachtbarkeitsabbildung . . . . .             | 91         |
| <b>6</b> | <b>Fazit</b>   | <b>95</b>  |
| <b>A</b> | <b>Pseudocode</b>  | <b>97</b>  |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                    | <b>101</b> |