



## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| Danksagung .....   | V  |
| Eidesstattliche Erklärung .....  | VI |
| Kurzzusammenfassung .....  | X  |
| Abstract .....   | XI |
| 1 Einleitung .....   | 1  |
| 1.1 Problemstellung .....  | 1  |
| 1.2 Zielsetzung .....  | 3  |
| 1.3 Vorgehensweise .....   | 4  |
| 2 Regelleistung .....  | 6  |
| 2.1 Handel von elektrischer Energie .....  | 6  |
| 2.2 Beschreibung der 3 Regelleistungsarten .....   | 10 |
| 2.3 Dimensionierung des Bedarfs an vorzuhaltender Regelleistung .....                            | 15 |
| 2.4 Zuverlässigkeit des Angebots .....   | 18 |
| 2.5 Literatur zur Regelleistungsbereitstellung durch Windparks .....                             | 20 |
| 2.6 Fazit .....  | 30 |
| 3 Angebotsstrategien für fluktuierende Erzeuger .....  | 32 |
| 3.1 Probabilistische Prognosen für die Angebotserstellung .....                                  | 32 |
| 3.1.1 Probabilistische Windleistungsprognose mit einer Kerndichteschätzung .....                 | 32 |
| 3.1.2 Probabilistische Prognose für steuerbare Anlagen .....                                     | 41 |
| 3.1.3 Verknüpfung der probabilistischen Prognosen von steuerbaren Anlagen und<br>Windparks ..... | 48 |
| 3.2 Angebotsstrategien .....   | 50 |
| 3.3 Potenziale von Windparks an den Regelleistungsmärkten .....                                  | 52 |
| 3.3.1 Potenziale „Kein Pooling mit steuerbaren Anlagen“ – Vortag .....                           | 55 |
| 3.3.2 Potenziale „Kein Pooling mit steuerbaren Anlagen“ – Untertag .....                         | 58 |



|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.3.3 | Potenzielle „Besicherung durch steuerbare Anlagen“ – Vortag und Untertag ..   | 62  |
| 3.4   | Gestaltung der Auktionszeiten .....   | 65  |
| 3.5   | Fazit.....  | 66  |
| 4     | Nachweis der Regelleistungsbereitstellung durch fluktuierende Erzeuger .....  | 68  |
| 4.1   | Vergleichende Beschreibung der beiden Nachweisverfahren .....   | 68  |
| 4.2   | Vergleich der Nachweisverfahren .....   | 76  |
| 4.2.1 | Ermittlung der Abregelungsverluste .....  | 79  |
| 4.2.2 | Ermittlung des Bedarfs an vorzuhaltender Regelleistung.....   | 80  |
| 4.2.3 | Bedarf an steuerbaren Anlagen .....   | 93  |
| 4.2.4 | Zusammenfassung des Vergleichs .....  | 96  |
| 4.2.5 | Kurze Diskussion der Rechtsdokumente zur Fragestellung .....  | 97  |
| 4.3   | Technische Umsetzbarkeit der beiden Nachweisverfahren.....  | 98  |
| 4.3.1 | Entwicklung von generischen Musterprotokollen für die Nachweisverfahren .   | 99  |
| 4.3.2 | Bestimmung der möglichen Einspeisung .....  | 104 |
| 4.3.3 | Feldtest zu den beiden Nachweisverfahren.....   | 108 |
| 4.4   | Mögliche Auswirkungen der Regelleistungsbereitstellung durch Windparks auf<br>einzelne Akteure in der Elektrizitätswirtschaft ..... | 122 |
| 4.5   | Fazit.....  | 124 |
| 5     | Zusammenfassung und Ausblick.....   | 126 |
| 6     | Literaturverzeichnis .....  | 131 |
|       | Abkürzungsverzeichnis.....  | 142 |
|       | Formelzeichen .....   | 144 |
|       | Abbildungsverzeichnis.....  | 151 |
|       | Tabellenverzeichnis .....   | 157 |
| 7     | Anhang.....   | 158 |
| 7.1   | Aspekte für die Festlegung der Auktionszeiten.....  | 158 |



|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 7.2 | Transformation einer Dichtefunktion.....                      | 161 |
| 7.3 | Feldtestergebnisse Altes Lager .....                          | 162 |
| 7.4 | Beschreibung der Erstellung der 1h-Windprognose .....         | 163 |
| 7.5 | Beschreibung der Erstellung der 1h-Photovoltaikprognose ..... | 166 |
| 7.6 | Begriffsdefinitionen .....                                    | 166 |
|     | Lebenslauf .....  | 170 |