

Inhaltsverzeichnis

Wesentliche Aussagen der vorliegenden Studie	I
Kurzfassung	III
1 Einführung	1
1.1 Einleitung und Aufbau des vorliegenden Berichts	1
1.2 Begriffsbestimmung	4
2 Mögliche Einsatzgebiete von Speichern im Energiesystem	9
2.1 Definition von Systemdienstleistungen	9
2.2 Frequenzhaltung	10
2.2.1 Primärregelleistung	11
2.2.2 Einsatzgebietsabhängige Anforderungen an Speichersysteme zur Erbringung von Primärregelleistung	12
2.2.3 Sekundärregelleistung	14
2.2.4 Einsatzgebietsabhängige Anforderungen an Speichersysteme zur Erbringung von Sekundärregelleistung	15
2.2.5 Minutenreserve	16
2.2.6 Einsatzgebietsabhängige Anforderungen an Speichersysteme zur Erbringung von Minutenreserve	17
2.2.7 Momentanreserve	17
2.3 Spannungshaltung	18
2.4 Versorgungswiederaufbau	20
2.5 Kriterien zur netztechnischen Beurteilung und Abschätzung des Bedarfs an Speichersystemen unter Beachtung zukünftiger Herausforderungen im Verbundnetz	23
2.5.1 Konstellation des Kraftwerksparks zur Regelleistungserbringung zum gegenwärtigen Zeitpunkt	23
2.5.2 Szenarien für mögliche Auswirkungen des Rückgangs von Schwungmassen im Netz	24
2.5.3 Entwicklung des Reservebedarfs und des Regelenergiebedarfs	26
2.5.4 Überschussergiemenge.	28
2.5.5 Must-Run-Kapazitäten und Dumped Energy	30

2.5.6	Bedarf an Speicherkapazitäten	31
2.5.7	Blindleistungsbedarf im Verbundnetz	33
2.6	Fazit	35
3	Charakterisierung und Bewertung der derzeit bekannten Speichertechnologien hinsichtlich ihrer zeitlichen und technischen Verfügbarkeit sowie alternative Flexibilitätsoptionen	37
3.1	Charakterisierung und Bewertung der derzeit bekannten Speichertechnologien	37
3.1.1	Schwungmassenspeicher	37
3.1.2	Supraleitende magnetische Energiespeicher	39
3.1.3	Doppelschichtkondensatoren	39
3.1.4	Elektrochemische Speicher	41
3.1.5	Pumpspeicherwerke	46
3.1.6	Druckluftspeicher	49
3.1.7	Stoffliche Energiespeicher	54
3.2	Charakterisierung und Bewertung weiterer Flexibilisierungsoptionen	77
3.2.1	Steuerung der Stromnachfrage zur Verringerung des Speicherbedarfs	77
3.2.2	Erzeugungsmanagement	85
3.2.3	Flexible Kraftwerke	86
3.2.4	Energieexport und -import	90
3.3	Fazit	90
4	Zuordnung und Bewertung von Speichertechnologien und Einsatzgebieten sowie Ableitung technischer Folgerungen	92
4.1	Zuordnung von Speichertechnologien und Einsatzgebieten	92
4.2	Bewertung der Einsatzgebiete und signifikanter Nutzen von Energiespeichern für die Systemstabilität	105
4.2.1	Bewertungskriterien der Speichersysteme	106
4.2.2	Gewichtung der Zuordnung von Speichersystemen zu Systemdienstleistungen aus Sicht der Netzsicherheit	110
4.3	Darstellung und Einschätzung technischer Vorrichtungen zur notwendigen Steuerung von Speichern	115
4.3.1	Einführung	115
4.3.2	Netzebenen der Kommunikationstechnologie	118

4.3.3	Netzebenen der Speicher	122
4.3.4	Zuordnung von Systemdienstleistungen auf Netzebenen sowie Kommunikationsanforderungen	123
4.4	Netzdienlicher Einsatz von Speichertechnologien	126
4.4.1	Netzdienlicher Einsatz im Verteilnetz	126
4.4.2	Netzdienlicher Einsatz im Übertragungsnetz	128
4.5	Sinnvolle Wahl von Verantwortlichkeiten für den Betrieb von Speichern	131
4.5.1	Bewertung der prognostizierten Entwicklungen am Regelenergiemarkt	131
4.5.2	Rechtliche Bewertung	136
4.6	Fazit	167
5	Potentiale zur Marktteilnahme von Speichertechnologien in Konkurrenz zu weiteren Flexibilitätsoptionen	170
5.1	Ökonomik der Systemsicherheit	170
5.1.1	Grad der Systemsicherheit	174
5.1.2	Wert und Kosten der Systemsicherheit	175
5.2	Frequenzhaltung	177
5.2.1	Regelenergiemärkte	177
5.2.2	Momentanreserve	184
5.2.3	Lastmanagement	185
5.2.4	Erzeugungsmanagement	194
5.3	Spannungshaltung	196
5.4	Wiederaufbau des Netzes	197
5.5	Kosten der Speichertechnologien	198
5.6	Fazit	201
6	Ökonomische Analyse der Anreize zum Ausbau von Energiespeichern: Status quo und Optionen für einen verstärkten Zubau	202
6.1	Bereitstellung des Gutes „Versorgungssicherheit“	202
6.2	Hemmnisse für Speicherinvestitionen durch die bestehenden Strommarktregeln	203
6.2.1	Anreizregulierung	203
6.2.2	Außenmarktliche Preissetzungen	204
6.2.3	Fehlende Märkte	205

6.2.4 Externalisierung von Kosten	205
6.2.5 Investitionsrisiko und Marktdesignänderung	207
6.3 Gestaltung des gesamten elektrizitätswirtschaftlichen Systems vor dem Hintergrund von knappen Netz- und Erzeugungskapazitäten	208
6.4 Diskretionäre Maßnahmen zur Förderung einzelner Speichertechnologien: Wirkungsanalyse und Bewertung	210
6.4.1 Einleitung	210
6.4.2 Ordnungspolitisches Analyseraster	211
6.4.3 Analyse bestehender Fördersysteme	213
6.4.4 Portfolioansatz weiterer Handlungsoptionen	221
6.5 Fazit	232
Anhang	235
Abbildungsverzeichnis	235
Tabellenverzeichnis	238
Literaturverzeichnis	240