



Ann-Kathrin Klaas (Autor)

Speicherauslegung und Betriebsführung von Wasserstoff- Druckluftspeicherkraftwerken (HCAES) bei simultaner Teilnahme an verschiedenen Energiemärkten



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8915>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	xvii
1 Einleitung	1
1.1 Grundlagen der Modellierung	8
1.2 Aufbau der Arbeit	10
Teil A: Konzeptionierung, Parametrierung und Vergleich von Speicherkraftwerken	13
2 Grundlagen der Speicherung von elektrischer Energie in Form von Druckluft und Wasserstoff	15
2.1 Speicherkraftwerkskonzepte	15
2.1.1 Druckluftspeicherkraftwerk	15
2.1.2 Wasserstoff-Druckluftspeicherkraftwerk	18
2.1.3 Wasserstoffspeicherkraftwerk	19
2.2 Komponenten der Speicherkraftwerke	20
2.2.1 Salzkavernen	20
2.2.2 Wärmespeicher	21
2.2.3 Elektrolyse	22
2.2.4 Wasserstoff-Rückverstromung	23

3 Vergleich der Konzepte	25
3.1 Quantitative Kriterien	27
3.1.1 Speicherkapazität und Wirkungsgrad	27
3.1.2 Investitionskosten	32
3.1.3 Technology Readiness Level	39
3.2 Qualitative Kriterien	41
3.3 Zwischenfazit	45
Teil B: Dimensionierung von HCAES-Speicherkraftwerken	49
4 Modellbildung	51
4.1 Ziel der Modellierung	51
4.2 Kraftwerksbetrieb	58
4.3 Energiemärkte	64
4.3.1 Day-Ahead-Markt	65
4.3.2 Regelenergiemärkte	66
4.3.3 Stromlieferverträge mit EE-Anlagen	72
4.3.4 Wasserstoffverkauf und Sauerstoffverkauf	73
4.4 Zielfunktion	75
5 Ergebnisse der Dimensionierung	81
5.1 Bestimmung eines Basisjahrs	81
5.2 Sensitivitätsanalyse	89
5.2.1 Investitionskosten	90
5.2.2 Day-Ahead-Marktpreise	92
5.2.3 Wind- und Solarpreise	96
5.2.4 Wasserstoffpreis	100
5.3 Zweidimensionale Sensitivitätsanalyse	104
5.4 Auswertung	108
5.5 Szenarienbasierte Dimensionierung	110
5.6 Zwischenfazit	121

Teil C: Betriebsführung von HCAES-Speicherkraftwerken	125
6 Detailgrad des Speicherkraftwerksmodells	127
6.1 Speicherkraftwerksbetrieb mit dem Basismodell	127
6.2 Betriebsrestriktionen im Speicherkraftwerksmodell	132
6.2.1 Minimale Teillast	132
6.2.2 Teillastwirkungsgrad	134
6.2.3 Elektrolysemodule	137
6.2.4 Kopplung der elektrischen Maschine	140
6.2.5 Umschaltung zwischen Kompressor- und Turbinenbetrieb . .	141
6.2.6 Startkosten	142
6.2.7 Kombination der Betriebsrestriktionen	148
6.3 Zwischenfazit	151
7 Rollierende Kraftwerkseinsatzplanung unter Berücksichtigung von Prognosefehler	153
7.1 Rollierende Planung	154
7.2 Prognoseverfahren	159
7.3 Einfluss der Prognosegüte	163
7.4 Zwischenfazit	167
8 Schlussfolgerungen	169
Literatur	177
Anhang zu Teil A	191
A.1 Thermodynamische Analyse von Speicherkraftwerken	191
A.1.1 Blockschaltbilder und Parameter	192
A.1.2 Berechnungsvorschriften	197
A.2 Definition des Technology Readiness Level	205
A.3 Paarweiser Vergleich der Speicherkraftwerkskonzepte anhand quali- tativer Kriterien	205

Anhang zu Teil B	209
B.1 Berechnung der normierten Wind- und PV-Einspeisezeitreihen	209
B.2 Sensitivitätsanalyse der Eingangsparameter	211
B.2.1 Day-Ahead-Marktpreise	211
B.2.2 Regelenergiepreise	213
B.2.3 Wind- und Solarpreise	218
Anhang zu Teil C	219
C.1 Basismodell	219
C.2 Preisprognose mit der sARIMA-Methode	221