



Veränderte Investitionsbedingungen für Braunkohlekraftwerke in einem transformierten Energiesystem

Barbara Glensk und Reinhard Madlener

Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN),
School of Business and Economics / E.ON Energy Research Center,
RWTH Aachen University, Germany

Virtuelles Institut „Transformation Energiewende NRW“
Essen, Stiftung Mercator

Präsentation Gliederung

1. Motivation
2. Fragestellung
3. Fallstudie
4. Simulationsergebnisse
5. Zentrale Erkenntnisse



Quelle: W. Glensk (upper part), http://www.schulewirtschaft-bayern.de/files/File/ingolstadt/VA-Dokumente%202012/240412_pdf_kraftwerk_hartmann.pdf (lower part)

1. Motivation

„ENERGIEWENDE“

Transformationsprozess des Energiesystems

- ✓ Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien über umfangreiche Förderung erneuerbarer Energien
- ✓ Reduzierung des Energieverbrauchs
- ✓ Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen



STROMWIRTSCHAFT

Stromerzeugung, Stromversorgung, Handel mit Strom und Stromnetz

- ✓ Verringerung der Stromgroßhandelspreise
- ✓ Schwierigkeiten beim gewinnbringenden Betrieb konventioneller Kraftwerke
- ✓ Keine günstigen Voraussetzungen für neue Investitionen

1. Motivation

Ausgangslage

- Konsultation Grünbuch
- Studien
- Nachbarländer/EU KOM
- Stakeholder

Strommarkt 2.0

Grundsatzentscheidung für einen liberalisierten, europäischen Strommarkt

1. Versorgungssicherheit
2. Kosteneffizienz
3. Innovation und Nachhaltigkeit

Umsetzung

1. Stärkere Marktmechanismen
2. Flexible und effiziente Stromversorgung
3. Zusätzliche Absicherung

Quelle: BMWi (2015) „Ein Strommarkt für die Energiewende“

2. Fragestellung

1

- Welche technisch-ökonomischen Faktoren beeinflussen Investitions- und Standortentscheidungen in energieintensiven Industriebranchen in NRW unter Berücksichtigung der industriellen Transformationsprozesse?

Entscheidende Faktoren bei den Investitions- und Standortentscheidungen in energieintensiven Industriebranchen in NRW:

- Die zuverlässige bedarfsgerechte Stromversorgung
- Die Sicherung von leistbaren Strompreisen
- Die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz

Kann erreicht werden mit der Flexibilisierung des Energiesystems

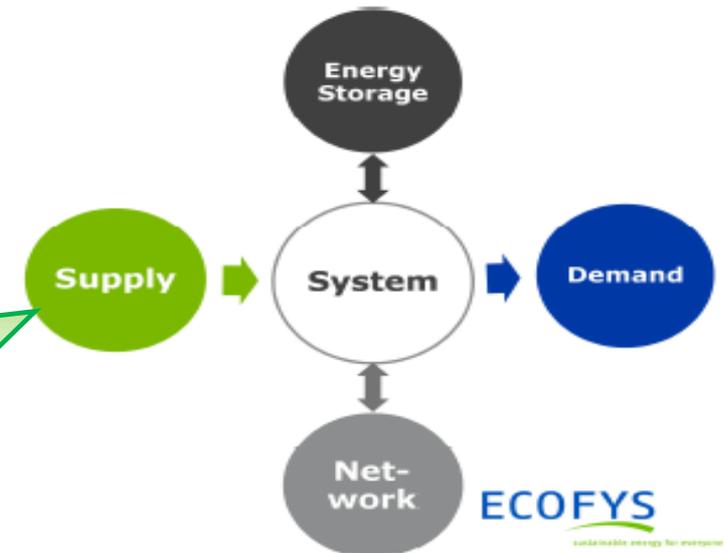
2. Fragestellung

2

- Welche Flexibilisierungsoptionen für die Kraftwerke (insb. der Braunkohleverstromung) gibt es und sind ökonomisch sinnvoll um deren Flexibilität zu erhöhen?

Flexibilität der Braunkohleverstromung kann erreicht werden mit:

- ✓ der Bereitstellung des richtigen Bedarfs zur geforderten Zeit
- ✓ der Erhöhung des Wirkungsgrades
- ✓ der Verringerung von Überschüssen
- ✓ der Bereitstellung von Hilfsdiensten



Kategorien der Systemflexibilitätskategorien (Quelle: Ecofys, 2014 S.8)

2. Fragestellung

3

- Wie können rationale Entscheidungen über die Investitionen in den Flexibilisierungsmaßnahmen für die Kraftwerke (insb. der Braunkohleverstromung) getroffen werden?

REALOPTIONENANALYSE

SCHRITT 1

Definition des Lastverlaufs des Kraftwerks

Vergleich von **dark spread** (geschätzt mit arithmetische Brown'sche Bewegung (ABM) Prozess) mit Technologie-Grenzkosten (**MCT**)

SCHRITT 2

Anwendung der Monte Carlo Simulation für die Kalkulation des erwarteten Cashflows des Kraftwerks

SCHRITT 3

Binomiales Entscheidungsbaumverfahren

3. Fallstudie

Energieträger	Anzahl Kraftwerke (in Betrieb)	Netto-Nennleistung in MW
Braunkohle	9	10.510,6
Steinkohle	15	11.643,4
Erdgas	34	6.305,0
Biomasse	10	145,2
Biomasse Anlagen < 10MW		572,6
Deponiegas	1	50,1
Grubengas	1	33,4
Grubengas Anlagen < 10MW		152,4
Klärgas	1	18,2
Laufwasser	3	155,9
Mineralölprodukte	4	231,0
Pumpspeicher	2	291,0
Solare Strahlungsenergie	2	24,6
Solare Strahlungsenergie Anlagen < 10MW		4.296,1
Abfall	12	418,7
Wind onshore	50	774,6
Wind onshore Anlagen < 10MW		2.994,0
Speicherwasser (ohne Pumpspeicher)	1	15,0
Sonstige Energieträger (nicht erneuerbar)	3	716,0

Quelle: Kraftwerkliste Bundesnetzagentur (bundesweit; alle Netz- und Umspannebenen) Stand 25.09.2015

GOLDENBERG

Energiedienstleistungszentrum Kraftwerk

Technische Parameter	Wert
Leistung (netto)	151 MW
Inbetriebnahme	1993
Lebensdauer	35 Jahre
Minimum Last	60%
Wirkungsgrad	35%
Spezifische CO₂ - Emissionen der Stromerzeugung	0.929 (t CO ₂ /MWh)



Quelle: <http://www.rwe.com/web/cms/de/60098/rwe-power-ag/energietraeger/braunkohle/standorte/edz-kw-goldenberg/>

3. Fallstudie

Flexibilisierungsoptionen für die Kraftwerke

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Anpassung der konventionellen Kraftwerke an die ständig variierenden Nachfragesituationen auf dem heutigen Strommarkt (Flexibilisierungsoptionen):

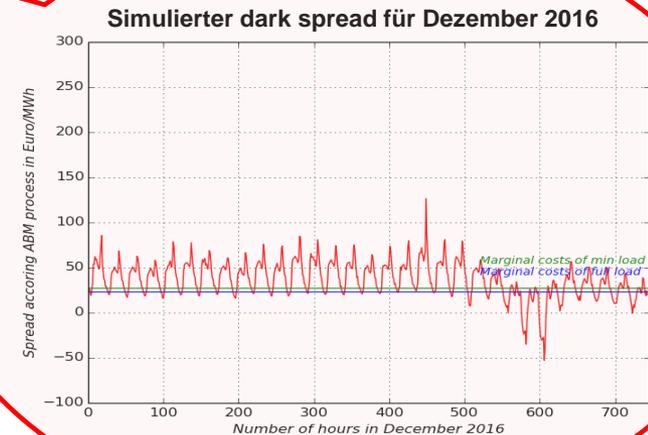
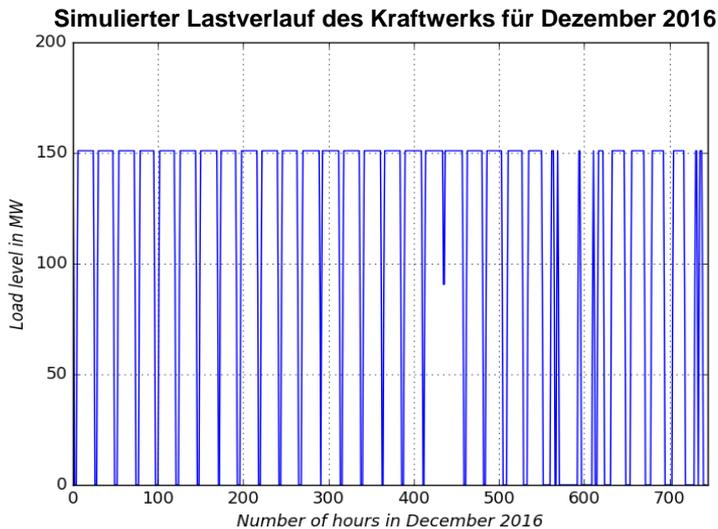
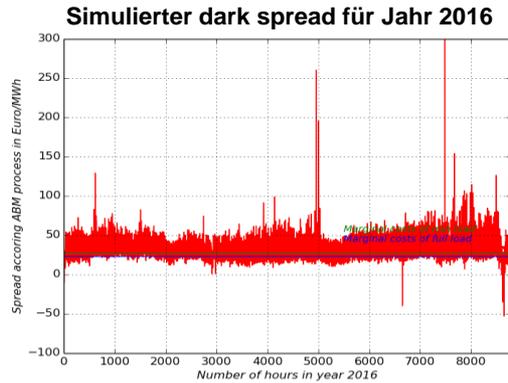
- **Mindestlast (Minimum Load) des Kraftwerkes senken**
- Flexibilität des verwendbaren Brennstoffes
- Einspeiseflexibilität
- Teillasteffizienz (Partial Load Efficiency) für bedingt hohe Nachfrage
- Überlastung (Overload) zur Auslastungssteigerung
- Leistungsbreite (Load Band) - Zustand, in dem das Kraftwerk effizient arbeitet

Maßnahme 1: *Umrüstung des Feuerungssystems*

Maßnahme 2: *Umrüstung der Dampfturbine und des Wasser-Dampf-Kreislaufs*

4. Simulationsergebnisse

Definition des Lastverlaufs des Kraftwerks



4. Simulationsergebnisse

Binomialer Entscheidungsbaum für den Optionswert und Entscheidung

Fall: Umrüstung des Feuerungssystems – Mindestlast des Kraftwerkes sinkt von 60% auf 50% und mit Berücksichtigung der Subventionen

Binomial lattice of the option value

0	1	2	3	4	...	12	13	14	15
14,080,566.18	14,806,193.81	15,569,215.92	16,371,559.59	17,215,251.23	...	25,733,559.27	27,059,712.02	28,454,206.71	29,920,565.25
	14,707,808.78	15,465,760.72	16,262,772.94	17,100,858.37	...	25,562,563.48	26,879,904.13	28,265,132.60	29,721,747.40
		15,362,992.97	16,154,709.15	16,987,225.62	...	25,392,703.92	26,701,291.04	28,077,314.86	29,524,250.67
			16,047,363.44	16,874,347.96	...	25,223,973.06	26,523,864.81	27,890,745.15	29,328,066.28
				16,762,220.34	...	25,056,363.39	26,347,617.54	27,705,415.16	29,133,185.50
				
						23,754,965.25	24,979,153.18	26,266,428.38	27,620,042.00
							24,813,170.30	26,091,891.75	27,436,510.80
								25,918,514.88	27,254,199.13
									27,073,098.90

CV = 25,562,563.48
 AV = 12,825,000.00
 EV = -48,933,017.96

Decision

0	1	2	3	4	...	12	13	14	15
continue	continue	continue	continue	continue	...	continue	continue	continue	continue
	continue	continue	continue	continue	...	continue	continue	continue	continue
		continue	continue	continue	...	continue	continue	continue	continue
			continue	continue	...	continue	continue	continue	continue
				continue	...	continue	continue	continue	continue
				
						continue	continue	continue	continue
							continue	continue	continue
								continue	continue
									continue

5. Zentrale Erkenntnisse

- Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht eine **vereinfachte Definition des Lastverlaufs des Kraftwerks** und zeigt die zukünftige Rolle von konventionellen Kraftwerken (als „back-up“ Kapazitäten)
- Die Anwendung der vorgeschlagenen **Realloptionenanalyse** ermöglicht:
 - die **Integration der Marktunsicherheiten** in der Kalkulation vom Projektwert
 - die **gleichzeitige Untersuchung vieler Entscheidungsmöglichkeiten**
 - die **Findung des optimalen Entscheidungszeitpunktes**
- Die **Änderungen des Projektrisikos** können mit berücksichtigt werden, wodurch der Unternehmer die Möglichkeit hat, flexibel zu entscheiden

5. Zentrale Erkenntnisse

- Die Analysen für die Braunkohlekraftwerke ergeben, dass das **Kraftwerk ohne Subventionierung stillgelegt werden sollte**
- **Unter Berücksichtigung von Subventionen** resultiert aus der Analyse die Entscheidung: Weiterbetrieb des Kraftwerks
- Die Umrüstungsmaßnahmen verursachen **unterschiedliche Nettonutzen**
- Die **vorgeschlagene Methode** kann auch für die Nachrüstung andere Technologien verwendet werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Barbara Glensk
T: +49-241-80 49 833
BGlensk@eonerc.rwth-aachen.de

Prof. Dr. Reinhard Madlener
T: +49-241-80 49 820
RMadlener@eonerc.rwth-aachen.de

www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn