

16. Symposium Energieinnovation – TU Graz

Klimaveränderungen und deren Einfluss auf Stromerzeugungskosten

Graz, 12. Februar 2020

Charlotte Newiadomsky, SWK E² Hochschule Niederrhein

Inhalt

Einleitung

Methodik

Ausgewählte Ergebnisse

Fazit und Ausblick

HITZE UND DÜRRE MACHEN KRAFTWERKEN ZU SCHAFFEN

POLITIK © 25.06.2019 - 17:30 - VON KARSTEN

Heat wave in Poland causing electricity shortage, drought

By ASSOCIATED PRESS

11 BST, 10 August 2015

Report: California's Five-Year Drought Increased Electricity Costs By \$2.45B

Wednesday, April 26, 2017

By Brooke Ruth, Maureen Cavanaugh

Flusspegel

Niedrigwasser führt zu Lieferengpässen und Preiserhöhungen

Energieversorgung

Kraftwerke müssen wegen Hitze ihre Leistung drosseln

Produktion ein
Flusspegel f

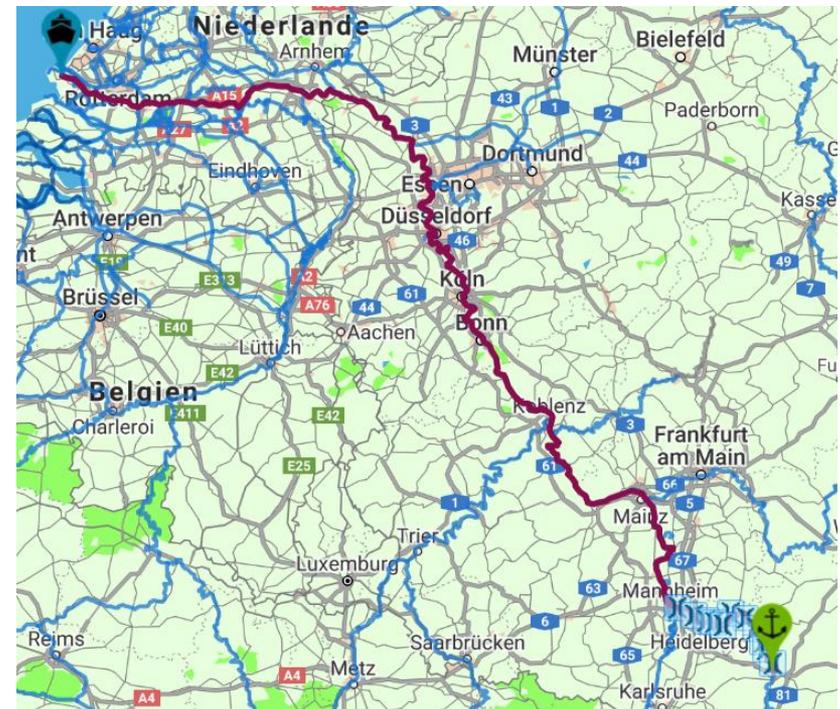
Die hohen Temperaturen haben Folgen für die Stromproduktion in Deutschland. Viele Kraftwerke können wegen der Hitze nicht mit Vollast betrieben werden.

Gegenstand der Untersuchung

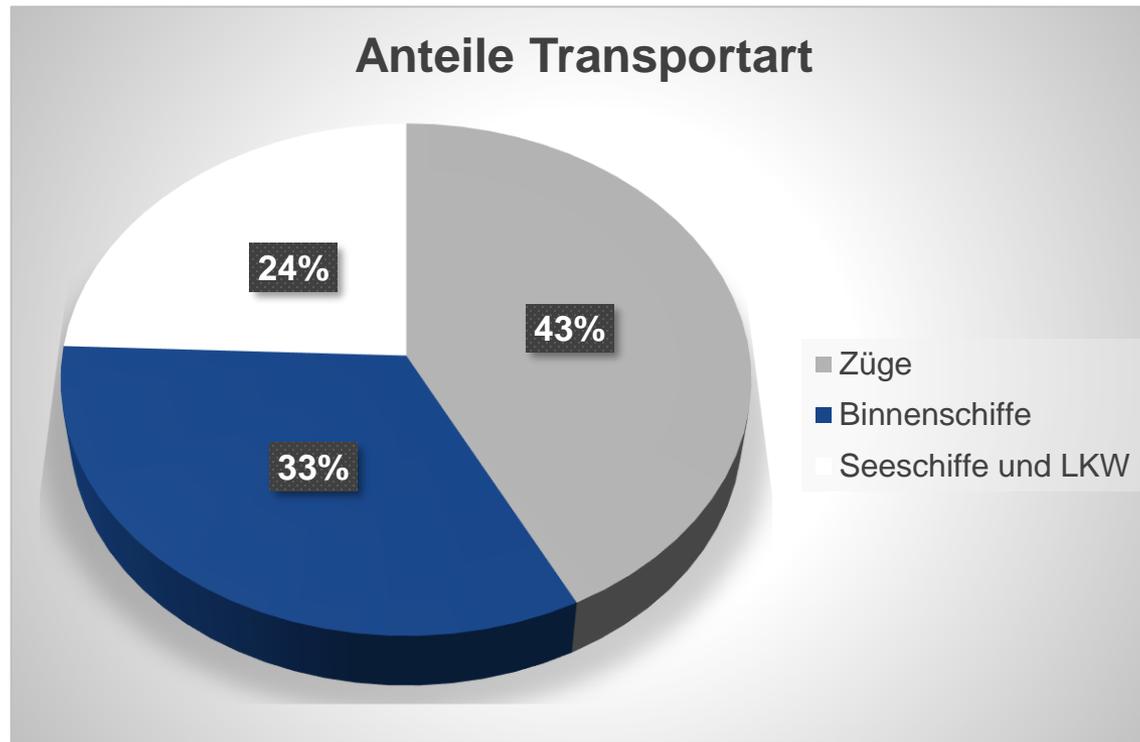
- Steinkohlekraftwerke in Deutschland
- Transportarten der Steinkohle
- Anwendung alternativer Kühltechnik für die Kühlung im Kraftwerk
- Analyse der sich ändernden Stromgestehungskosten

Worst-Case-Szenario

- Transport der Steinkohle mit Binnenschiffen ist nicht mehr möglich
- Nutzung anderer Kühltechnik evt. notwendig
- Annahme: Vollständige Verlagerung auf andere Transportarten notwendig



Steinkohletransport zu deutschen Kraftwerken



→ 2/3 aller Steinkohlenimporte werden an ARA-Häfen und zusätzlich 1/3 an Nordsee- / Ostseehäfen umgeschlagen

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018)

Inhalt

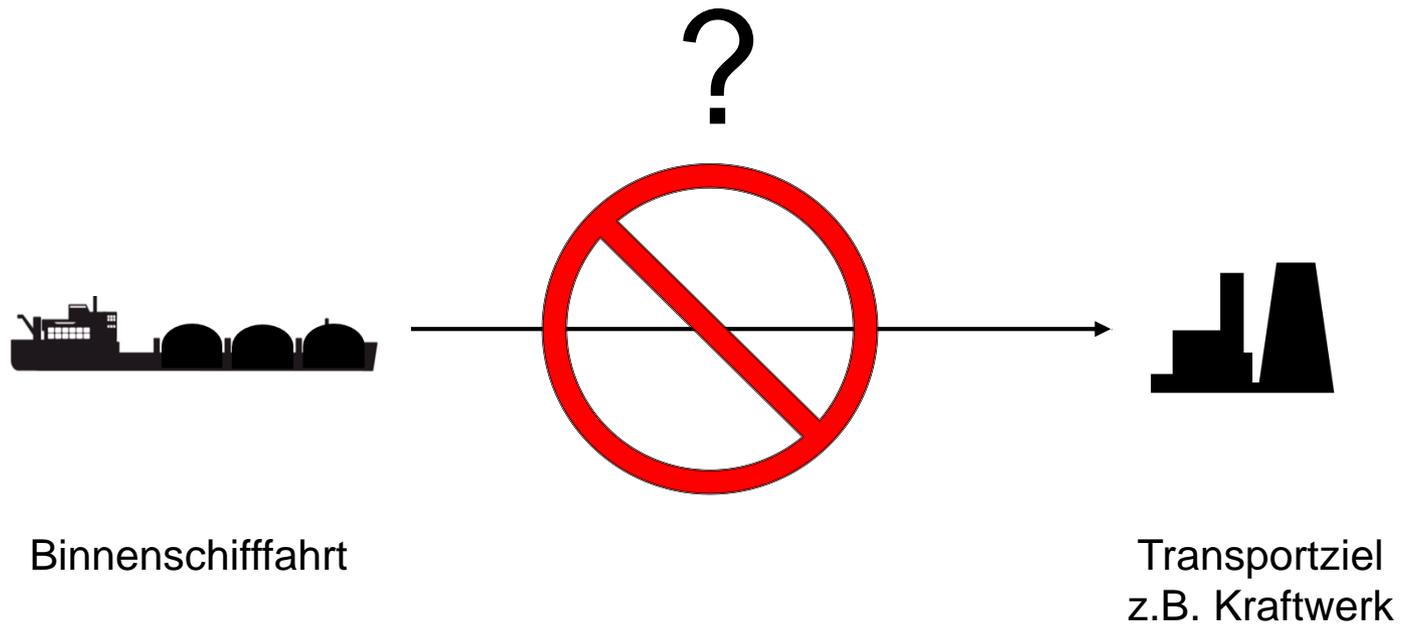
Einleitung

Methodik

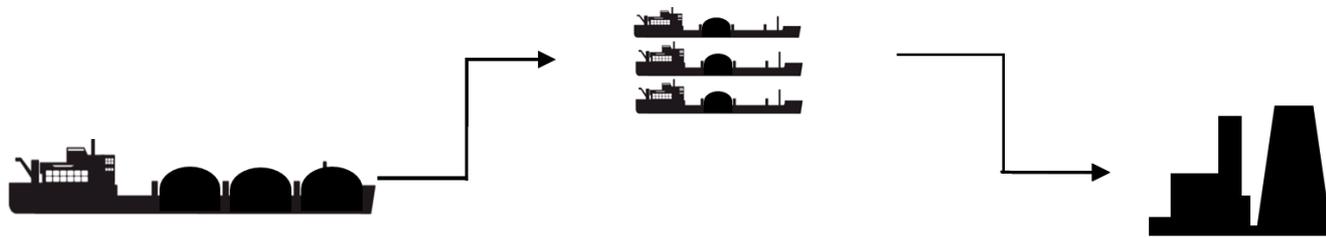
Ausgewählte Ergebnisse

Fazit und Ausblick

Kraftwerksversorgung



Kraftwerksversorgung bei Niedrigwasser



Binnenschifffahrt

Transportziel
z.B. Kraftwerk

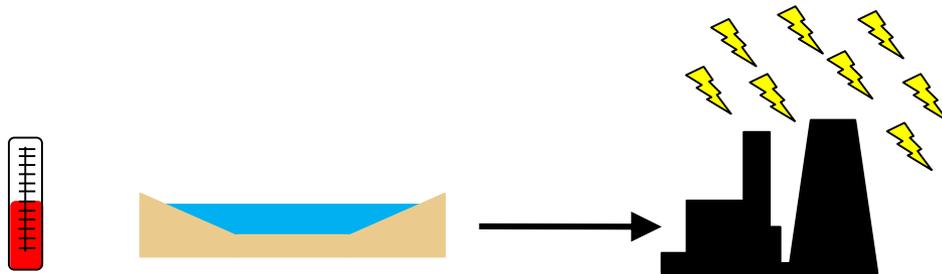
Berechnung der Transportkosten

- 3 verschiedene Basisberechnungen notwendig



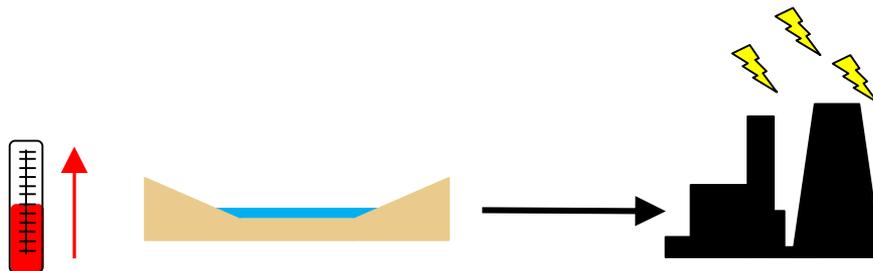
- Je Transportmittel die entsprechenden Routen von z.B. Seehafen zu Kraftwerk recherchieren
- Analyse für alle in Betrieb befindlichen Steinkohlekraftwerke in Deutschland, die über Schiffsanbindung verfügen und Anlieferung per Güterzug und LKW ermöglichen
→ Von insgesamt 55 Steinkohlekraftwerken werden nur 30 berücksichtigt

Auswirkungen des Klimawandels auf Kraftwerkskühlung



Mittlere Umgebungstemperaturen
und normaler Flusspegel

- Keine Auswirkungen auf die Kühltechnik
- Normale Stromerzeugung



Steigende Umgebungstemperaturen
und niedrige Flusspegel

- Steigende Verdunstungsraten und sinkende Wasserstände
→ Hohe Auswirkungen auf die Kühltechnik (insbesondere Durchlaufkühlung)
- Reduzierte Stromerzeugung

Berechnung der Kostenänderung für Kraftwerkskühlung

	Verringerung des Wirkungsgrads [%]	Preiserhöhung je kWh erzeugten Stroms [Euro-Cent]
Lufttemperatur + 1°C	- 0,03	0,03
Wassertemperatur + 1°C	- 0,06	0,06
Nasskühlturm	- 1,00	0,10
Trockenkühlturm	- 2,00	0,20

- Annahmen
 - Erhöhung der Luft- und Wassertemperaturen um durchschnittlich je 1°C
 - Durchflusskühlung wird als Standardkühltechnik angenommen

Quellen: Colman (2013), Leuschner (2019) und Wissel et al. (2010)

Berechnung der Stromgestehungskosten

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{t,el}}{(1+i)^t}}$$

*Brennstoffkosten,
Betriebskosten,
Wartungskosten,
Kosten für CO₂-Emission und
Entsorgungskosten / Restwert*

- LCOE : Stromgestehungskosten (Levelised Costs of Electricity) [€/kWh]
I₀ : Investitionsausgaben [€]
A_t : Gesamtkosten [€] für Jahr t
M_{t,el} : produzierte Strommenge [kWh] des spezifischen Jahres t
i : reeller kalkulatorischer Zinssatz [%]
n : Nutzungsdauer in Jahren
t : Jahr der wirtschaftlichen Nutzungsdauer (1, 2, ..., n)

Quelle: Kost et al. (2018)

Berechnung der Gesamtkosten

$$A_t = K_{fix} + K_{var} + R$$

- A_t : Gesamtkosten [€] für Jahr t
 K_{fix} : Fixe Betriebskosten [€] für das Jahr t
 K_{var} : Variable Betriebskosten [€] für das Jahr t
 R : Restwert der Anlage [€] bzw. Entsorgungskosten der Anlage [€] im Jahr t
 t : Jahr der wirtschaftlichen Nutzungsdauer (1, 2, ..., n)

Quelle: Kost et al. (2018)

Inhalt

Einleitung

Methodik

Ausgewählte Ergebnisse

Fazit und Ausblick

Stromgestehungskosten - Kohleanlieferung

Transportart	LCOE absolut [ct/kWh]	LCOE-Änderung [%]
Binnenschifffahrt	6,27 – 9,86	-
Güterzug	6,72 – 10,31	4,56 – 7,18
LKW	7,25 – 10,84	9,94 – 15,63

ABER: Transportkapazitäten der einzelnen Transportmittel und entsprechende Reisezeiten müssen berücksichtigt werden!

Stromgestehungskosten - Kraftwerkskühlung

Transportart	LCOE mit unterschiedlicher Kühltechnik		
	Durchlaufkühlung	Nasskühlturm	Trockenkühlturm
Binnenschifffahrt	6,36 – 9,95	6,46 – 10,05	6,56 – 10,15
Güterzug	6,81 – 10,40	6,91 – 10,50	7,01 – 10,60
LKW	7,34 – 10,93	7,44 – 11,03	7,54 – 11,13

- Je nach verfügbaren Kühltechnologien und Klimaindikatoren können Kraftwerksbetreiber von einer Kühltechnologie zu einer anderen wechseln
- Steinkohlekraftwerken können dadurch zusätzliche Kosten zwischen 0,90 €/MWh (0,09 ct/kWh) und 12,70 €/MWh (1,27 ct/kWh) entstehen

Inhalt

Einleitung

Methodik

Ausgewählte Ergebnisse

Fazit und Ausblick

Fazit und Ausblick

- Klimaveränderungen haben einen Einfluss auf die Elektrizitätspreise
 - Probleme in der Kraftwerksversorgung mit Steinkohle
 - Zusätzliche Kosten für Kühlsysteme der Kraftwerke

- ABER
 - Vorgestellte Analyse wurde für ein Worst-Case-Szenario durchgeführt
 - Steinkohletransport würde in Realität nicht komplett von Binnenschiffen auf Züge oder LKW verlegt werden

- Problematik für Deutschland bald nicht mehr relevant, aber interessant für
 - Länder mit hohem Anteil an Kohlekraftwerken oder
 - Länder mit starken Einschränkungen in Wasserverfügbarkeit für Kraftwerkskühlung und anderen Akteuren der Wasserwirtschaft

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hochschule Niederrhein
SWK E²
Obergath 79 (Gebäude J)
47805 Krefeld

Charlotte Newiadomsky, M.Sc.
charlotte.newiadomsky@hs-niederrhein.de
Tel: +49 (0)2151 822-6698



Grundlagen Klimawandel

Folgen des Klimawandels

Steigende Temperaturen

Mehr heiße Tage und Hitzewellen

Meeresspiegelanstieg und häufigere Sturmfluten

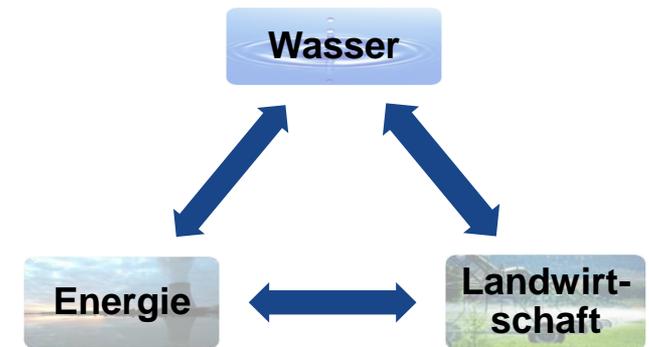
Häufigere Flusshochwasser

Zunahme der Niederschläge und häufigere Starkregen

Landwirtschaft:
Verschiebung der Vegetationsperioden

Auswirkungen für Kraftwerksbetreiber

- Wettbewerb um die verbleibenden Wassermengen mit Akteuren anderer Sektoren (z.B. Landwirtschaft)
- Reduktion der Stromerzeugung durch Probleme in der Kraftwerksversorgung
- Reduktion der Stromerzeugung durch reduzierte Kühlleistung
- Wasseraufbereitung und Wasserverteilung energieintensiver



→ Führt zu höheren Erzeugungskosten für den Betrieb von Kraftwerken



Hochschule Niederrhein

University of Applied Sciences

SWK E²

**Institut für Energietechnik und
Energiemanagement**

Institute of Energy Technology and
Energy Management