



Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Stromversorgung in Deutschland – eine kritische Analyse von Energieprognosen

Sophia Jörg, Viktoria Steinberger, Manfred Wirsum

Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen (IKDG)

RWTH Aachen University

EnInnov 2020

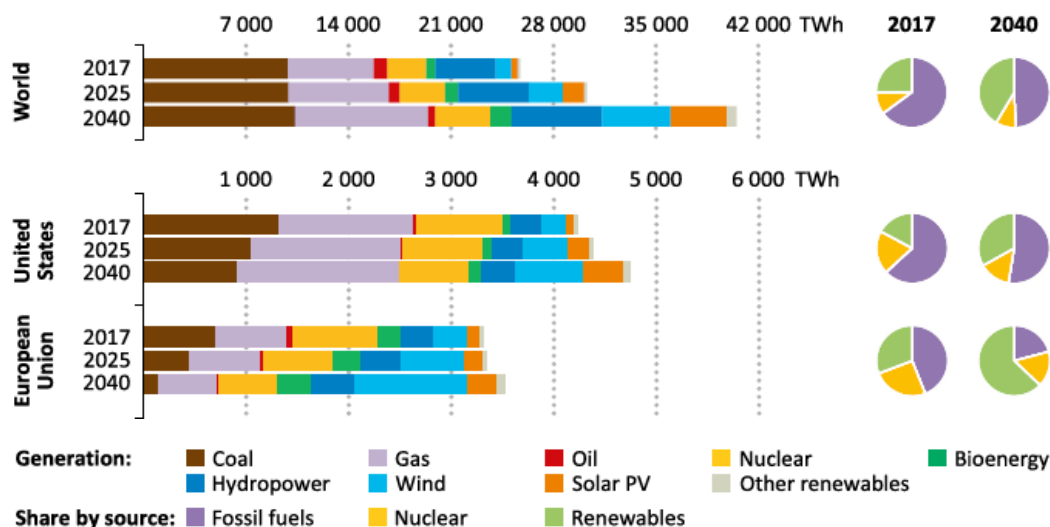
16. Symposium Energieinnovation, Graz

13.02.2020

Motivation

Energieprognosen als Entscheidungsgrundlage

Auszüge aus dem *World Energy Outlook 2018* [1]:



Entwicklung des Strommixes gemäß *New Policies Scenario* (Nach [1])

- Energieprognosen zeigen Szenarien für die zukünftige Entwicklung der globalen und nationalen Energiewirtschaft auf
- Entscheidungsgrundlage für Akteure aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft

[1] International Energy Agency, „WEO: World Energy Outlook 2018,“ Paris, 2018.

[2] International Energy Agency, „WEO: World Energy Outlook 2018 – Zusammenfassung: German Translation,“ Paris, 2018.

„Erdgas überholt Kohle 2030 und steigt zum zweitwichtigsten Energieträger im globalen Energiemix auf.“ [2]

„Bleiben die Investitionen in fossile Energieträger hinter den Verbrauchstrends zurück?“ [2]

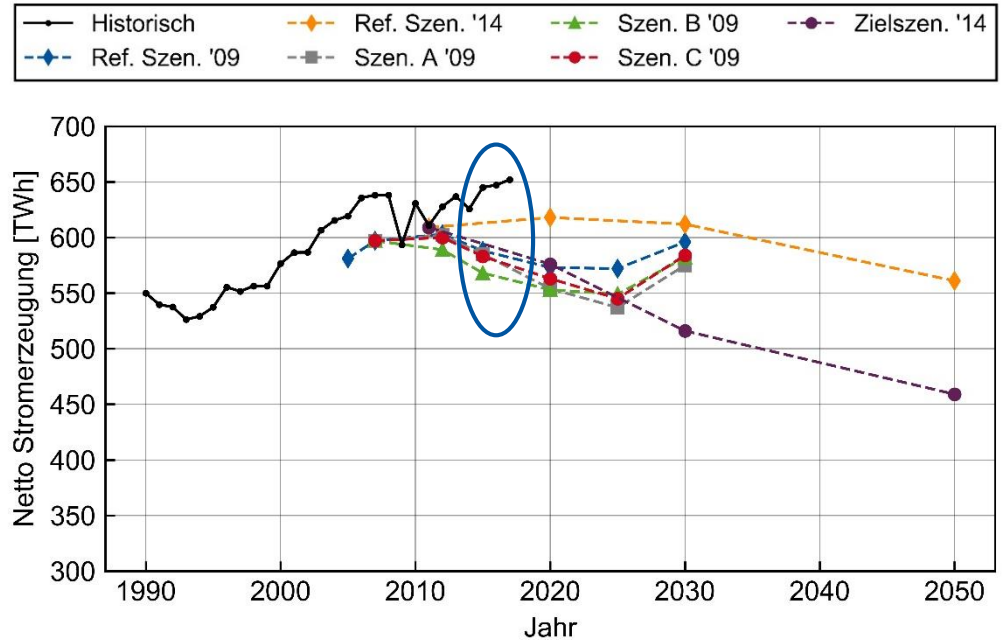
„Politik entscheidet über die langfristige Energiezukunft.“ [2]

Motivation

Zentrale Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung

Vergleich von Prognosen und historischer Entwicklung zeigen teils signifikante Diskrepanzen

- Wie wird die Entwicklung des Energiesystems beeinflusst?
- Wie stark sind diese Einflüsse in der Modellierung repräsentiert?
- Was sind mögliche Ursachen für diese Diskrepanzen?



Historische und prognostizierte Nettostromerzeugung in Deutschland

Umfang der Studie:

- Exemplarische Analyse der Energieprognosen 2009 und 2014
- Fokus: Stromerzeugung in Deutschland seit 1990
- Untersuchung der Nettostromerzeugung nach Primärenergieträger

Datengrundlage

Untersuchte Energieprognosen

- Energieprognosen im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

Energieprognose 2009 [3]				Energieprognose 2014 [4]	
Referenz-szenario	Sensitivitätsanalyse			Referenz-szenario	Zielszenario
	Höhere Rohstoffpreise	Geringeres Bevölkerungswachstum	Stärkerer Klimaschutz		Klimazielerorientiert
Ref. Szen. '09	Szen. A '09	Szen. B '09	Szen. C '09	Ref. Szen. '14	Zielszen. '14

- Datensätze zur historischen Entwicklung:

- Eurostat: EU Countrysheets [5]
- BP Statistiken [6]
- Bundesamt für Statistik [7]
- AG Energiebilanzen Deutschland [8]
- Energieforschungsbericht 2018 [9]

[3] U. Fahl, M. Blesl, A. Voß, P. Achten, D. Bruchof, B. Götz, M. Hundt, S. Kempe, T. Kober und R. Kuder, „Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030: Energieprognose 2009,“ ZEW Gutachten/ Forschungsberichte, 2010.

[4] M. Schlesinger, D. Lindenberger und C. Lutz, „Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose. Projekt Nr. 57/12. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie,“ ewi/ gws/ prognos, Basel/ Köln/ Osnabrück, 2014.

[5] Eurostat, „Energy datasheets: EU28 countries,“ 13.03.2019. [Online]. Available: www.data.europa.eu/euodp/en/data/datasetinformation-on-energy-markets-in-eu-countries-with-national-energy-profiles. [Zugriff am 18.05.2019].

[6] BP p.l.c., „BP Statistical Review of World Energy,“ BP Statistical Review, London, 2018.

[7] Statistisches Bundesamt, „Destatis - Statistisches Bundesamt,“ 2020. [Online]. Available: www.destatis.de. [Zugriff am 01.06.2019].

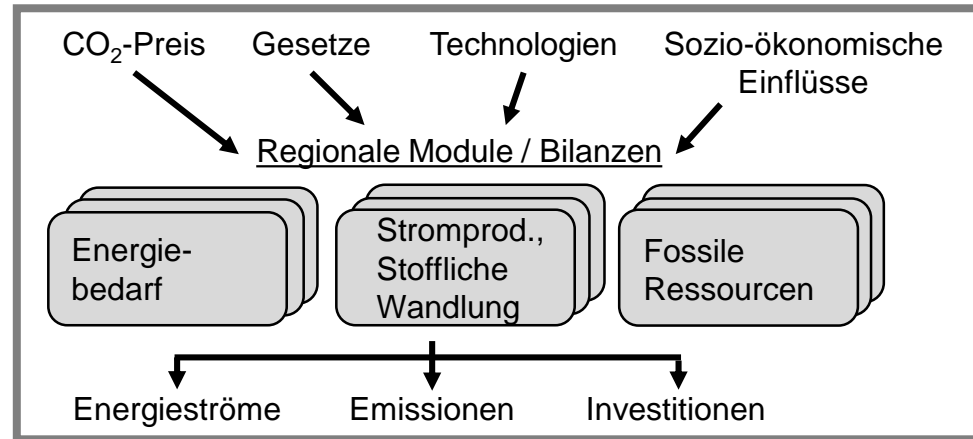
[8] AG Energiebilanzen e.V., „Energie in Zahlen: Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen,“ Prometheus, Berlin, 2012.

[9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Bundesbericht Energieforschung 2019: Forschungsförderung für die Energiewende,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 2019.

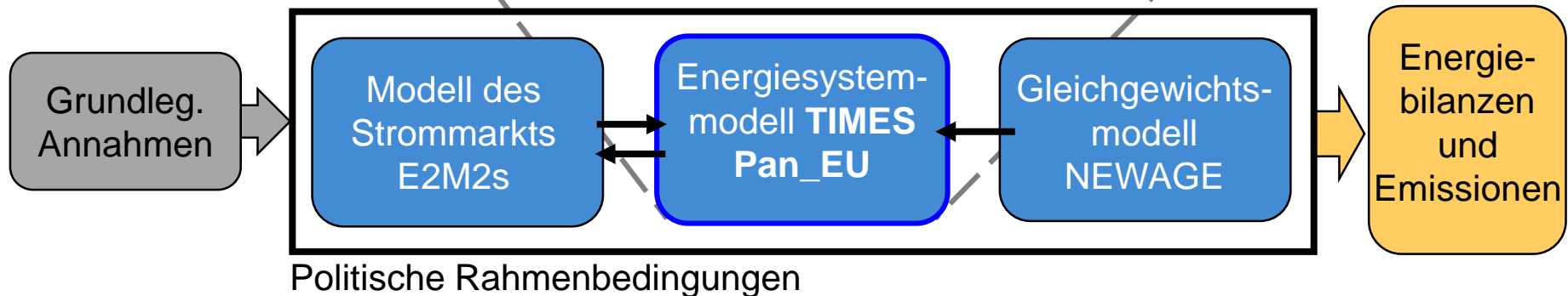
Datengrundlage

Modellierung der Energieprognosen

TIMES
Global Energy
Model (IEA)



Deutsches
Energiemodell

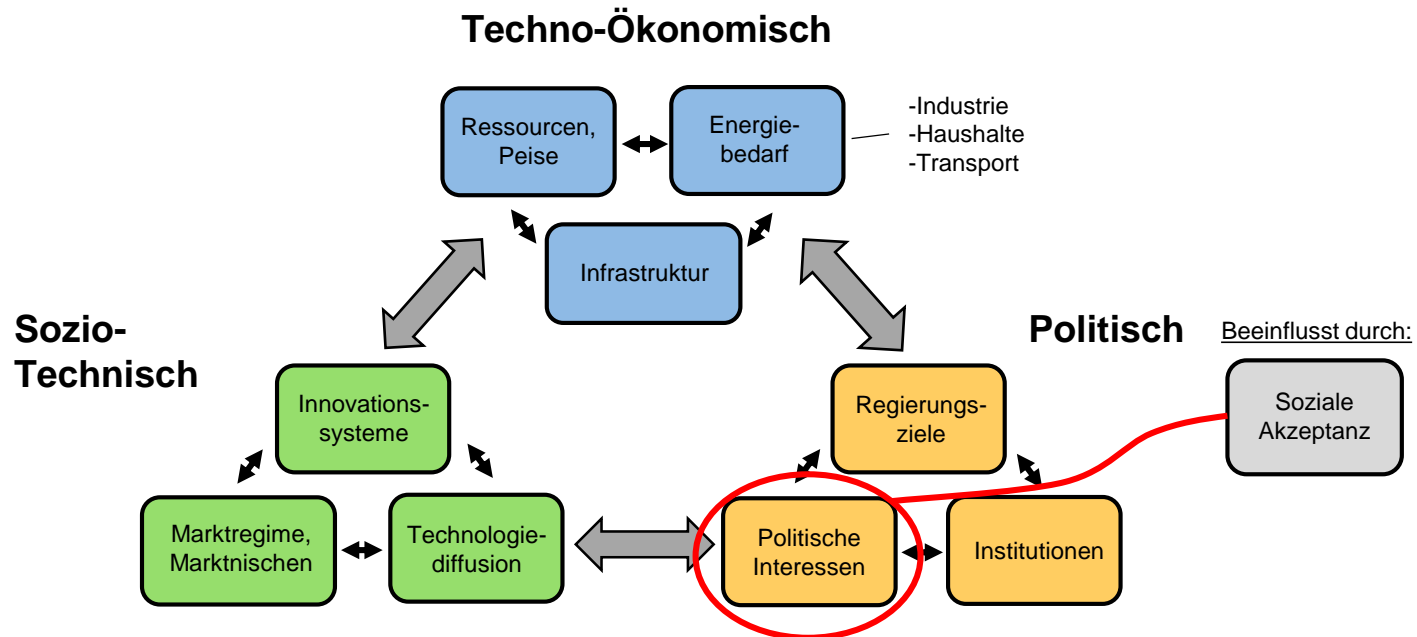


Erweiterungen:

- Zusätzliches Strommarktmodell zur Abbildung des europäischen Stromnetzes
- Separates Marktmodell zur Berechnung der Handelsbedingungen

Methodik

Metatheoretisches Systemmodell



Metatheoretisches Systemmodell des deutschen Stromerzeugungssystems nach Cherp et al. [10]

- **Ansatz:** Unterteilung des deutschen Stromerzeugungssystems in drei Teilbereiche
- Zuordnung der gesellschaftlichen, technologischen, wirtschaftlichen und politischen Einflussgrößen

[10] A. Cherp, V. Vinichenko, J. Jewell, E. Brutschin und B. Sovacool, „Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework,“ Energy Research & Social Science, Nr. 37, pp. 175-190, 2018.

Zweistufiges Analyseverfahren:

1. Statistische Analyse der quantifizierten Einflussfaktoren

- Ansatz nach *Darlington et al.* [11], *Budescu* [12]
- 1) Bestimmung der Pearson-Faktoren
- 2) Doppelter T-Test
- 3) Dominanzanalyse
- Ergebnis: Qualitatives Ranking statistisch signifikanter Einflussgrößen

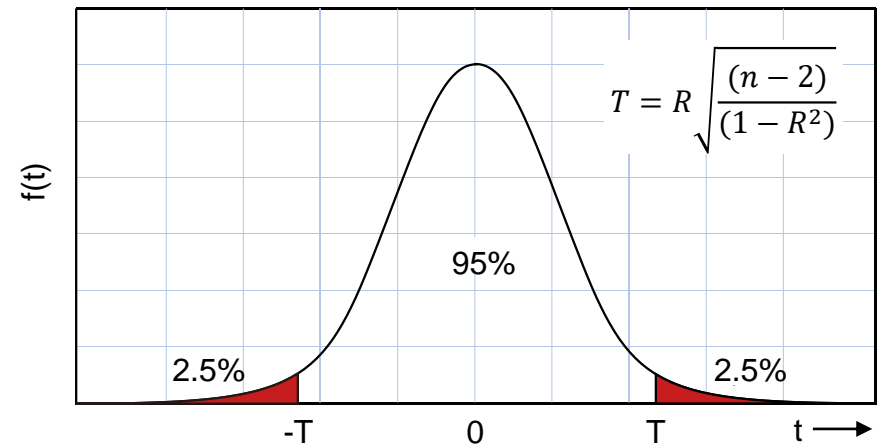
2. Theoretische Auswertung der nicht-quantifizierten Einflussfaktoren

- Berücksichtigung historischer Entwicklungen
- Betrachtung der Auswirkung von Einzelereignissen

Pearson-Faktor:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Doppelter T-Test:



Dominanzanalyse:

$$R_{y,x_i x_h}^2 \geq R_{y,x_j x_h}^2$$

[11] R. B. Darlington, *Regression analysis and linear models: Concepts, applications, and implementation*, Guilford Publications, 2016.

[12] D. V. Budescu, „Dominance analysis: a new approach to the problem of relative importance of predictors in multiple regression,“ *Psychological bulletin*, Bd. 3, Nr. 114, p. 542, 1993.

Ergebnisse

Nettostromerzeugung

1) Diskrepanz zwischen historischen und Prognosedaten

- Nachträgliche Korrektur der Basisdaten

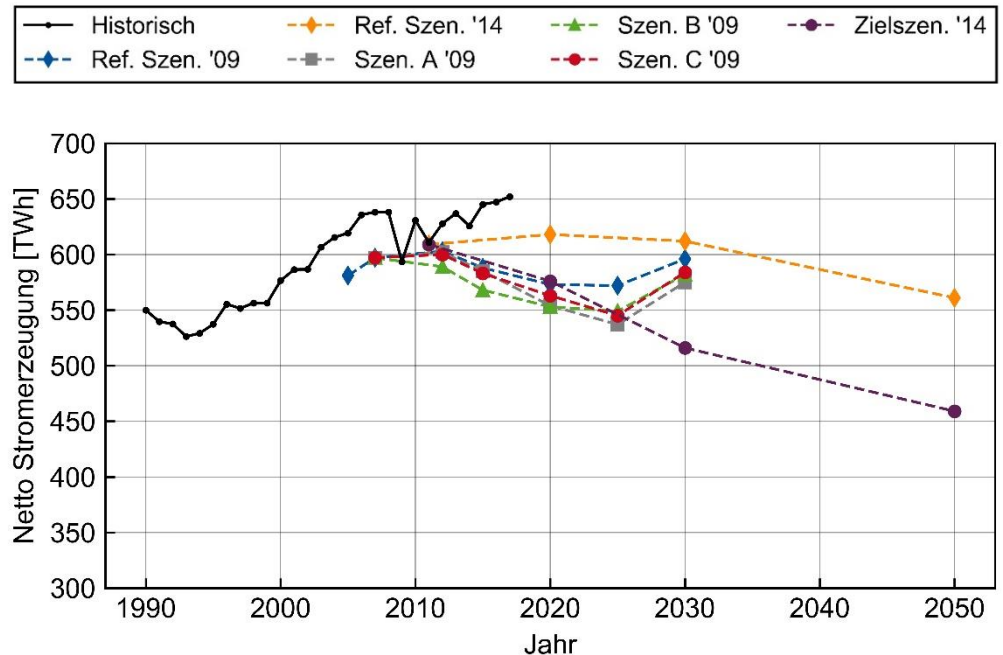
2) Historische Entwicklung übersteigt Prognosen

- Steigende Energieeffizienz überschätzt

3) Szenarien von 2009 zeigen Einfluss der Eurokrise

4) Starke Abhängigkeit der Nettostromerzeugung von volkswirtschaftlichen Einflussfaktoren

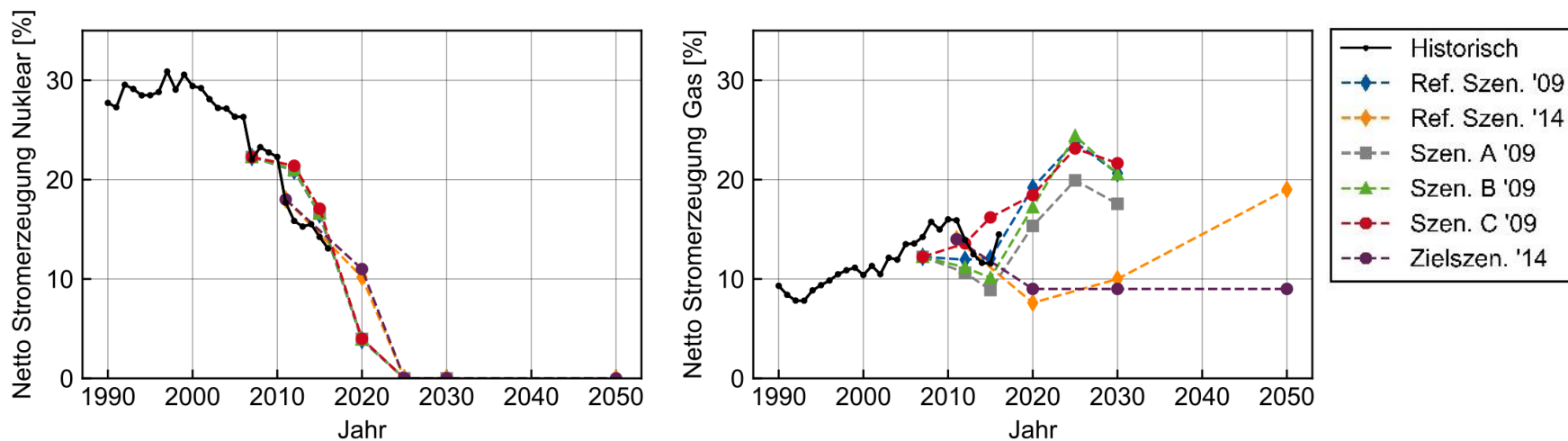
- **Zielszenario:** Deutlicher Rückgang notwendig zum Erreichen der Ziele des Pariser Klimaabkommens



Historische und prognostizierte Nettostromerzeugung in Deutschland

Ergebnisse

Stromerzeugung aus Kernenergie und Gas



Historische und prognostizierte Stromerzeugung aus Kernenergie und Gas in Deutschland

- 1) Rückgang der Kernenergie durch Novellen des Atomgesetzes gesteuert [13]
 - Abbildung der geltenden Gesetzgebung in Prognosen: Ausstieg im Jahr 2022
- 2) Prognosen zur Erdgasnutzung zeigen große Varianz
 - Hohe Abhängigkeit von Rohstoffpreisen und volkswirtschaftlichen Faktoren
 - Szenario C: Einsatz von Erdgas als Ergänzung zu Erneuerbaren Energieträgern
 - **Zielszenario:** Reduktion des Erdgasanteils zum Erreichen der Pariser Klimaziele notwendig

[13] Deutscher Bundestag, „Dreizehntes Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes,“ *Bundesgesetzblatt*, Bd. 1, Nr. 43, 2011.

Ergebnisse

Stromerzeugung aus Kohle

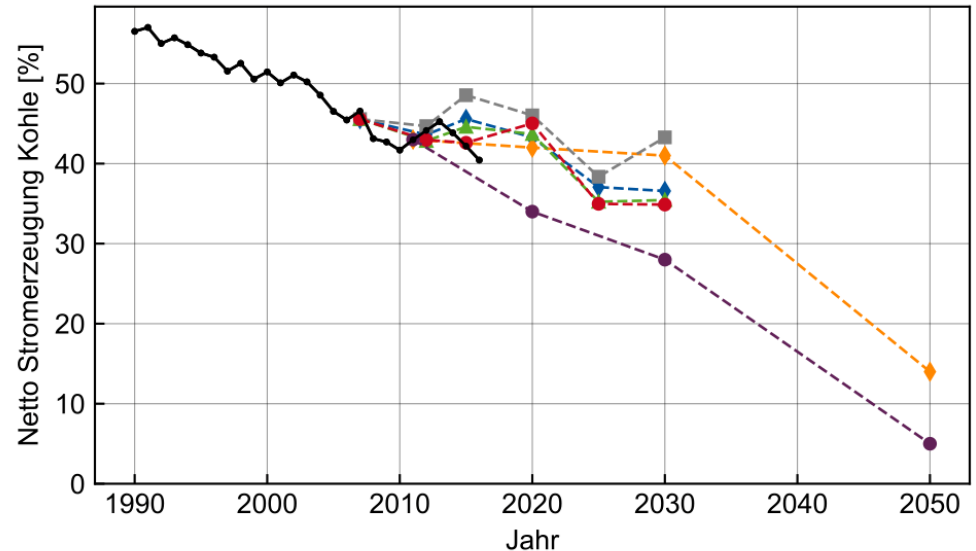
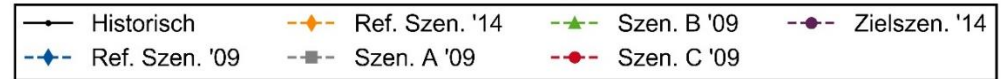
1) Historische Entwicklung

- Rückgang der Kohlenutzung seit 1990
- Zunahme durch Ausstieg aus Kernenergienutzung
- Keine signifikante Abhängigkeit von betrachteten volkswirtschaftlichen Faktoren

2) Prognoseszenarien zeigen breite Streuung

3) Politischer Beschluss des Kohleausstiegs bis 2038 [14]

- Gesetzlich vorgegebene Abschaltung von Kohlekraftwerken zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommens



Historische und prognostizierte Stromerzeugung aus Kohle in Deutschland

[14] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Regierungspressekonferenz vom 29. Januar 2020,“ 29.01.2020. [Online]. Available: www.bundesregierung.de/breg-de/suche/regierungspressekonferenz-vom-29-januar-2020-1716876. [Zugriff am 30.01.2020].

Ergebnisse

Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern

1) Wachsender Anteil an Strom aus Erneuerbaren Energieträgern

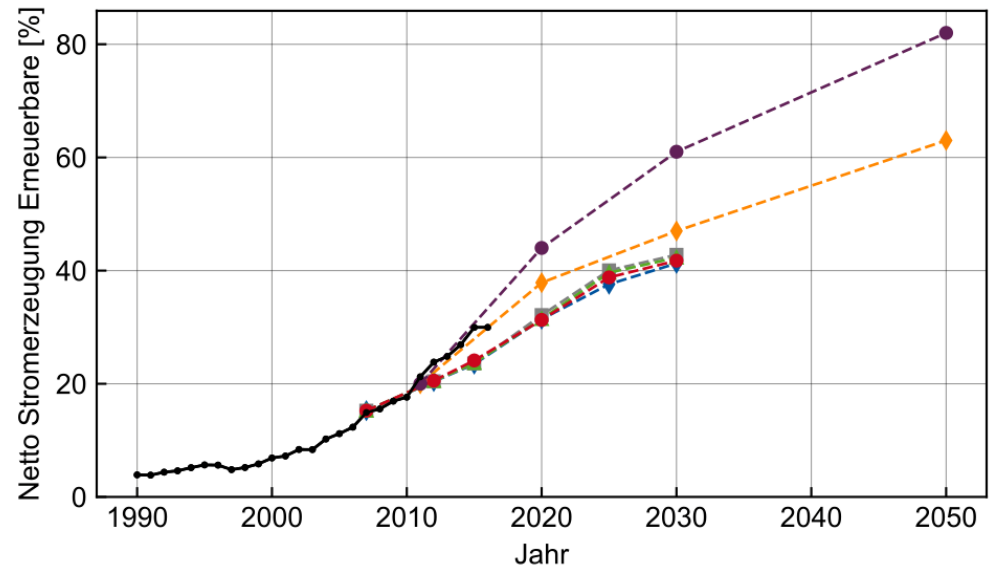
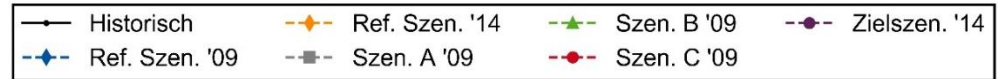
- Politisch implementierte Anreize im Rahmen des Erneuerbaren Energien-Gesetzes [15]
- Vorgabe von Ausbaukorridoren
- Einfluss auf Wirtschaftlichkeit durch Vergütungsmodelle

2) Einflussfaktoren:

- Stromerzeugung maßgeblich durch installierte Leistung bestimmt
- Volkswirtschaftliche Kenngrößen haben geringeren Einfluss

3) Zielszenario:

- Stärkerer Ausbau bis 2050 notwendig

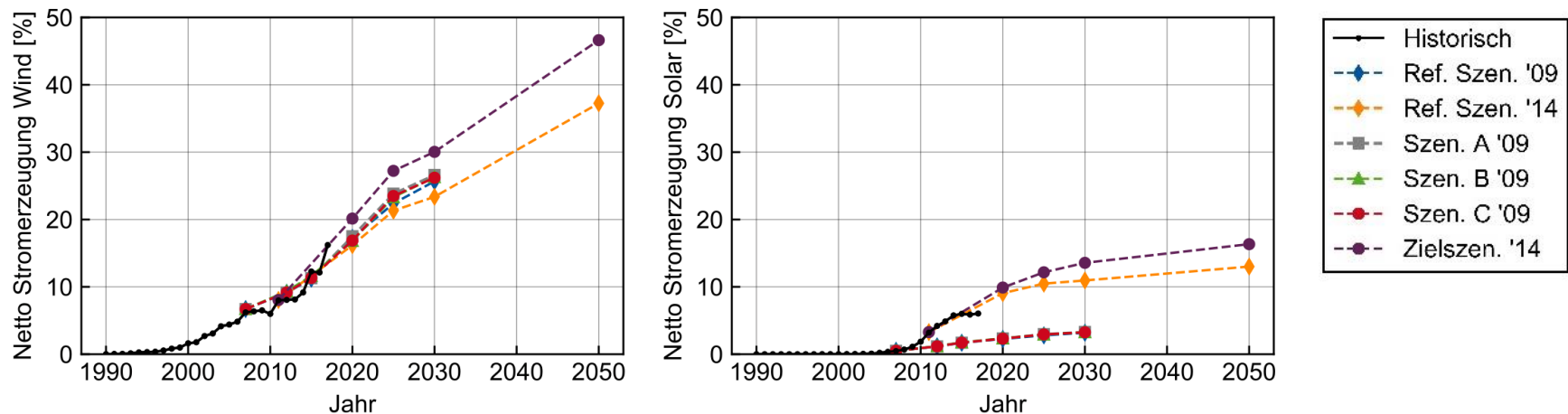


Historische und prognostizierte Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern in Deutschland

[15] Deutscher Bundestag, *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017)*, Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017.

Ergebnisse

Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie



Historische und prognostizierte Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie in Deutschland

1) Windenergie: Starke Korrelation mit installierter Leistung

- Peak 2014-2017: Zubau von 18,4 GW; Einbruch 2018-2019: Zubau von 3,5 GW [16]

2) Solarenergie: Korrelation mit wirtschaftlichen Faktoren

- Ausbau maßgeblich durch sinkende Stromgestehungskosten bedingt

3) Zielszenario: Steigerung des Ausbaus erforderlich

- Verzögerungen durch sinkende gesellschaftliche Akzeptanz und behördliche Vorgänge

[16] Statista GmbH, „Jährliche neu installierte Leistung von Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019,“ Januar 2020. [Online]. Available: www.de.statista.com/statistik/daten/studie/218904/umfrage/neu-installierte-windenergieleistung-in-deutschland. [Zugriff am 30.01.2020].

Einflüsse auf die Entwicklung des Stromerzeugung in Deutschland

1) Politik

- Förderung neuer Technologien durch gezielten Ausbau und Einspeisevergütungen
- Gesetzliche Regelung des Ausstiegs aus Kernkraft und Kohlenutzung

2) Soziale Akzeptanz

- Indirekter Einfluss auf politische Entscheidungen
- Auswirkungen auf Umsetzung einzelner Maßnahmen

3) Wirtschaft

- Nettostromerzeugung maßgeblich von Wirtschaftslage abhängig
- Stromerzeugung aus Gas zeigt größte Korrelation mit wirtschaftlichen Faktoren durch Importabhängigkeit

Ausblick: Zunahme an politischem Einfluss zu erwarten

- Höhere Prognosegenauigkeit der Kenngrößen, die direkt von politischen Maßnahmen betroffen sind
- Änderungen der politischen Ausrichtung sind schwer vorhersehbar
- Größere Unsicherheit der Langzeitprognosen und geringere Planungssicherheit der Akteure

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

Quellenverzeichnis

- [1] International Energy Agency, „WEO: World Energy Outlook 2018,“ Paris, 2018.
- [2] International Energy Agency, „WEO: World Energy Outlook 2018 – Zusammenfassung: German Translation,“ Paris, 2018.
- [3] U. Fahl, M. Blesl, A. Voß, P. Achten, D. Bruchof, B. Götz, M. Hundt, S. Kempe, T. Kober und R. Kuder, „Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030: Energieprognose 2009,“ ZEW Gutachten/ Forschungsberichte, 2010.
- [4] M. Schlesinger, D. Lindenberger und C. Lutz, „Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Projekt Nr. 57/12. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie,“ ewi/ gws/ prognos, Basel/ Köln/ Osnabrück, 2014.
- [5] Eurostat, „Energy datasheets: EU28 countries,“ 13.03.2019. [Online]. Available: www.data.europa.eu/euodp/en/data/datasetinformation-on-energy-markets-in-eu-countries-with-national-energy-profiles. [Zugriff am 18.05.2019].
- [6] BP p.l.c., „BP Statistical Review of World Energy,“ BP Statistical Review, London, 2018.
- [7] Statistisches Bundesamt, „Destatis - Statistisches Bundesamt,“ 2020. [Online]. Available: www.destatis.de. [Zugriff am 01.06.2019].
- [8] AG Energiebilanzen e.V., „Energie in Zahlen: Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen,“ Prometheus, Berlin, 2012.
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Bundesbericht Energieforschung 2019: Forschungsförderung für die Energiewende,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 2019.
- [10] A. Cherp, V. Vinichenko, J. Jewell, E. Brutschin und B. Sovacool, „Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework,“ Energy Research & Social Science, Nr. 37, pp. 175-190, 2018.
- [11] R. B. Darlington, Regression analysis and linear models: Concepts, applications, and implementation, Guilford Publications, 2016.
- [12] D. V. Budescu, „Dominance analysis: a new approach to the problem of relative importance of predictors in multiple regression,“ *Psychological bulletin*, Bd. 3, Nr. 114, p. 542, 1993.
- [13] Deutscher Bundestag, „Dreizehntes Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes,“ *Bundesgesetzblatt*, Bd. 1, Nr. 43, 2011.
- [14] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Regierungspressekonferenz vom 29. Januar 2020,“ 29.01.2020. [Online]. Available: www.bundesregierung.de/breg-de/suche/regierungspressekonferenz-vom-29-januar-2020-1716876. [Zugriff am 30.01.2020].
- [15] Deutscher Bundestag, *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017)*, Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017.
- [16] Statista GmbH, „Jährliche neu installierte Leistung von Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019,“ Januar 2020. [Online]. Available: www.de.statista.com/statistik/daten/studie/218904/umfrage/neu-installierte-windenergieleistung-in-deutschland. [Zugriff am 30.01.2020].