

**Eine Vollversorgung mit 100% Erneuerbaren  
Energien inklusive Speicher ist bereits heute  
wettbewerbsfähig und würde Energiekosten senken**

Eine Darstellung am Beispiel Deutschland

Thure Traber

Hans-Josef Fell

Sophie Marquitan

Berlin, Oktober 2021

## **Impressum**

Energy Watch Group (EWG)

Albrechtstr. 22

10117 Berlin

Tel.: +49 (30) 609 8988 10

[www.energywatchgroup.org](http://www.energywatchgroup.org)

# Eine Vollversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien inklusive Speicher ist bereits heute wettbewerbsfähig und würde Energiekosten senken

## Eine Darstellung am Beispiel Deutschland

Dr. Thure Traber, Hans-Josef Fell, Sophie Marquitan

### Zusammenfassung:

Seit einem Jahrzehnt weisen zahlreiche wissenschaftliche Studien darauf hin, dass die Kosten konventioneller Energien (Erdöl, Erdgas, Kohle & Atomstrom) wesentlich höher sind als die Erneuerbarer Energien, wenn die immensen Schadenskosten eingerechnet werden (Fraunhofer Institut ISE, 2021) (Reuster & Kuchler, 2013). Diese Erkenntnis hatte bis heute jedoch keinen politischen Richtungswechsel zur Folge, der eine Vollversorgung mit 100% Erneuerbare Energien bis 2030 herbeiführt. Als Hauptargument wird angebracht, dass die Stromerzeugungskosten aus konventionellen Energien geringer seien als die der erneuerbaren Energien. Die externen Schadenskosten werden dabei vielfach ignoriert, obwohl sie durch erneuerbare Energien weitgehend vermieden werden könnten.

Nun sind aber seit etwa 2017 auch die Stromerzeugungskosten für Solar- und Windkraft weit unter die Stromerzeugungskosten der konventionellen Kraftwerke wie Erdgas, Kohle oder Atom gesunken (Fraunhofer Institut ISE, 2021). Doch auch diese neue Entwicklung wird weitgehend mit dem Argument zurückgewiesen, dass die Gesamtsystemkosten, also z.B. unter Einschluss der für vollständige Versorgungssicherheit notwendigen Speicherkosten, weit über denen der konventionellen Stromerzeugung liegen.

Die jüngsten Entwicklungen des Preisverfalls der Erneuerbaren Energien und der Speichertechnologien in Verbindung mit den Preissteigerungen der konventionellen Stromerzeugung zeigen nun laut dieser Kurzanalyse ein anderes Bild: Seit 2021 ist die versorgungssichere Stromerzeugung aus 100% Erneuerbaren Energien selbst einschließlich der Speicherkosten günstiger als Strom aus neugebauten konventionellen Kraftwerken. Ab 2025 werden dann sogar bereits errichtete konventionelle Kraftwerke im Betrieb ökonomisch nicht mehr mit neuerrichteten Vollversorgungssystemen mit 100% Erneuerbarer Energie mithalten können. Diese Studie legt dar, dass selbst ohne die Berücksichtigung der Schadenskosten eine Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien in naher Zukunft für günstigere Strompreise sorgen würde.

Die Umstellung auf erneuerbare Energien bietet gerade jetzt in der Energiepreiskrise der fossilen und atomaren Energieerzeugung den entscheidenden Weg zu sozialverträglichen und die Wirtschaft entlastenden Energiekosten. Zahlreiche Studien weisen darauf hin, dass bereits heute die Elektromobilität Kostenvorteile gegenüber mit Benzin und Diesel betriebenen Individualverkehr aufweist (ADAC, 2021) (BMU, 2021), und auch das Heizen mit Ökostrom wesentlich günstiger als mit Erdöl oder Erdgas ist (BDEW, 2021). Da die Ökostromkosten nach der Kurzstudie der EWG in den nächsten Jahren noch weiter fallen werden, ist die Umstellung aller Energiebereiche auf 100% Erneuerbare Energien der alles entscheidende Ausweg aus der aktuellen und kommenden Energiepreissteigerungen. Verbraucher\*innen sowie Produktionsbetriebe können ihre Energiekosten durch eine vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien verringern. Die dafür notwendigen Investitionen rechnen sich je nach

Objekt innerhalb weniger Jahre über die Eigenerzeugung von Ökostrom statt des Einkaufs immer teurer werdender Energie aus Erdöl, Erdgas, Kohle oder Atomkraft.

Diese Studie zeigt, dass es keine Ausreden mehr gibt: Klimaschutz mit 100% Erneuerbaren Energien rechnet sich gegenüber den klimazerstörenden konventionellen Energien selbst dann, wenn die externen Schadenskosten außer Acht gelassen werden und eine ganzjährige versorgungssichere Stromversorgung angestrebt wird.

## **Die Ergebnisse im Einzelnen:**

Die Kosten für eine vollständige Systemtransformation sind bis 2020 stark gefallen – und werden noch weiter sinken. Dies geht aus Berechnungen mit dem Energiesystem-Modell der Energy Watch Group hervor, die zeigen, wie sich die Kosten eines neuen, zu 100% erneuerbaren und zuverlässigen Energiesystems für die Versorgung aller Sektoren über das letzte Jahrzehnt entwickelt haben und sich bei einem raschen Ausbau Erneuerbarer Energien und Speicher für die kommenden Jahre abzeichnen.

Dagegen sind die Kosten der konventionellen Stromerzeugung weiter gestiegen. Kostentreiber sind die steigenden Erdgas- und Steinkohlepreise sowie die Preise für Emissionsrecht (Federal Reserve Bank of St Louis, 2021) (index mundi, 2021) (icap carbon action, 2021). Dies wird auch an der Strombörse sichtbar, deren Preisnotierungen vor allem durch die Kosten der konventionellen Stromerzeugung bestimmt werden und im September 2021 auf das höchste Niveau seit der Europäischen Liberalisierung der Energiemärkte Ende der 90er Jahre gestiegen sind (Statista, 2021). Gleichzeitig erhöht sich ständig die Dringlichkeit der Umstellung des Energiesystems auf Klimaverträglichkeit, während die Emissionsreduktion durch Erneuerbare Energien wie Wind und Sonne stetig günstiger wird.

Entscheidend ist, dass sogar die Kosten von ganzjährig-verlässlichen Energiesystemen auf Grundlage Erneuerbarer Energien in den letzten zehn Jahren stark gefallen sind. Diese durch Sektorenkopplung integrierten Systeme mit erneuerbarer Vollversorgung liefern auch in Wochen der Dunkelflaute, also zu jeder Stunde des Jahres, Energie aus Erneuerbaren Energien für alle Energiesektoren – Wärme und Strom für Industrie, Haushalte, Gewerbe und Mobilität. Im Ergebnis werden die Systemkosten der Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien bereits 2025 unter den Gestehungskosten von Steinkohle- und Atomkraftwerken bei aktuellen Inputkosten liegen. Diese Kosten sind von einem damals nicht wettbewerbsfähig hohen Niveau im Jahr 2010 unter die Kosten nicht nachhaltiger Energieoptionen gesunken. Dies gilt sogar, wenn die Umwelt in der Kostenrechnung teilweise nicht berücksichtigt wird.

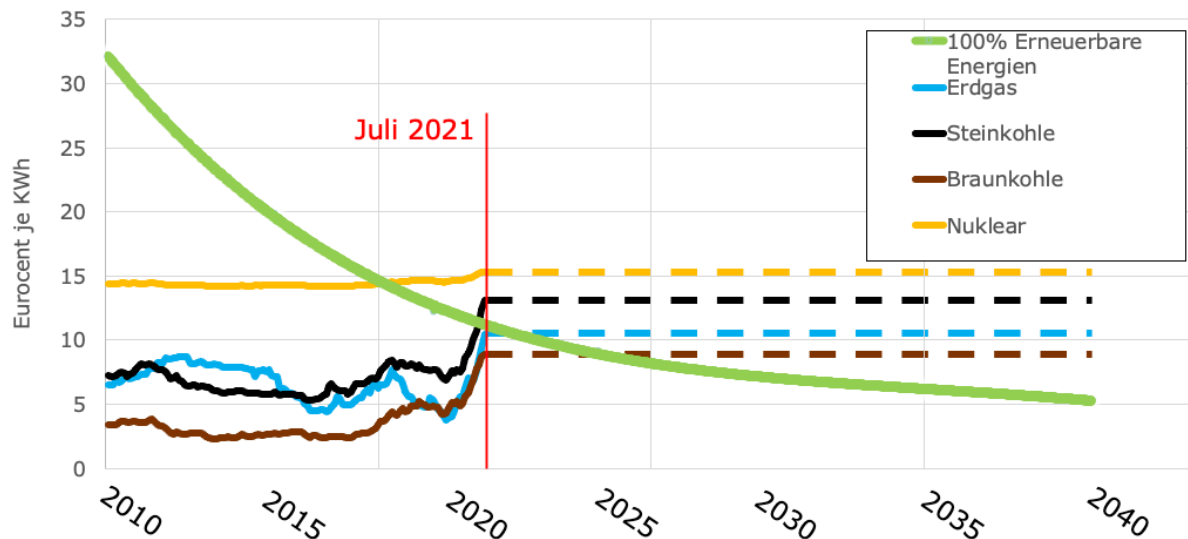


Abbildung 1: Durchschnittliche Energiekosten für ein vollständig auf erneuerbaren Energien basiertes System in Deutschland und aktuelle Stromgestehungskosten konventioneller Stromerzeugungstechnologien. Optimierung des Systems aus erneuerbaren Energien auf der Datengrundlage des in der Deutschlandstudie vorgestellten EWG Szenarios 2 und Lernkurven in Anlehnung an (Ram, et al., 2019). Die Daten für die Entwicklung der Erdgas- und Kohlepreise basieren auf Daten der (Federal Reserve Bank of St Louis, 2021) (index mundi, 2021) und wurden an Kontinentaleuropa angepasst. Preise für Emissionsrechte im europäischen Emissionshandel finden sich bei (icap carbon action, 2021). Die Atomenergie wird hier mit einem Aufschlag von 3,5 Eurocent je kWh zur Absicherung von atomaren Risiken angesetzt (Günther, Karau, Kastner, & Warmuth, 2011). Die dargestellten gleichbleibenden Kosten für die konventionelle Energieversorgung nach 2021 stellen keine Energieprognose dar, sondern sollen lediglich deren absehbare Unwirtschaftlichkeit visualisieren.

In Abbildung 1 zeigt sich, dass die Kosten eines optimalen Vollversorgungsmix aus 18 Erzeugungs- und Umwandlungstechnologien und Speichern<sup>1</sup> bei gegebenen Kosten und Potenzialen einen zunächst schnell und in Zukunft entscheidend noch weiter sinkenden Verlauf haben, der die konventionellen Energieträger schon in Kürze in die völlige Konkurrenzunfähigkeit treibt.

Im Jahr 2010 hatte ein durchschnittliches emissionsfreies Investitionsprojekt für die Vollversorgung (24x7 Stunden die Woche & 52 Wochen im Jahr) für Strom, Wärme und Verkehr noch 32 Eurocent pro kWh gekostet, während es im Jahr 2020 nur noch 12 Eurocent waren und die Kosten bereits im Jahr 2025 bei durchschnittlich 9 Eurocent liegen werden. Die ebenfalls abgebildeten privaten Stromerzeugungskosten mit den fossilen Energieträgern Erdgas, Steinkohle und Braunkohle sind demgegenüber im letzten Jahrzehnt stark gestiegen, während die Atomkraft schon seit mehreren Jahren wettbewerbsunfähig ist, auch wenn die ungeklärten Kosten der Endlagerung des radioaktiven Mülls weiterhin auf die Gemeinschaft abgewälzt werden.

Ein weiteres Ergebnis der Berechnungen ist, dass sogar abgeschriebene konventionelle Anlagen schon in Kürze im täglichen operativen Geschäft fast nur noch Verluste einfahren werden (Abbildung 2). Spätestens um das Jahr 2028 lassen sich konventionelle Energien bei Wettbewerb auch nach Abschreibung der Investitionen nicht mehr kostendeckend betreiben. Und nur die staatliche Übernahme der Kernenergie Risiken mit milliarden schweren Belastungen der

<sup>1</sup> Es werden Aufdach- und Freiflächenanlagen Photovoltaik, On- und Offshore Wind, kleine und große Bioenergiekraftwerke, Batteriespeicher und Batteriespeicherschnittstellen, Wärmepumpen, Wärmespeicher, Wasserstoffspeicher, Wasserstoffelektrolyseure, Brennstoffzellen und thermische Wasserstoffverstromung (GuD), Geothermie und Heizstäbe. Hinzu kommt die hier als nicht ausbaufähig angenommenen Laufwasser und Pumpspeicherkraftwerke.

Staatshaushalte kann die Situation für diese Technologie noch bis etwa 2040 aufschieben. Das bedeutet, spätestens ab 2028 werden nicht nur alle konventionellen Neubauanlagen, sondern auch konventionelle Bestandsanlagen durch die niedrigen Kosten der Erneuerbaren Vollversorgung wirtschaftlich überholt sein. Da die Preise mittel- und langfristig bei funktionierendem Wettbewerb nicht über den Kosten der günstigsten – also erneuerbaren – Energiequellen liegen können, lohnt sich schon heute absehbar der Betrieb konventioneller Anlagen am Markt nicht mehr. Die Subventionen für konventionelle Anlagen und die regulatorischen Hindernisse für Erneuerbare Energien können die Transformation also lediglich aufschieben, aber nicht dauerhaft verhindern.

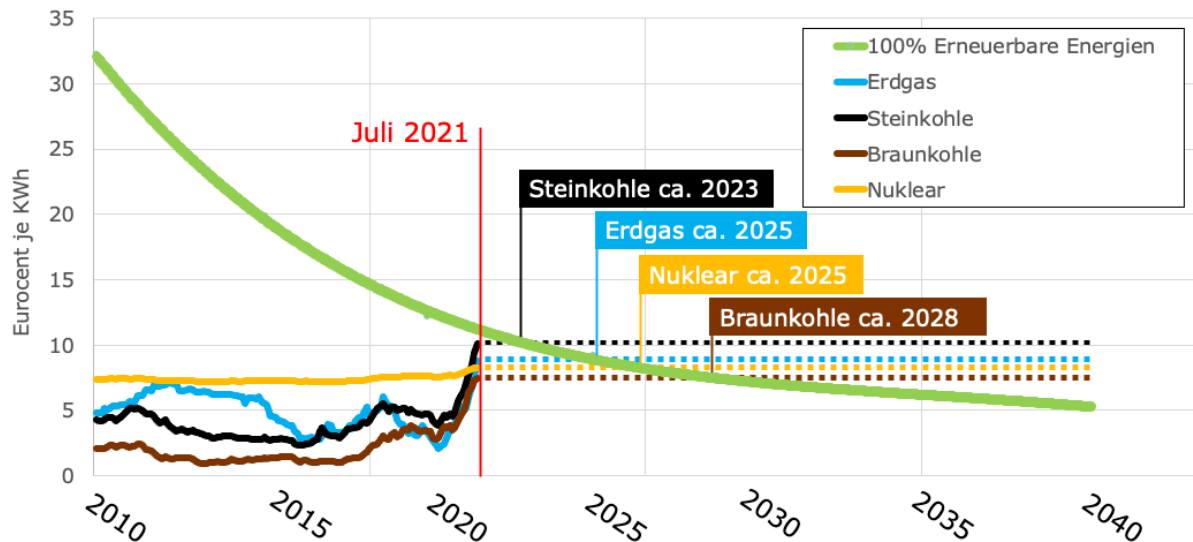


Abbildung 2: Operative Kosten konventioneller Anlagen gegenüber Vollkosten erneuerbarer Energiesysteme. Diese Kosten sind von einem nicht wettbewerbsfähig hohen Niveau im Jahr 2010 unter die Kosten nicht nachhaltiger Energieoptionen gesunken und dies gilt sogar, wenn die Umwelt in der Kostenrechnung nicht vollständig berücksichtigt wird.

Diese Revolution der energieökonomischen Grundlagen wird in der Gesellschaft erst sehr langsam wahrgenommen. Meist wird nur auf die dramatische Kostensenkung von Wind- und Solarstromerzeugung verwiesen. Dieser Befund wird dann aber durch die Frage nach der winterlichen Versorgung nachts und bei Windstille in der öffentlichen Diskussion regelmäßig scheinbar entkräftet. Durch die Klärung niedriger Vollversorgungskosten für 100% EE-Systeme mit ihren inzwischen vergleichbar günstigen Systemkosten für Speicher, die kaum mehr als 20% der Vollversorgungskosten ausmachen, zeigt sich also, dass das Argument der Dunkelflaute heutzutage zumindest technisch-ökonomisch nur noch zweitrangig ist.

Der Umfang der Transformation zu den Erneuerbaren muss als Grundlage für Klimaschutz dem Tempo vergangener technischer Revolutionen entsprechen und darf nicht durch eine langwierige Zieldiskussion (z.B. Klimaneutralität bis 2045) aufgehalten werden. Entscheidend für die Dynamik bei einer solchen Transformation ist der Punkt, an dem die Auslastung des alten Kapitalstocks immer rascher zurückgeht. Die alte Infrastruktur trifft dann die Fixkostenprogression: Je geringer die Nachfrage nach diesen Infrastrukturen ist, desto höher werden ihre Stückkosten und damit steigt der kostendeckende Preis. Dieser führt wiederum zu einer beschleunigt sinkenden Nachfrage und so weiter. Will man die Deutsche Braunkohleindustrie wegen der Arbeitsplätze in strukturschwachen Gebieten weiter in Betrieb halten, müssten wachsende zusätzliche

Subventionen gezahlt werden. Ähnlich gilt dies für die Nutzung von Erdgas, die durch staatlich geförderte Infrastrukturen bereits längst einen dauerhaften und steigenden staatlichen Subventionsbedarf ausgelöst hat.

Wird dagegen der durch sinkende Infrastrukturnutzung bedingte und mit dieser Untersuchung vorgelegte Kipppunkt in der Wirtschaftlichkeit durch sehr ambitionierte und klare Ausbauszenarien insbesondere auf regionaler Ebene begünstigt, ist der Weg frei für eine emissionsfreie, kostengünstige und klimaschützende Energieversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien bis 2030, was auch eine Zunahme der Beschäftigung erwarten lässt.

## Literaturverzeichnis

- ADAC. (2021). *Kostenvergleich e-Fahrzeuge + Plug-in Hybride gegen Benziner und Diesel*. Von [https://assets.adac.de/image/upload/v1617875633/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/E-AutosVergleich\\_zh4t1e.pdf](https://assets.adac.de/image/upload/v1617875633/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/E-AutosVergleich_zh4t1e.pdf) abgerufen
- BDEW. (2021). *Heizkostenvergleich Alt- und Neubau 2021*. Von <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/bdew-veroeffentlicht-heizkostenvergleich-alt-und-neubau-2021/> abgerufen
- BMU. (2021). *Effizienz und Kosten: Lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos?* Abgerufen am 10. 10. 2021 von <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten>
- Federal Reserve Bank of St Louis. (20. 10. 2021). *Global Price of Natural Gas, EU*. Von <https://fred.stlouisfed.org/series/PNGASEUUSDM> abgerufen
- Fraunhofer Institut ISE. (2021). *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien*. Von [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021\\_ISE\\_Studie\\_Stromgestehungskosten\\_Erneuerbare\\_Energien.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf) abgerufen
- Günther, B., Karau, T., Kastner, E.-M., & Warmuth, W. (2011). *Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren*. Von [https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/110511\\_BEE-Studie\\_Versicherungsforen\\_KKW.pdf](https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/110511_BEE-Studie_Versicherungsforen_KKW.pdf) abgerufen
- icap carbon action. (2021). *Allowance Price Explorer*. Von <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> abgerufen
- index mundi. (2021). *Coal, Australian thermal coal Monthly Price - US Dollars per Metric Ton*. Von <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=coal-australian&months=120> abgerufen
- Ram, M., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Oyewo, S. A., Child, M., & Caldera, U. (2019). *Global Energy System Based on 100% Renewable Energy*. Von <http://energywatchgroup.org/new-study-global-energy-system-based-100-renewable-energy> abgerufen
- Reuster, L., & Küchler, S. (2013). *Was die Energiewende wirklich kostet*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FOÖS). Abgerufen am 2021 von <https://foes.de/publikationen/2013/2013-09-FOES-Studie-Was-die-Energiewende-wirklich-kostet.pdf>
- Statista. (2021). *Börsenstrompreis am EPEX-Spotmarkt für Deutschland/Luxemburg von August 2020 bis August 2021*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/289437/umfrage/strompreis-am-epex-spotmarkt/> abgerufen
- Traber, T., Hegner, F., & Fell, H.-J. (2021). *An Economically Viable 100% Renewable Energy System for All Energy Sectors of Germany in 2030*. Von <https://doi.org/10.3390/en14175230> abgerufen



## Appendix

€-cent je kWh	100% Erneuerbare Energien
2010	32,0
2015	19,9
2020	12,2
2025	9,1
2030	7,2
2035	6,1
2040	5,3

Tabelle 1: Stromgestehungskosten der Vollversorgung aller Energiesektoren mit erneuerbaren Energien, Quelle: Eigene Berechnungen mit dem linearen Energiesystemmodell der Energy Watch Group.

Capex	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
PV							
Freiflächenanlagen €/kW	2100	950	431	333	275	235	204
PV-Dachanlagen €/kW	2700	1360	907	737	623	542	484
Wind onshore €/kW	1400	1250	1150	1060	1000	965	940
Wind offshore €/kW	3700	3220	2880	2700	2580	2460	2380
HKW €/kW	799	725	651	577	503	429	355
BHKW Biogas €/kW	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2500
Batterie €/kWh	700	400	251	163	117	94	80
Batterie Schnittstelle €/kW	300	200	135	91	67	54	46
Wärmepumpe €/kW	868	850	810	768	740	718	704
Wärmespeicher €/kWh	60	50	40	30	30	25	20
H2-Elektrolyseur €/kW	915	800	685	500	363	325	296
H2-GuD €/kW	5000	3000	2000	975	950	925	900
Geothermie €/kW	6228	5637	5045	4470	3850	3244	2700
Brennstoffzelle €/kW	7754	6500	5280	4060	2806	2200	1835

Tabelle 2: Kostenentwicklung von Investitionen in entscheidende Anlagen für die Vollversorgung mit erneuerbaren Energien in Anlehnung an (Ram, et al., 2019). Hier nicht genannte Technologien wie in (Traber, Hegner, & Fell, 2021).

Opex jährlich fix	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
PV							
Freiflächenanlagen €/((kWel*a)	9	8	8	7	6	5	4
PV-Dachanlagen €/((kWel*a)	9	8	8	7	6	5	4
Wind onshore €/((kWel*a)	24	23	23	21	20	19	19
Wind offshore €/((kWel*a)	135	113	92	84	77	71	67
HKW €/((kWel*a)	19	18	17	16	15	14	13
BHKW Biogas €/((kWel*a)	19	18	17	16	15	14	13
Batterie €/((kWel*a)	3	3	3	3	2	2	2
Batterie Schnittstelle €/((kWel*a)	2	2	2	1	1	1	1
Wärmepumpe €/((kWel*a)	17	16	16	15	7	7	7
Wärmespeicher €/((kWel*a)	1	1	1	0	0	0	0
H2-Elektrolyseur €/((kWel*a)	30	27	24	18	13	11	10
H2-GuD €/((kWel*a)	19	19	19	19	19	19	19
Geothermie €/((kWel*a)	0	0	0	0	0	0	0
Brennstoffzelle €/((kWel*a)	3	3	3	3	2	2	2

Tabelle 3: Entwicklung der jährlich fixen operativen Kosten entscheidende Anlagen für die Vollversorgung mit erneuerbaren Energien. Variable Opex wie in (Traber, Hegner, & Fell, 2021).

		Erdgas	Steinkohle	Braunkohle	Atomkraft
Kapitalausgaben	€ pro kW	775	1500	1500	8000
Wirkungsgrad	-	60%	41%	40%	30%
Volllaststunden 2018	h	2837	3081	6725	6570
Lebensdauer	a	35	35	35	35
Zinssatz	real jährlich	5%	5%	5%	7%
Brennstoffpreise	€-cent je kWh_therm	3,7	1,5	0,1	1,0
Emissionskosten*	€-cent je kWh	2,0	5,8	6,9	1,2
Brennstoffkosten		6,2	3,7	0,3	3,3
Fixe operative Kosten		0,7	0,6	0,3	0,3
Fixkosten	€-cent je kWh	1,7	3,0	1,4	9,3
Haftungsprämie					3,5
Operative Kosten gesamt	€-cent je kWh	8,8	10,1	7,5	4,8
Stromerzeugungskosten gesamt	€-cent je kWh	10,5	13,1	8,9	17,6

Tabelle 4: Kostenberechnung fossile und atomare Stromerzeugung Juli 2021. \*Bei Preisen für Emissionsrechte von 58 Euro je Tonne CO2.