



# **KOSTEN DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN 2022**

**KURZFASSUNG**

## © IRENA 2023

Sofern nichts anderes angegeben ist, darf das Material in dieser Publikation frei verwendet, weitergegeben, kopiert, vervielfältigt, gedruckt und/oder gespeichert werden, vorausgesetzt, IRENA wird als Quelle und Inhaber des Urheberrechts entsprechend anerkannt. In dieser Publikation enthaltenes Material von Dritten kann gesonderten Nutzungsbedingungen und Beschränkungen unterliegen. Vor jedweder Nutzung solchen Materials kann es notwendig sein, von diesen Dritten entsprechende Genehmigungen einzuholen.

**Quellenangabe:** IRENA (2023), *Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2022 -Kurzfassung*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Der vorliegende Bericht ist die Übersetzung von „Renewable Power Generation Costs in 2022“ ISBN: 978-92-9260-544-5 (2023). Im Falle von Abweichungen zwischen dieser Übersetzung und der englischen Originalfassung ist der englische Text maßgebend.

## Über IRENA

Die Internationale Organisation für Erneuerbare Energien (IRENA) ist eine zwischenstaatliche Organisation, die Länder dabei unterstützt, den Übergang zu einer nachhaltigen Nutzung der Energieressourcen zu meistern. Sie ist Hauptansprechpartner für internationale Zusammenarbeit und gibt als Kompetenzzentrum im Bereich der erneuerbaren Energien ihr Wissen über Politik, Technologie, Ressourcen und Finanzen weiter. IRENA fördert die umfangreiche Übernahme und nachhaltige Nutzung aller Formen erneuerbarer Energien, z. B. Bioenergie, Geothermie, Wasserkraft, Meeres-, Solar- und Windenergie, im Bemühen um nachhaltige Entwicklung, Zugang zu Energie, Energiesicherheit und emissionsarmes Wirtschaftswachstum und Wohlstand. [www.irena.org](http://www.irena.org)

## Danksagungen

Der vorliegende Bericht wurde unter der Leitung von Roland Roesch (Direktor, IRENA Innovation and Technology Center) und Michael Taylor (IRENA) erstellt.

Der Bericht wurde von Michael Taylor, Sonia Al-Zoghoul und Pablo Ralon (IRENA) mit Unterstützung durch Olga Sorokina (European Energy Link Group) verfasst.

Die Verfasser danken Erick Ruiz Araya, Francis De Jaeger, Juan Pablo Jimenez Navarro, Binu Parthan und Ludovico Del Vecchio (IRENA) für die wertvollen Beiträge zur Erstellung dieser Studie.

Der vorliegende Bericht wurde von zahlreichen Fachleuten geprüft und kommentiert, darunter Ana Andrade (Direção Geral de Energia e Geologia [DGEG]), Alex Campbell und Rebecca Ellis (IHA), Manuel Quero (Sunntics), Alexander Hogeveen Rutter (ISA), Christoph Walter (DEA), Yuetao Xi (CREEI) und Feng Zhao (GWEC). Alle Meinungen und Fehler liegen im Verantwortungsbereich der Verfasser.

Francis Field, Stephanie Clarke, Nicole Bockstaller und Daria Gazzola leisteten Unterstützung in den Bereichen Veröffentlichung, Redaktion und Kommunikation.

Der Bericht wurde von Jonathan Gorvett und Stefanie Durbin lektoriert und von Paul Komor technisch überprüft. Für das Grafikdesign zeichnet Ignacio de la Concepción Sanz verantwortlich.


Weitere Informationen und Feedback: [publications@irena.org](mailto:publications@irena.org)

Dieser Bericht ist als Download verfügbar unter: [www.irena.org/publications](http://www.irena.org/publications)

## Haftungsausschluss

Diese Veröffentlichung und das hierin enthaltene Material werden wie besehen bereitgestellt. Von IRENA wurden alle angemessenen Vorsichtsmaßnahmen ergriffen, um die Zuverlässigkeit des in dieser Publikation behandelten Materials zu prüfen. Weder IRENA noch ihre Mitarbeitenden, Beauftragten, Daten- oder sonstigen Inhaltenbietenden übernehmen jedoch irgendeine ausdrückliche oder implizite Gewähr bzw. Verantwortung oder Haftung für etwaige Folgen, die sich ggf. aus der Verwendung der Publikation bzw. des darin enthaltenen Materials ergeben.

Die hier enthaltenen Informationen entsprechen nicht notwendigerweise den Ansichten aller Mitglieder von IRENA. Die Erwähnung spezifischer Unternehmen, Projekte oder Produkte impliziert nicht deren Unterstützung bzw. Empfehlung durch IRENA gegenüber anderen ähnlicher Art, die nicht erwähnt werden. Die hierin verwendeten Bezeichnungen und die Darstellung des Materials implizieren nicht den Ausdruck einer Meinung seitens IRENA bezüglich des rechtlichen Status einer Region, eines Landes, eines Gebiets, eines Orts oder einer Gegend oder deren/dessen Behörden oder bezüglich der Festlegung von Grenzen.



*Die steigende Wettbewerbsfähigkeit  
der erneuerbaren Energien ist  
weiterhin der überzeugendste Weg  
zur Dekarbonisierung des globalen  
Energiesystems*



# ECKDATEN

Im Jahr 2022 sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von neu in Betrieb genommenen Photovoltaik-Großanlagen (PV), Onshore-Windenergieanlagen, Solarthermiekraftwerke (CSP), Bioenergie und Geothermie trotz steigender Material- und Ausrüstungskosten.

Die treibende Kraft für den weltweiten Kostenrückgang bei Photovoltaik- und Onshore-Windenergieanlagen war China, während die Ergebnisse in anderen Märkten sehr viel heterogener ausfielen und die Kosten in vielen wichtigen Märkten stiegen.

Für neu in Betrieb genommene Onshore-Windenergieanlagen sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten (LCOE, en: levelised cost of electricity) zwischen 2021 und 2022 um 5 % von 0,035 USD/kWh auf 0,033 USD/kWh. Für PV-Großanlagen sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr um 3 % auf 0,049 USD/kWh. Bei der Offshore-Windenergie stiegen die Stromgestehungskosten neuer Anlagen im Vergleich zu 2021 um 2 % von 0,079 USD/kWh auf 0,081 USD/kWh im Jahr 2022.

Die Preiskrise für fossile Brennstoffe im Jahr 2022 führte die enormen wirtschaftlichen Vorteile erneuerbarer Energiequellen im Hinblick auf die Energiesicherheit deutlich vor Augen. Im Jahr 2022 wurden durch die seit 2000 weltweit erschlossenen erneuerbaren Energiequellen schätzungsweise 521 Mrd. USD an Brennstoffkosten im Stromsektor eingespart.

Dank der steigenden Preise für fossile Brennstoffe war Strom aus erneuerbaren Energiequellen im Zeitraum 2021-2022 so wettbewerbsfähig wie nie zuvor in den letzten zwei Jahrzehnten. Betrachtet man die Entwicklung seit 2010, ist Folgendes festzustellen:

- Im Jahr 2010 lagen die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von Onshore-Windenergieanlagen weltweit um 95 % über den niedrigsten Kosten von fossil befeuerten Anlagen. Im Jahr 2022 lagen die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für neue Onshore-Windenergieanlagen weltweit um 52 % unter denen der günstigsten fossil befeuerten Lösungen.
- Diese Zahl wurde von Photovoltaikanlagen sogar noch übertroffen. Diese erneuerbare Energiequelle war 2010 um 710 % teurer als die günstigste mit fossilen Brennstoffen befeuerte Lösung. Dank eines bemerkenswerten Kostenrückgangs lagen die Preise jedoch im Jahr 2022 um 29 % unter der günstigsten fossil befeuerten Lösung.

**Tabelle H.1** Trends bei Gesamtanschaffungskosten, Kapazitätsfaktor und Stromgestehungskosten nach Technologie, 2010 und 2022

	Gesamtanschaffungskosten			Kapazitätsfaktor			Stromgestehungskosten		
	(2022 USD/kW)			(% )			(2022 USD/kWh)		
	2010	2022	Prozentuale Änderung	2010	2022	Prozentuale Änderung	2010	2022	Prozentuale Änderung
Bioenergie	2 904	2 162	-26 %	72	72	1 %	0,082	0,061	-25 %
Geothermie	2 904	3 478	20 %	87	85	-2 %	0,053	0,056	6 %
Wasserkraft	1 407	2 881	105 %	44	46	4 %	0,042	0,061	47 %
Photovoltaik	5 124	876	-83 %	14	17	23 %	0,445	0,049	-89 %
CSP (Solarthermiekraftwerke)	10 082	4 274	-58 %	30	36	19 %	0,380	0,118	-69 %
Onshore-Windenergie	2 179	1 274	-42 %	27	37	35 %	0,107	0,033	-69 %
Offshore-Windenergie	5 217	3 461	-34 %	38	42	10 %	0,197	0,081	-59 %

# KURZFASSUNG

## **DIE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT VON STROM AUS ERNEUERBAREN ENERGIEQUELLEN STIEG TROTZ DER KOSTENINFLATION IM JAHR 2022 ENORM AN.**

Nach Jahrzehnten der Kostenreduktion und Verbesserung der Leistung von Solar- und Windenergiotechnologien sind die wirtschaftlichen Vorteile der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen – zusätzlich zu den Vorteilen für die Umwelt – heute beeindruckend.

Dank der steigenden Preise für fossile Brennstoffe war Strom aus erneuerbaren Energiequellen im Zeitraum 2021–2022 tatsächlich so wettbewerbsfähig wie nie in den letzten zwei Jahrzehnten.

Und das, obwohl die Preise für Photovoltaik-Module und Windturbinen auf den meisten Märkten, mit Ausnahme Chinas, gestiegen sind. Auch die auf vielen Märkten gestiegenen Gesamtkosten für Solar- und Windenergie haben daran nichts geändert.

Von den 20 Ländern, für die IRENA über ausführliche Daten verfügt, konnten neun im Jahr 2021 die Wettbewerbsfähigkeit<sup>1</sup> ihrer PV-Großanlagen um *mehr* als die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten (LCOE) für dieses Jahr steigern. Im Jahr 2022 war diese Steigerung in acht Ländern festzustellen.

Bei den Onshore-Windenergieanlagen war die Situation sogar noch deutlicher. Im Zeitraum 2021–2022 wurden in absoluten Zahlen betrachtet 15 der 20 im Bereich Onshore-Windenergie untersuchten Länder so wettbewerbsfähig wie nie seit der Verfügbarkeit ausführlicher Daten. Dazu gehörten auch Märkte, auf denen die Gesamtanschaffungskosten stiegen, wobei die Preise für fossile Brennstoffe weitaus stärker anzogen als die Preise für ihre erneuerbaren Alternativen.

Bemerkenswert ist außerdem die Geschwindigkeit, mit der die Wettbewerbsfähigkeit von Solar- und Windenergie angestiegen ist, als die Kosten für Strom aus Solar- und Windenergieanlagen gesunken sind.

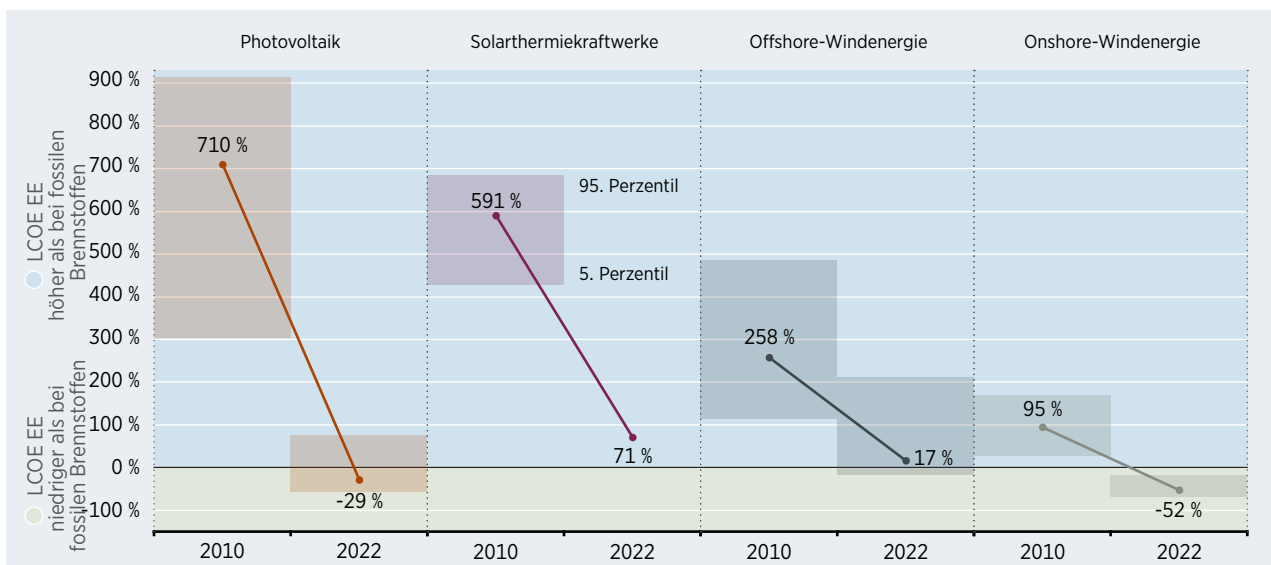
---

<sup>1</sup> IRENA hat für 20 Länder eine Kennzahl für die Wettbewerbsfähigkeit berechnet. Diese basiert auf den gewichteten Durchschnittskosten für neue, fossil befeuerte Anlagen, die auf der Grundlage von Kapitalkostendaten auf Projektebene und länderspezifischen Bezugspreisen für fossiles Gas und Kohle für Stromerzeuger berechnet werden. Für die Kennzahl der Wettbewerbsfähigkeit werden die nach Ländern gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für fossile Brennstoffe von den Stromgestehungskosten für erneuerbare Energiequellen abgezogen. Ist also der Wert negativ, sind die Stromgestehungskosten für erneuerbare Energiequellen niedriger als die für fossile Brennstoffe.

Im Jahr 2010 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Onshore-Windenergieanlagen bei 0,107 USD/kWh. Damit waren sie 95 % höher als die niedrigsten Kosten für Strom aus fossil befeuerten Anlagen von 0,056 USD/kWh. 2022 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten neuer Onshore-Windenergieanlagen bei 0,033 USD/kWh und damit 52 % unter den Kosten der günstigsten fossil befeuerten Option, die auf 0,069 USD/kWh angestiegen waren (Abbildung S.1).

Im gleichen Zeitraum fielen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Mehrkosten der Stromgestehung durch Offshore-Windenergieanlagen von 258 % gegenüber der günstigsten fossilen Option auf nur noch 17 %, da die Kosten von 0,197 USD/kWh auf 0,081 USD/kWh sanken.

**Abbildung S.1** Veränderung der Wettbewerbsfähigkeit von Solar- und Windenergie nach Ländern auf der Grundlage der weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten, 2010-2022



**Hinweis:** Die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE-Daten nach Technologie und die LCOE-Daten für fossil befuerte Anlagen, die zur Erstellung dieses Diagramms verwendet wurden, sind in Kapitel 1 ausführlich dargestellt; EE = erneuerbare Energiequellen.

Bei Solarthermiekraftwerken (CSP) sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Mehrkosten der Stromgestehung gegenüber der günstigsten fossil befeuerten Option von 591 % im Jahr 2010 auf 71 % im Jahr 2022.

Diese Zahl wurde von Photovoltaikanlagen sogar noch übertroffen. Diese erneuerbare Energiequelle verzeichnete 2010 weltweit gewichtete durchschnittliche Stromgestehungskosten von 0,445 USD/kWh und war damit um 710 % teurer als die günstigste fossil befuerte Option. Doch bis 2022 führte ein bemerkenswerter Kostenrückgang auf 0,049 USD/kWh dazu, dass die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten der Photovoltaik um 29 % unter denen der günstigsten fossil befeuerten Option lagen.

Da die Kosten für die fossil befuerte Stromerzeugung in den Jahren 2021–2022 vor allem aufgrund der Preiszuwächse für fossile Brennstoffe stiegen, lagen die Stromkosten von rund 86 % oder 187 Gigawatt (GW) der 2022 neu in Betrieb genommenen Großanlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen unter dem je Land/Region gewichteten Durchschnitt der Kosten für fossil befuerte Anlagen. Diese Zahl lag 8 % über den für 2021 geschätzten 174 GW.

Insgesamt wurden zwischen 2010 und 2022 1 120 GW Strom aus erneuerbaren Energiequellen mit niedrigeren Stromgestehungskosten als dem je Land/Region gewichteten Durchschnitt der Stromgestehungskosten aus fossilen Brennstoffen installiert.

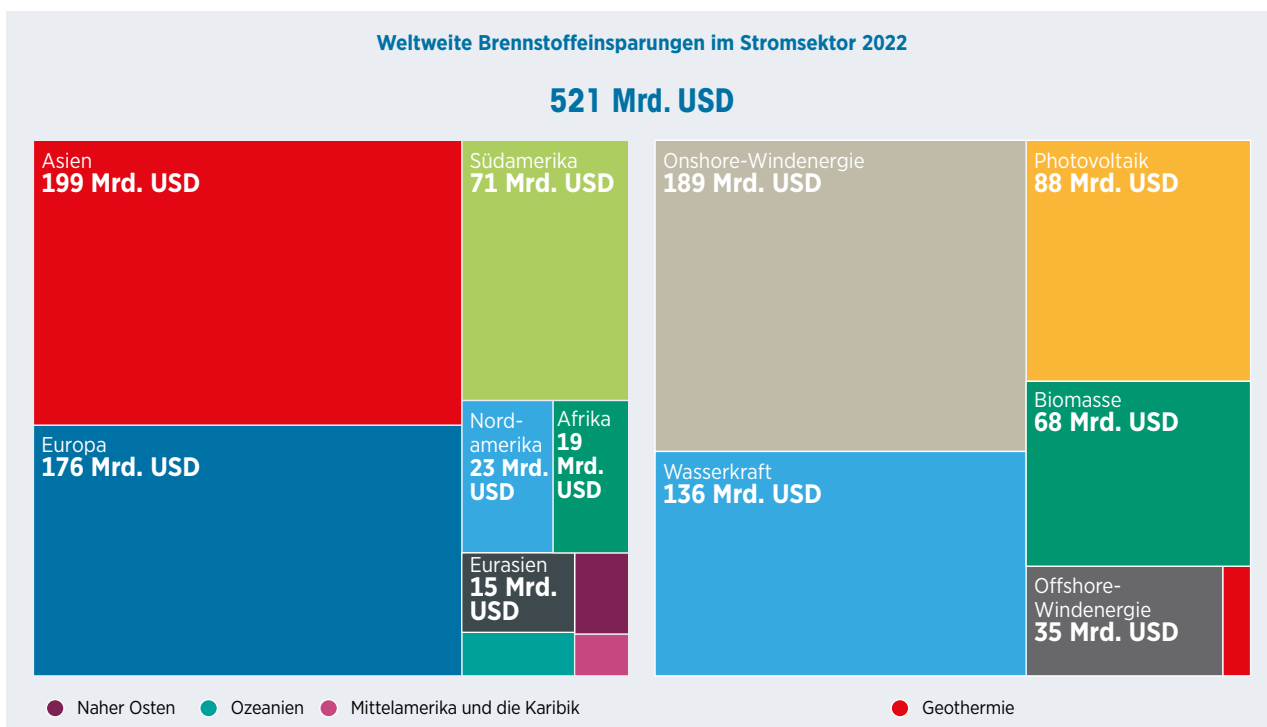
## GROSSE VORTEILE ERNEUERBARER ENERGIEN FÜR DIE ENERGIESICHERHEIT.

Die Preiskrise für fossile Brennstoffe im Jahr 2022 führte die enormen wirtschaftlichen Vorteile erneuerbarer Energiequellen im Hinblick auf die Energiesicherheit deutlich vor Augen. In der Tat wurden im Jahr 2022 die Vorteile der erneuerbaren Energiequellen für die Energieversorgungssicherheit auf breiter Ebene „wiederentdeckt“.

Im Gegensatz zu Energiesicherheitsmaßnahmen, die sich auf die materielle Versorgung mit fossilen Brennstoffen konzentrieren, werden durch erneuerbare Energiequellen die wirtschaftlichen Kosten, die sich aus der Abhängigkeit von den naturgemäß schwankenden Preisen fossiler Brennstoffe ergeben, verringert, da der Bedarf an fossilen Brennstoffen und deren Einfuhr sinkt. Kurz gesagt bieten rasch zu verwirklichende Maßnahmen, mit denen fossile Brennstoffe ersetzt werden und die über ihre gesamte Lebensdauer hinweg stabile Kosten aufweisen, wie die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und die Umsetzung von Energieeffizienz, bei weitem die größten Vorteile für die Energiesicherheit. Dies mag offensichtlich erscheinen, aber im Ringen um die Sicherung der Versorgung mit zusätzlichen fossilen Brennstoffen im Jahr 2022 wurde dies von den politischen Entscheidungsträgern oft als zweitrangig angesehen.<sup>2</sup>

Im Jahr 2022 wurden durch die seit 2000 weltweit erschlossenen erneuerbaren Energiequellen allein im Stromsektor schätzungsweise 521 Mrd. USD<sup>3</sup> an Brennstoffkosten eingespart (Abbildung S.2). In Europa lag diese Zahl bei 176 Mrd. USD. Darüber hinaus hat die Erschließung der erneuerbaren Energiequellen seit 2010 den Kontinent möglicherweise vor einer ausgewachsenen Wirtschaftskrise bewahrt, denn ohne die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen<sup>4</sup> wären die direkten wirtschaftlichen Kosten des Preisanstiegs für fossile Brennstoffe viel höher gewesen.

**Abbildung S.2** Weltweite Kosteneinsparungen bei fossilen Brennstoffen im Stromsektor im Jahr 2022 durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen seit 2000



<sup>2</sup> Erwähnenswert ist, dass die politischen Entscheidungsträger von den Auswirkungen der Preiskrise für fossile Brennstoffe im Jahr 2022 überwältigt wurden. Es ist daher nicht verwunderlich, dass angesichts der begrenzten institutionellen Ressourcen und der weitreichenden Anforderungen an die politischen Entscheidungsträger verschiedenen Bereichen Vorrang eingeräumt wurde. Dennoch ist es eine verpasste Gelegenheit.

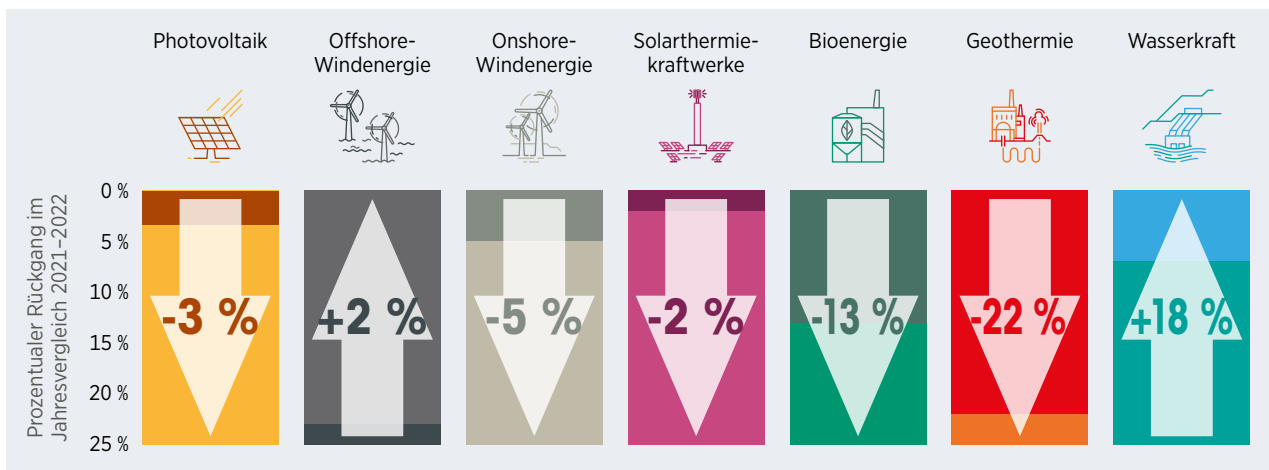
<sup>3</sup> Dieser Schätzwert ist möglicherweise zu niedrig angesetzt. Vermutlich hätte die höhere Nachfrage nach fossilen Brennstoffen im Jahr 2022 – als Folge des hypothetischen geringeren Einsatzes erneuerbarer Energiequellen – die Preise noch weiter in die Höhe getrieben und den Versorgungsschock noch verschlimmert.

<sup>4</sup> Ohne Berücksichtigung der Auswirkungen des Einsatzes von Wärmepumpen, solarthermischen Warmwasserbereitern und Energieeffizienzmaßnahmen.

## IM JAHR 2022 SANKEN DIE WELTWEIT GEWICHTETEN DURCHSCHNITTLICHEN STROMGESTEHUNGSKOSTEN VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN (PV), ONSHORE-WINDENERGIEANLAGEN, SOLARTHERMIEKRAFTWERKEN (CSP), BIOENERGIE UND GEOTHERMIE.

Für neu in Betrieb genommene Onshore-Windanlagen sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten (LCOE) zwischen 2021 und 2022 um 5 % von 0,035 USD/kWh auf 0,033 USD/kWh (Abbildung S.3). Im Jahr 2022 war China erneut der größte Markt für neue Onshore-Windkapazitäten, wobei sein Anteil am weltweiten Ausbau zwischen 2021 und 2022 von 41 % auf 50 % stieg. Dies führte dazu, dass der Anteil der Märkte mit höheren Anschaffungskosten im Vergleich zu 2021 sank. Ohne Berücksichtigung Chinas wäre die Kurve der weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Onshore-Windenergie in diesem Zeitraum flach geblieben.

**Abbildung S.3** Weltweite Stromgestehungskosten aus neu in Betrieb genommenen, mit erneuerbaren Technologien betriebenen Kraftwerken 2021–2022



Bei den neu in Betrieb genommenen PV-Großanlagen sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von 2021 bis 2022 um 3 % auf 0,049 USD/kWh. Dies ist auf einen Rückgang der weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtanschaffungskosten für diese Technologie um 4 %, und zwar von 917 USD/Kilowatt (kW) im Jahr 2021 auf 876 USD/kW für die im Jahr 2022 in Betrieb genommenen Anlagen, zurückzuführen.

Insgesamt erwies sich die Photovoltaik im Jahr 2022 als sehr komplex, denn die verschiedenen Märkte entwickelten sich in unterschiedliche Richtungen. Der Rückgang der Stromgestehungskosten im Jahr 2022 war geringer als der 2021 verzeichnete Rückgang von 13 % im Jahresvergleich, da 11 der 20 größten Märkte für PV-Großanlagen, für die IRENA über detaillierte Daten verfügt, einen realen Anstieg der Gesamtanschaffungskosten und 12 einen nominalen Anstieg verzeichneten. Einige dieser Erhöhungen waren beträchtlich – in Frankreich und Deutschland gab es beispielsweise einen Anstieg um 34 %, während in Griechenland ein geschätzter Kostenanstieg von 51 % zu verzeichnen war, der durch steigende Preise für PV-Module und Rohstoffe Ende 2021 und bis ins Jahr 2022 hinein verursacht wurde. Ein Teil dieser Schwankungen entspricht der normalen Fluktuation bei den einzelnen Projektkosten, aber die Inflation bei den Rohstoff- und Arbeitskosten hatte auf einige Märkte ganz klar erhebliche Auswirkungen.

Dass die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von neu in Betrieb genommenen PV-Großanlagen im Jahr 2022 trotzdem sanken, war darauf zurückzuführen, dass China niedrigere Kosten als die meisten anderen Märkte hatte und sein Anteil am weltweiten Ausbau von PV-Großanlagen von 38 % im Jahr 2021 auf schätzungsweise 45 % im Jahr 2022 stieg.



**Auf dem Offshore-Windenergiemarkt** kamen im Jahr 2022 Kapazitäten im Ausmaß von 8,9 GW hinzu. Dies wäre ein neuer Rekord gewesen, wenn der Ausbau der Anlagen im Jahr 2021 mit weltweit zusätzlich 21 GW – allen voran China – nicht so unglaublich schnell umgesetzt worden wäre. Tatsächlich haben der Rückgang des Anteils Chinas am Kapazitätsausbau und die Inbetriebnahme von Anlagen in neuen Märkten dazu geführt, dass die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für neue Projekte im Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 um 2 % von 0,079 USD/kWh auf 0,081 USD/kWh stiegen. Der Anstieg der weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtanschaffungskosten (von 3 052 USD/kW im Jahr 2021 auf 3 461 USD/kW im Jahr 2022) wurde durch den Anstieg der Kapazitätsfaktoren für neu in Betrieb genommene Anlagen von 39 % im Jahr 2021 auf 42 % im Jahr 2022 teilweise ausgeglichen.

**Für neu in Betrieb genommene Anlagen zur Stromerzeugung aus Bioenergie** sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2021 und 2022 um 13 % von 0,071 USD/kWh auf 0,061 USD/kWh. Dies ist auf die Zunahme des Anteils neuer, in China und Brasilien in Betrieb genommener, kostengünstiger Anlagen im Jahr 2022 zurückzuführen.

**Bei der Stromerzeugung aus Geothermie** sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten der zehn in Betrieb genommenen Anlagen zwischen 2021 und 2022 um 22 % auf 0,056 USD/kWh.

**Bei den neu in Betrieb genommenen Anlagen zur Stromerzeugung aus Wasserkraft** stiegen dagegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2021 und 2022 um 18 % von 0,052 USD/kWh auf 0,061 USD/kWh. Im Jahr 2022 wurde eine Reihe von Anlagen, bei denen es zu erheblichen Verzögerungen und Kostenüberschreitungen gekommen war, teilweise oder vollständig in Betrieb genommen. Infolgedessen stiegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtanschaffungskosten für neue Wasserkraftwerke von 2 299 USD/kW im Jahr 2021 auf 2 881 USD/kW im Jahr 2022, was einem Anstieg von 25 % entspricht.

## **ZWISCHEN 2010 UND 2022 VERZEICHNETEN SOLAR- UND WINDENERGIE EINE BEMERKENSWERTE KOSTENSENKUNG.**

Aufgrund der Erfahrungen aus den letzten zwei Jahren hat sich das Verständnis der Akteure für Preiserwartungen auf den fossilen Brennstoffmärkten verändert. Gleichzeitig erwiesen sich die Länder, die für die Stromerzeugung auf fossile Brennstoffe angewiesen sind, als entsprechend anfällig.

Doch schon vor der Preiskrise für fossile Brennstoffe im Jahr 2022 waren die erneuerbaren Energiequellen den fossilen Brennstoffen überlegen. Als im Jahr 2021 neue Stromerzeugungskapazitäten benötigt wurden, lagen die Preise für erneuerbare Energiequellen deutlich unter jenen für den Ausbau der fossil befeuerten Kraftwerke und an vielen Standorten unterboten die erneuerbaren Energiequellen nach Abzug der finanziellen Unterstützungen sogar die bestehenden Anlagen. Strom aus erneuerbaren Energiequellen wurde 2022 durch den Anstieg der Preise für fossile Brennstoffe deutlich wettbewerbsfähiger.

**Die Photovoltaik hat seit 2010 die schnellsten Kostensenkungen erfahren.** Die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten neu in Betrieb genommener PV-Großanlagen sanken zwischen 2010 und 2022 von 0,445 USD/kWh auf 0,049 USD/kWh – das ist ein Rückgang um 89 % (Abbildung S.4). Diese Senkung der Stromgestehungskosten ist in erster Linie auf die Reduktion der Modulpreise zurückzuführen, die zwischen Dezember 2009 und Dezember 2022 – trotz eines Anstiegs im Jahr 2022 – um rund 90 % sanken. Auch bei den Kosten für die Anlagenperipherie (BoP, en: Balance of Plant), den Betriebs- und Wartungskosten und den Kapitalkosten wurden erhebliche Einsparungen erzielt.

**Bei Onshore-Windenergieanlagen** sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2010 und 2022 um 69 %, von 0,107 USD/kWh auf 0,033 USD/kWh.

Die Kostensenkungen bei der Onshore-Windenergie wurden von zwei Schlüsselfaktoren vorangetrieben, nämlich den sinkenden Kosten für Windturbinen und den höheren Kapazitätsfaktoren durch Verbesserungen der Turbinentechnologie. Die Preise für Windturbinen außerhalb Chinas fielen zwischen 2010 und 2022 je nach dem Preisindex für Windturbinen um 39–55 %, während der Rückgang in China mit 64 % fast zwei Drittel betrug. Der weltweit gewichtete durchschnittliche Kapazitätsfaktor der neu in Betrieb genommenen Anlagen stieg von 27 % im Jahr 2010 auf 39 % im Jahr 2021. Dieser weltweit gewichtete Durchschnitt fiel dann im Jahr 2022 durch die Zunahme des chinesischen Anteils an den Neuinstallationen wegen der allgemein schlechteren Windstandorte in diesem Land auf 37 % zurück.

**Bei neu in Betrieb genommenen Offshore-Windanlagen** sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2010 und 2022 von 0,197 USD/kWh auf 0,081 USD/kWh, was einer Verringerung um 59 % entspricht.

Im Jahr 2010 wurden in China und Europa neue Offshore-Anlagen mit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von 0,189 USD/kWh bzw. 0,198 USD/kWh in Betrieb genommen. 2021 lagen die gewichteten Durchschnittskosten für neu in Betrieb genommene europäische Anlagen bei 0,056 USD/kWh und damit niedriger als die Kosten von 0,083 USD/kWh in China in diesem Jahr. Im Jahr 2022 stiegen die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten in Europa auf 0,074 USD/kWh, da eine Reihe von teureren Anlagen, auch in neuen Märkten, fertiggestellt wurde. Dennoch lagen die Stromgestehungskosten in Europa immer noch rund 4 % unter den Kosten der im Jahr 2022 fertiggestellten chinesischen Anlagen, die einen gewichteten Durchschnitt von 0,077 USD/kWh aufwiesen.

**Der Ausbau der Solarthermiekraftwerke (CSP) bleibt enttäuschend gering:** 2022 kamen weniger als 0,1 GW hinzu, die kumulierte Kapazität lag Ende 2022 weltweit bei 6,5 GW.

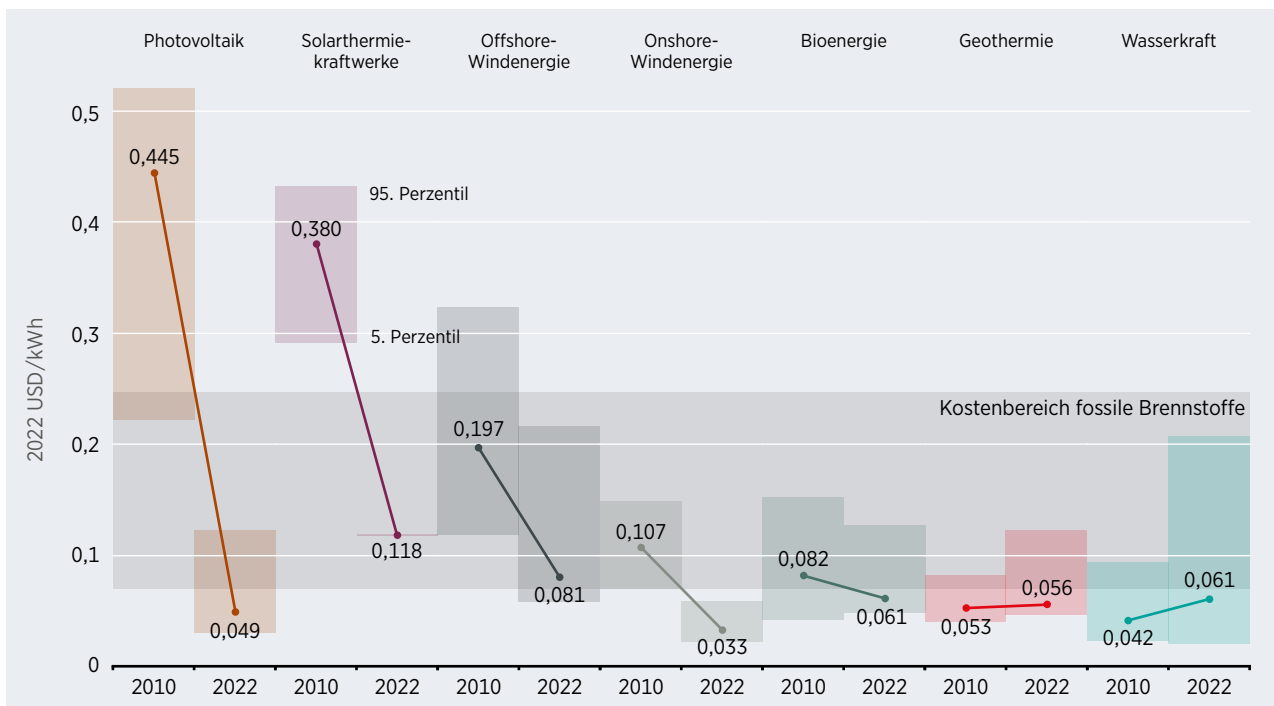
Von 2010 bis 2022 fielen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten neu in Betrieb genommener Solarthermiekraftwerke von 0,38 USD/kWh auf 0,118 USD/kWh – das ist eine Senkung um 69 %. Die Stromgestehungskosten von Solarthermiekraftwerken verzeichneten zwischen 2010 und 2020 trotz jährlicher Schwankungen einen raschen Rückgang. Seit 2020 stagnieren jedoch die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten aus dieser Technologie durch die Inbetriebnahme von Anlagen, die sich entweder verzögert haben oder neuartige Konzepte beinhalten. Angesichts der beeindruckenden Kostensenkungen, die mit einer kumulierten Leistung von nur 6,5 GW erreicht wurden, würden Solarthermiekraftwerke von zusätzlicher politischer Unterstützung profitieren.

Die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von **Anlagen zur Stromerzeugung aus Bioenergie** wiesen im Zeitraum 2010–2020 eine gewisse Volatilität auf, ohne dass ein nennenswerter Trend nach oben oder unten zu beobachten war. Im Jahr 2022 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten der Bioenergie mit 0,061 USD/kWh jedoch um 13 % unter dem Wert von 2021 und um ein Viertel unter dem Wert von 2010, der bei 0,082 USD/kWh lag.

**Bei Geothermieanlagen** sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2021 und 2022 um 22 % auf 0,056 USD/kWh. Damit lagen sie um 6 % höher als im Jahr 2010, aber deutlich innerhalb der zwischen 2013 und 2021 beobachteten Spanne von 0,053 USD/kWh bis 0,091 USD/kWh.

Bei den neu in Betrieb genommenen Anlagen zur Stromerzeugung aus Wasserkraft stiegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2010 und 2022 um 47 % von 0,042 USD/kWh auf 0,061 USD/kWh. Diese Kosten waren immer noch niedriger als die günstigste fossil befeuerte Stromerzeugungsoption im Jahr 2022, obwohl die weltweit gewichteten Durchschnittskosten im Jahresvergleich um 18 % zulegten. Der Anstieg im Jahr 2022 gegenüber 2021 ist auf die Inbetriebnahme einer Reihe von Anlagen zurückzuführen, bei denen es zu erheblichen Kostenüberschreitungen kam, vor allem in Kanada.

**Abbildung S.4** Weltweite Stromgestehungskosten aus neu in Betrieb genommenen, mit erneuerbaren Technologien betriebenen Kraftwerken 2021 und 2022



**Hinweis:** Diese Daten beziehen sich auf das Jahr der Inbetriebnahme. Die dicken Linien zeigen den Wert der weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für die im jeweiligen Jahr in Betrieb genommenen einzelnen Anlagen. Die Stromgestehungskosten werden aus projektspezifischen Anschaffungskosten und Kapazitätsfaktoren berechnet, während die anderen Annahmen, einschließlich der gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC, en: weighted average cost of capital), in Anhang I aufgeschlüsselt sind. Der graue Bereich stellt die Stromgestehungskosten für fossile Brennstoffe im Jahr 2022 dar, wobei davon ausgegangen wird, dass die fossilen Gaspreise von 2021 der korrekte Richtwert für die gesamte Lebensdauer sind und nicht die Krisenpreise von 2022. Die Balken für die einzelnen Technologien und Jahre stellen die Bandbreite zwischen dem 5. und 95. Perzentil für erneuerbare Energieprojekte dar.



