



KOSTEN DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

2023

KURZFASSUNG

© IRENA 2024

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 (2024), *Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Der vorliegende Bericht ist die Übersetzung von „Renewable power generation costs in 2023“ ISBN: 978-92-9260-621-3 (2024). 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

DANKSAGUNGEN

Dieser Bericht wurde unter der Leitung von Roland Roesch (Direktor, IRENA Innovation and Technology Center), Norela Constantinescu (IRENA) und Michael Taylor (ex-IRENA) erstellt.

Der Bericht wurde von Deborah Ayres und Lourdes Zamora (IRENA) verfasst. Die Autoren sind dankbar für die wertvollen Beiträge von Adrian Gonzalez, Binu Parthan, Nazik Elhassan, Jarred McCarthy, Mohammed Nababa (IRENA) und Olga Sorokina (European Energy Link Group) bei der Erstellung dieser Studie.

Der Bericht wurde von zahlreichen Experten geprüft und kommentiert, darunter Alana Bilbao (IEA), Ana Andrade (Direção Geral de Energia e Geologia), Gordon Edge (IHA), Guy Brindley (WindEurope), Jarett Zuboy (NREL), Jorden Dersch (DLR), Matteo Bianciotto (IHA), Molly Morgan (CRU) und Rebecca Ellis (IHA).

Francis Field, Stephanie Clarke, Nicole Bockstaller und Daria Gazzola leisteten Unterstützung in den Bereichen Veröffentlichung, Redaktion und Kommunikation. Der Bericht wurde von Jonathan Gorvett redigiert und von Paul Komor technisch überprüft. Die grafische Gestaltung wurde von Nacho Sanz übernommen. Die Übersetzung des Berichts aus dem Englischen ins Deutsche wurde von Diana Bading Korrektur gelesen.

Weitere Informationen und Feedback: publications@irena.org

Dieser Bericht ist als Download verfügbar unter: www.irena.org/publicationsDisclaimer

Haftungsausschluss

Diese Veröffentlichung und das hierin enthaltende 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 Inhalt anbietenden 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.



KURZFASSUNG

ECKDATEN

- Der Zubau an erneuerbaren Stromkapazitäten erreichte 2023 mit 473 GW neu installierter Leistung ein Rekordhoch – ein Anstieg um 54 % gegenüber 2022 und das größte jährliche Wachstum seit 2000.
- Die weltweite Gesamtkapazität an erneuerbaren Energien stieg 2023 um 14 %, von 3 391 GW im Jahr 2022 auf 3 865 GW im Jahr 2023.
- 2023 sanken die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für Strom aus neu in Betrieb genommenen Photovoltaikanlagen (PV), Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen, solarthermischen Kraftwerken (CSP) und Wasserkraftwerken (Tabelle S1).
- China war 2023 der größte Markt für Photovoltaik (63 %), Onshore-Windenergie (66 %), Offshore-Windenergie (65 %) und Wasserkraft (44 %). Dies ist auf den erheblichen Zubau an erneuerbaren Energien in China im Jahr 2023 zurückzuführen, der den Rückgang der weltweit gewichteten Durchschnittskosten für diese Technologien vorantrieb.
- 2023 wurden durch den gesamten Einsatz erneuerbarer Energien seit dem Jahr 2000 weltweit schätzungsweise 409 Mrd. USD an Brennstoffkosten im Energiesektor eingespart.
- Der jährliche Zuwachs an Batteriespeicherkapazität stieg von 0,1 GWh brutto im Jahr 2010 auf 95,9 GWh brutto im Jahr 2023. Zwischen 2010 und 2023 sanken die Kosten für Batteriespeichervorhaben um 89 %, von 2 511 USD/kWh auf 273 USD/kWh.
- Die Technologien für erneuerbare Energien sind immer noch wettbewerbsfähig, auch wenn sich die Preise für fossile Brennstoffe wieder dem Niveau aus der Zeit nach 2010 annähern.
- 2010 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten (LCOE, levelised cost of electricity) für Onshore-Windenergie um 23 % über den gewichteten durchschnittlichen LCOE für fossile Brennstoffe; 2023 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE für neue Onshore-Windenergievorhaben um 67 % unter dem gewichteten Durchschnitt der fossilen Brennstofflösungen.
- 2010 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE für Photovoltaik weltweit um 414 % höher als die für die kostengünstigste fossile Brennstofflösung; danach sind die Kosten jedoch enorm gesunken und im Bereich der Photovoltaik lagen sie 2023 um 56 % unter den gewichteten durchschnittlichen Kosten für die günstigste fossile Brennstofflösung.

Tabelle S1 Entwicklung von Gesamtanschaffungskosten, Kapazitätsfaktor und Stromgestehungskosten nach Technologie, 2010 und 2023

	Gesamtanschaffungskosten			Kapazitätsfaktor			Stromgestehungskosten		
	(2023 USD/kW)			(%)			(2023 USD/kWh)		
	2010	2023	Änderung in Prozent	2010	2023	Änderung in Prozent	2010	2023	Änderung in Prozent
Bioenergie	3 010	2 730	-9%	72	72	0%	0,084	0,072	-14%
Geothermie	3 011	4 589	52%	87	82	-6%	0,054	0,071	31%
Wasserkraft	1 459	2 806	92%	44	53	20%	0,043	0,057	33%
Photovoltaik	5 310	758	-86%	14	16	14%	0,460	0,044	-90%
CSP	10 453	6 589	-37%	30	55	83%	0,393	0,117	-70%
Onshore-Windenergie	2 272	1 160	-49%	27	36	33%	0,111	0,033	-70%
Offshore-Windenergie	5 409	2 800	-48%	38	41	8%	0,203	0,075	-63%

Anmerkungen: CSP = solarthermische Kraftwerke (concentrated solar power); kW = Kilowatt.

DER JÄHRLICHE ZUBAU VON STROM AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN HAT 2023 EIN REKORDHOCH ERREICHT. DIE INSTALLIERTE GESAMTKAPAZITÄT IST IM VERGLEICH ZUM VORJAHR UM 14 % GESTIEGEN.

2023 entfielen mehr als 95 % des Zubaus von 473 GW an erneuerbaren Energien auf die Photovoltaik und die Onshore-Windenergie.¹ Die Photovoltaik verzeichnete mit 346 GW einen Zuwachs von 73 % im Vergleich zu 2022, während die Onshore-Windenergie mit 104 GW ein Wachstum von 48 % gegenüber dem Vorjahr verzeichnete. Die Offshore-Windkapazität erreichte 11 GW, was einem Anstieg von 27 % gegenüber 2022 entspricht. Dies lag jedoch immer noch unter dem für diese Technologie rekordverdächtigen Kapazitätswachstum von 2021.

Bei anderen Technologien wie den solarthermischen Kraftwerken (CSP), Geothermie, Bioenergie und Wasserkraft fiel der Zubau bescheidener aus. Zusammengenommen belief sich die zusätzlich installierte Kapazität im Jahr 2023 auf 12 GW, wovon 7 GW auf die Wasserkraft entfielen. Der jährliche Zubau bei CSP und Geothermie ist in den letzten Jahren gleich geblieben, während Wasserkraft und Bioenergie 2023 gegenüber 2022 einen Rückgang verzeichneten.

Der vermehrte Zubau von Stromerzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energien spiegelt die weltweiten Bemühungen wider, den Energiesektor auf einen höheren Anteil erneuerbarer Energien umzustellen. Die neu hinzukommenden Kapazitäten bleiben jedoch unter dem Niveau, das erforderlich ist, um das im VAE-Konsens auf der COP28 vereinbarte Ziel der Verdreifachung der Kapazitäten zu erreichen. Vor allem sind für die Verdreifachung der Stromerzeugungskapazität aus erneuerbaren Energien wichtige Voraussetzungen nötig, insbesondere der Netzausbau und die Speicherung.

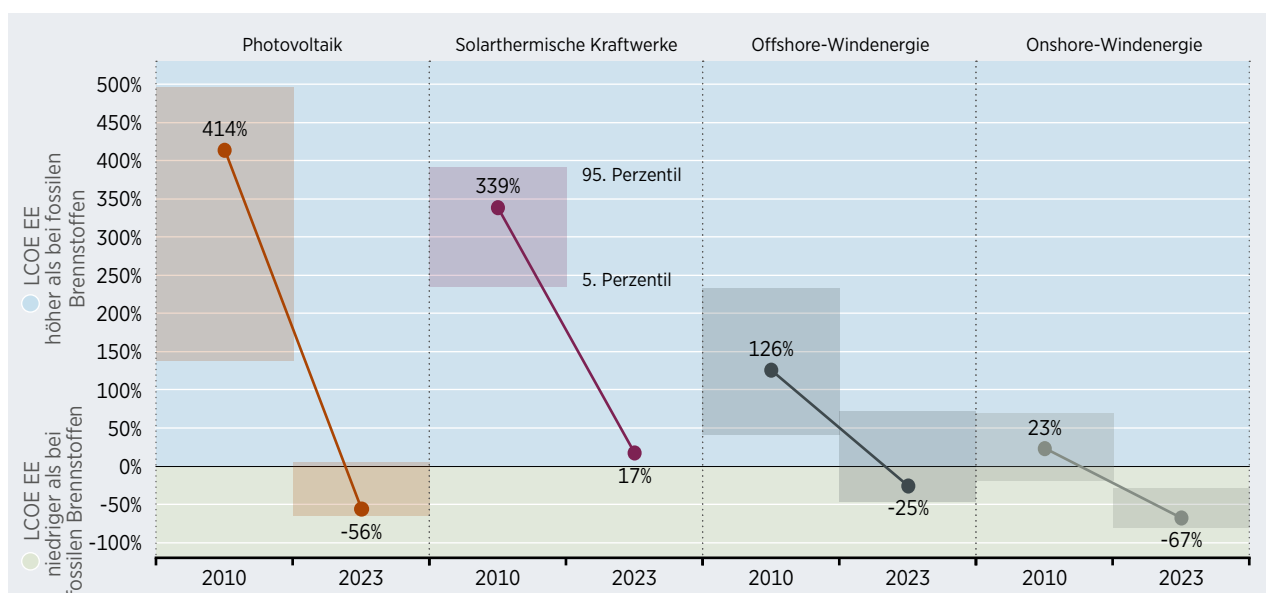
Laut IRENA-Datenbank zu den Kosten erneuerbarer Energien und einer Analyse der jüngsten Entwicklungen im Energiesektor wird jedoch bestätigt, dass erneuerbare Energien bei der Erreichung der Klimaziele eine wesentliche Rolle spielen. Gleichzeitig wird aufgezeigt, dass diese Technologien im Vergleich zu fossilen Brennstoffen wirtschaftlich tragfähig sind.

¹ In diesem Bericht bezieht sich die „Kapazität an erneuerbaren Energien“ auf die Nettoerzeugungskapazität von Kraftwerken und anderen Anlagen, die erneuerbare Energiequellen zur Stromerzeugung nutzen und im jeweiligen Jahr in Betrieb genommen wurden.

Nachdem die Kosten jahrzehntelang gesunken sind und sich die Leistung der Solar- und Windenergietechnologien verbessert hat, sind die wirtschaftlichen Vorteile der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen – zusätzlich zu ihren sozialen, entwicklungspolitischen und ökologischen Vorteilen – jetzt sehr überzeugend.

2010 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE für Onshore-Windenergie bei 0,111 USD/kWh. Sie waren damit 23 % höher als die gewichteten Durchschnittskosten für neue fossile Brennstoff-Kapazitäten², die bei 0,090 USD/kWh lagen. Bis 2023 lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE neuer Onshore-Windenergievorhaben jedoch bei 0,033 USD/kWh und damit 67 % unter den gewichteten durchschnittlichen Kosten für fossile Brennstoffe, die auf 0,100 USD/kWh gestiegen waren (Abbildung S2). Im gleichen Zeitraum waren die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Offshore-Windenergieanlagen zunächst um

Abbildung S1 Veränderung der weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE für Solar- und Windenergie im Vergleich zu fossilen Brennstoffen, 2010-2023



Anmerkung: EE = erneuerbare Energie.

126 % teurer als die gewichteten durchschnittlichen Kosten für fossile Brennstoffe und sind dann so sehr gesunken, dass sie am Ende sogar um 25 % günstiger waren. Die Kosten fielen von 0,203 USD/kWh auf 0,075 USD/kWh.

Die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von CSP sind inzwischen gesunken. 2010 waren sie noch 339 % höher als die gewichteten durchschnittlichen Kosten für fossile Alternativen. Bis 2023 ist die Zahl bereits auf 17 % gesunken. Bei großen PV-Kraftwerken lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten 2010 bei 0,460 USD/kWh. Damit waren diese Kraftwerke um 414 % teurer als die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Alternativen. Doch bis 2023 sanken die Kosten auf rekordverdächtige 0,044 USD/kWh, so dass die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Photovoltaik um 56 % niedriger waren als der gewichtete Durchschnitt für die fossilen Alternativen.

Während die Kosten für die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen im Jahr 2023 im Vergleich zu den hohen Werten von 2022 sanken (Abbildung 1.6 und Abbildung 1.7), war die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien weiterhin günstiger als die aus fossilen Brennstoffen. 2023 lagen die Stromkosten von rund 81 % (382 GW) der neu in Betrieb genommenen Kraftwerksvorhaben zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien unter den gewichteten Durchschnittskosten für fossile Brennstoffe je Land/Region.

² In diesem Bericht wurden die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien mit den gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für fossile Brennstoffe verglichen, während in früheren Jahren die Stromgestehungskosten der „kostengünstigsten“ fossilen Alternativen verwendet wurden. Dies ist auf die jüngsten Preissenkungen bei fossilen Brennstoffen zurückzuführen.

Insgesamt wurden zwischen 2010 und 2023 1690 GW Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, deren Stromgestehungskosten niedriger waren als die für fossile Brennstoffe.

DIE ERNEUERBARE ENERGIE HAT DER WIRTSCHAFT VORTEILE GEBRACHT.

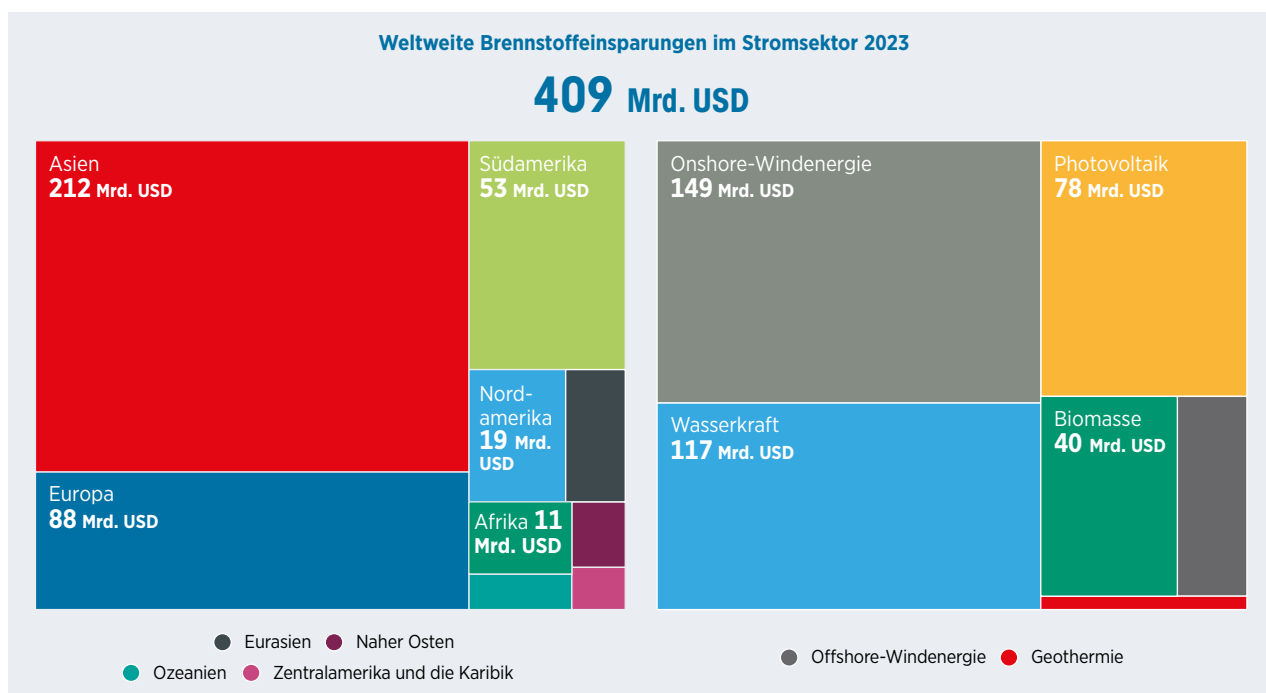
Von den 20 Ländern³, für die IRENA über detaillierte Daten verfügt, konnten neun Länder die Wettbewerbsfähigkeit⁴ ihrer PV-Kraftwerke verbessern, und zwar um mehr als die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten im Jahr 2023. Im Jahr 2022 verzeichneten acht Länder eine solche Verbesserung.

Im Zeitraum 2022-2023 hat sich die Wettbewerbsfähigkeit der Onshore-Windenergie in 16 der 19 untersuchten Länder um mehr als die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für Strom verbessert. In allen Märkten war die Onshore-Windenergie wettbewerbsfähiger als die fossilen Alternativen.

Mit erneuerbaren Energien werden weiterhin Brennstoffkosten im Stromsektor eingespart. Die Wettbewerbsfähigkeit von Solar- und Windenergie stieg an, auch wenn sie im Vergleich zum Jahr 2022 niedriger war. Dies war eine Folge des Rückgangs der Preise für fossile Brennstoffe.

2023 werden durch die seit 2000 weltweit eingesetzten erneuerbaren Energien schätzungsweise 409 Mrd. USD an Brennstoffkosten allein im Stromsektor eingespart (Abbildung S3). Im Zeitraum zwischen 2000 und 2010 verzeichnete Asien mit geschätzten 212 Mrd. USD die höchsten kumulierten Einsparungen. In Europa waren es 88 Mrd. USD, gefolgt von Südamerika, wo die Einsparungen auf 53 Mrd. USD geschätzt wurden.

Abbildung S2 Weltweite Kosteneinsparungen bei fossilen Brennstoffen im Stromsektor im Jahr 2023 durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen seit 2000



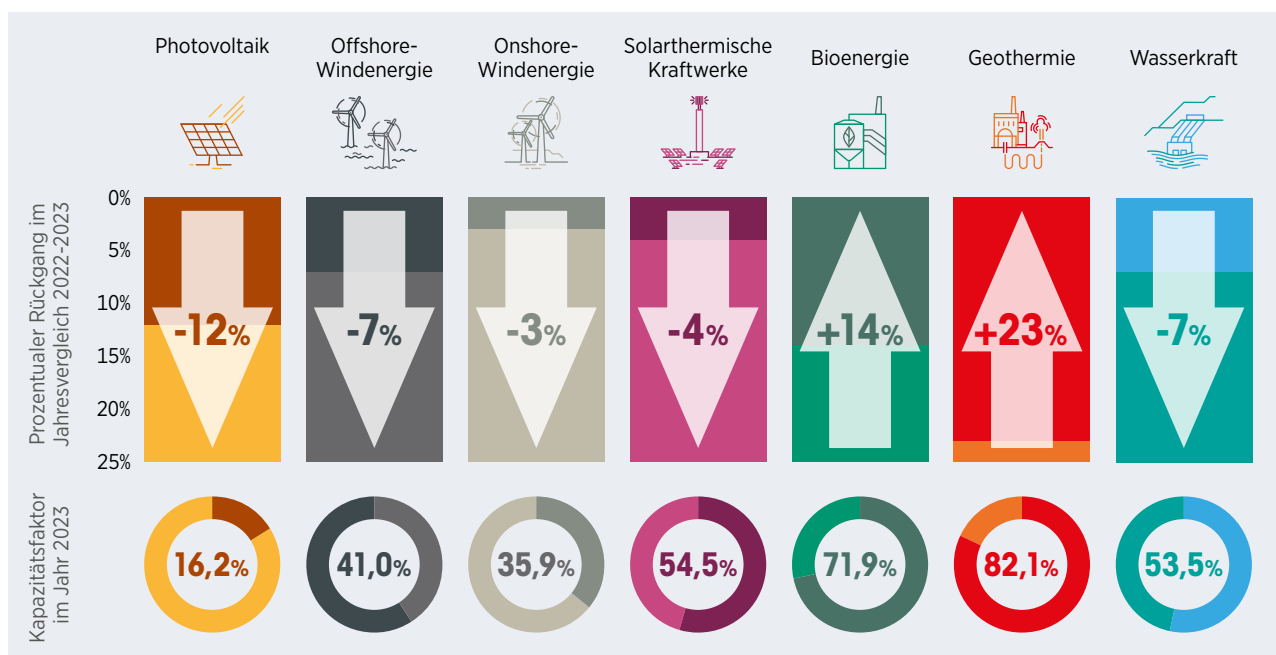
³ Detaillierte Daten sind in Abbildung 1.10 (siehe den vollständigen Bericht) für die folgenden 20 Länder dargestellt: Argentinien, Australien, Brasilien, Kanada, China, Frankreich, Deutschland, Indien, Indonesien, Italien, Japan, Republik Korea, Malaysia, Mexiko, Philippinen, Südafrika, Türkei, Großbritannien, USA und Vietnam.

⁴ IRENA hat für 20 Länder eine Wettbewerbskennzahl berechnet. Diese basiert auf den gewichteten Durchschnittskosten für neue fossile Brennstoffe, die anhand von Kapitalkostendaten auf Projektebene und länderspezifischen Markterpreisen für die fossilen Brennstoffe Gas und Kohle für Stromerzeuger berechnet wurden. Die Wettbewerbskennzahl ergibt sich aus den Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien minus den nach Ländern gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für fossile Brennstoffe. Erhält man einen negativen Wert, sind die Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien niedriger als die für fossile Brennstoffe.

Was die Technologien betrifft, so wurden bei der Onshore-Windenergie mit 149 Mrd. USD die höchsten Einsparungen erzielt. Bei der Wasserkraft wurden mit 117 Mrd. USD die zweithöchsten Einsparungen erzielt, gefolgt von der Photovoltaik mit 78 Mrd. USD.

Zwischen 2022 und 2023 sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtkosten für neu in Betrieb genommene Onshore-Windenergievorhaben um 13 %, von 1322 USD/Kilowatt (kW) auf 1154 USD/kW. Im gleichen Zeitraum sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für diese Projekte um 3 %, von 0,035 USD/kWh auf 0,033 USD/kWh (Abbildung S4).

Abbildung S3 Reduzierung der weltweit gewichteten durchschnittlichen LCOE und Kapazitätsfaktor von neu in Betrieb genommenen erneuerbaren Energiekraftwerken 2023



Anmerkung: Der unterschiedliche Farbton deutet darauf hin, wie sehr sich die LCOE im Jahresvergleich von oben (0 %) nach unten (25 %) betrachtet verändert hat (Anstieg oder Rückgang).

Im Jahr 2023 war China erneut der größte Markt für neue Onshore-Windenergiekapazitäten. Der Anteil des Landes am weltweiten Zubau stieg im Vergleich zum Vorjahr von 50 % auf 66 %. Dies führte dazu, dass der Anteil der Märkte mit höheren Installationskosten im Vergleich zu 2021 sank. Ohne China wäre die weltweit gewichtete durchschnittliche LCOE-Kurve für Onshore-Windenergie in diesem Zeitraum um 15 % gestiegen.

Bei neu in Betrieb genommenen großen Photovoltaikkraftwerken sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2022 und 2023 um 12 % auf 0,044 USD/kWh. Dies ist auf einen Rückgang der weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtkosten für diese Technologie um 17 % zurückzuführen, von 908 USD/kW im Jahr 2022 auf 758 USD/kW für die im Jahr 2023 in Betrieb genommenen Vorhaben.

Insgesamt sanken 2023 die installierten Gesamtkosten für Photovoltaik in den wichtigsten Märkten. Dies ist auf eine Lockerung der Lieferkette und einen Rückgang der Rohstoffpreisinflation zurückzuführen. Die europäischen Länder verzeichneten den stärksten Rückgang der installierten Kosten, wobei der Rückgang in Griechenland 48 %, in den Niederlanden 41 % und in Deutschland 29 % betrug. Die größten Märkte folgten derselben Entwicklung, darunter China mit einem Rückgang von 10 %, die Vereinigten Staaten (4 %) und Brasilien (5 %). Eine Ausnahme bildete Indien, das im Jahr 2023 einen Anstieg von 7 % verzeichnete.

Im Offshore-Windenergiemarkt wurden 2023 11 GW an neuer Kapazität zugebaut. Damit wurde nach 2021 das zweitbeste Ergebnis erzielt. Auf China entfielen 65 % der gesamten Erweiterungen im Offshore-Segment. Aufgrund des Anteils Chinas an den neuen Kapazitäten und der Inbetriebnahme von Vorhaben in neuen Märkten sanken die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für Strom aus neuen Vorhaben im Jahr 2023 im Vergleich zu 2022 um 7 % von 0,080 USD/kWh auf 0,075 USD/kWh.

Zwischen 2022 und 2023 sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtkosten für Offshore-Windenergieanlagen von 3 478 USD/kW auf 2 800 USD/kW, während der gewichtete durchschnittliche Kapazitätsfaktor für neu in Betrieb genommene Vorhaben leicht von 42 % im Jahr 2022 auf 41 % im Jahr 2023 sank.

2023 wurde nur ein CSP-Vorhaben abgeschlossen. Daraus ergaben sich für diese Technologie weltweit gewichtete durchschnittliche Stromgestehungskosten von 0,117 USD/kWh, was einem Rückgang von 4 % gegenüber 2022 entspricht.

Für neu in Betrieb genommene Bioenergievorhaben zur Stromerzeugung stiegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2022 und 2023 um 14 % von 0,063 USD/kWh auf 0,072 USD/kWh.

Bei den Geothermievorhaben stiegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten der sieben in Betrieb genommenen Anlagen zwischen 2022 und 2023 um 23 % auf 0,071 USD/kWh.

Bei neu in Betrieb genommenen Wasserkraftwerken hingegen sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2022 und 2023 um 7 %, von 0,061 USD/kWh auf 0,057 USD/kWh. Im gleichen Zeitraum sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Gesamtkosten neuer Wasserkraftwerke von 3 053 USD/kW auf 2 806 USD/kW. Das entspricht einem Rückgang um 8 %.

DIE ERHEBLICHEN KOSTENSENKUNGEN BEI DEN ERNEUERBAREN ENERGIEN ZWISCHEN 2010 UND 2023 ZEIGEN EINE BEMERKENSWERTE DEFLATIONSRATE.

Seit 2010 sind am schnellsten die Kosten für Photovoltaik gesunken. Die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von neu in Betrieb genommenen PV-Vorhaben sanken zwischen 2010 und 2023 von 0,460 USD/kWh auf 0,044 USD/kWh. Das ist ein Rückgang von 90 % (Abbildung S5). Dieser Rückgang der Stromgestehungskosten ist in erster Linie auf den Rückgang der Solarmodulpreise zurückzuführen. Diese sind zwischen Dezember 2009 und Dezember 2023 um rund 93 % gesunken. Zwischen 2018 und 2023 kam es auch bei den weichen Kosten (59 %), den Solarmodulen und Wechselrichtern (46 %), den weiteren PV-Anlagen-Komponenten (BoS) (39 %) und den Installationskosten (36 %) zu erheblichen Rückgängen. Der Median für die Gesamtkosten für Betrieb und Wartung (O&M) von großen PV-Kraftwerken sank zwischen 2022 und 2023 ebenfalls um 5 %.

Bei Onshore-Windenergievorhaben sanken die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für Strom zwischen 2010 und 2023 um 70 %, von 0,111 USD/kWh auf 0,033 USD/kWh. Die Kostensenkungen bei der Onshore-Windenergie wurden durch zwei Schlüsselfaktoren vorangetrieben: sinkende Kosten für Windturbinen und höhere Kapazitätsfaktoren aufgrund verbesserter Turbinentechnologie.

Zwischen 2010 und 2023 sanken die Preise für Windturbinen außerhalb Chinas um 41 % bis 64 %, je nach Preisindex für Windturbinen. Innerhalb Chinas lag der Rückgang im gleichen Zeitraum bei 73 %. Gleichzeitig stieg der weltweit gewichtete durchschnittliche Kapazitätsfaktor von neu in Betrieb genommenen

Onshore-Windenergieanlagen von 27 % im Jahr 2010 auf 36 % im Jahr 2023. Dies verdeutlicht, wie technologische Verbesserungen und Kostensenkungen dazu führen, dass Windenergieanlagen selbst in Gebieten mit weniger günstigen Windbedingungen mit dem Wettbewerb mithalten können.

Bei neu in Betrieb genommenen Offshore-Windvorhaben sanken die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2010 und 2023 von 0,203 USD/kWh auf 0,075 USD/kWh, was einem Rückgang um 63 % entspricht. In China und Europa wurden 2010 Offshore-Windenergieanlagen mit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von 0,196 USD/kWh bzw. 0,205 USD/kWh neu in Betrieb genommen. Die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten dieser beiden Regionen wichen danach voneinander ab, insbesondere im Jahr 2021, als neu in Betrieb genommene europäische Vorhaben gewichtete Durchschnittskosten von 0,057 USD/kWh aufwiesen und diese niedriger waren als die im selben Jahr in China verzeichneten 0,085 USD/kWh. 2023 stiegen die gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten in Europa auf 0,066 USD/kWh, da eine Reihe von kostenintensiveren Vorhaben, darunter auch einige in neuen Märkten, fertiggestellt wurden. Die Stromgestehungskosten in Europa waren immer noch rund 6 % niedriger als die bei den chinesischen Vorhaben, die 2023 fertiggestellt wurden und deren gewichteter Durchschnitt bei 0,070 USD/kWh lag. Der Unterschied liegt in den Windbedingungen der einzelnen Regionen, wobei in Europa höhere Windgeschwindigkeiten herrschen als in China.

Der CSP-Ausbau stagniert weiterhin, wobei im Jahr 2023 nur 300 MW hinzukamen und die globale kumulative Kapazität Ende 2023 bei 7 GW lag. Im Zeitraum 2010 bis 2023 sanken die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für neu in Betrieb genommene CSP-Vorhaben von 0,39 USD/kWh auf 0,117 USD/kWh. Das bedeutet einen Rückgang um 70 %. Die Stromgestehungskosten von CSP sind zwischen 2010 und 2020 trotz jährlicher Schwankungen rasch gesunken. Seit 2020 stagnieren die weltweit gewichteten Durchschnittskosten für Strom aus dieser Technologie jedoch aufgrund der Inbetriebnahme von Vorhaben, die sich entweder verzögern oder neuartige Konzepte beinhalten.

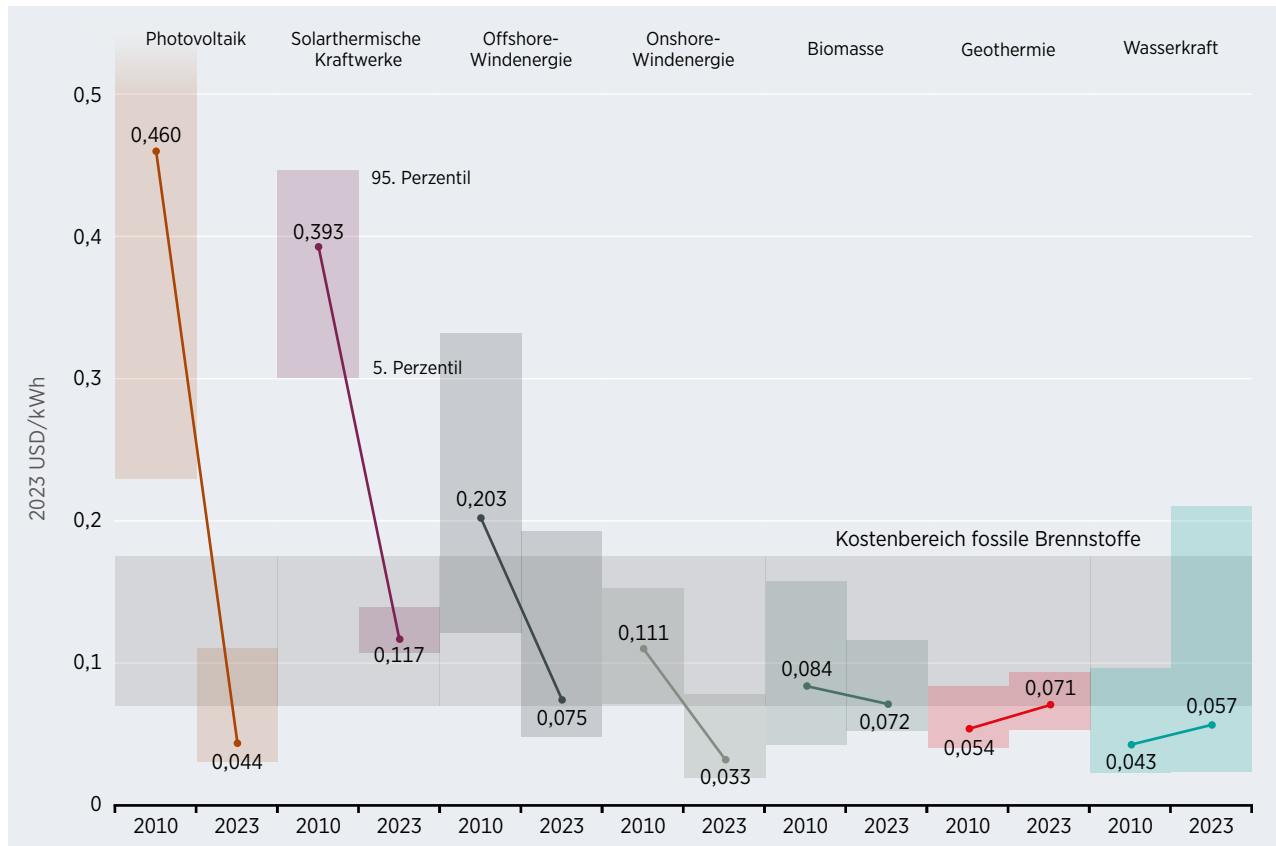
Die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Bioenergie von 0,084 USD/kWh im Jahr 2023 lagen 14 % über dem Wert von 2022 und ein Viertel unter dem Wert von 0,072 USD/kWh aus dem Jahr 2010. Der Anstieg ist auf eine Verschiebung der Marktanteile ab 2022 zurückzuführen, wobei die Märkte mit höheren Kosten nun einen größeren Anteil ausmachen. Darüber hinaus waren die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten von Bioenergie für die Stromversorgung zwischen 2010 und 2023 gewissen Schwankungen unterworfen, ohne dass es eine nennenswerte Entwicklung nach oben oder unten gab.

Bei Geothermievorhaben lagen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten 2023 um 23 % höher als 2022 und erreichten 0,071 USD/kWh. Dies lag immer noch deutlich innerhalb der zwischen 2017 und 2021 beobachteten Spanne von 0,077 USD/kWh bis 0,074 USD/kWh.

Bei neu in Betrieb genommenen Wasserkraftwerken stiegen die weltweit gewichteten durchschnittlichen Stromgestehungskosten zwischen 2010 und 2023 um 33 % von 0,043 USD/kWh auf 0,057 USD/kWh. Dies war immer noch niedriger als die durchschnittlichen Kosten für die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen im Jahr 2023. Im Zeitraum 2022 bis 2023 sanken die weltweit gewichteten Durchschnittskosten um 7 %. Der Kostenanstieg im Jahr 2022 war auf die Inbetriebnahme einer Reihe von Vorhaben zurückzuführen, bei denen es zu erheblichen Kostenüberschreitungen kam, vor allem in Kanada und in den USA.

Bei der Stromspeicherung sind die Kosten für Batteriespeichervorhaben zwischen 2010 und 2023 um 89 % gesunken, von 2 511 USD/kWh auf 273 USD/kWh. Die Kostensenkung wurde durch die Ausweitung der Produktion, die verbesserte Materialeffizienz und die verbesserten Herstellungsverfahren erreicht. Darüber hinaus stieg der jährliche Kapazitätswachstum von 0,1 GWh brutto im Jahr 2010 auf 95,9 GWh brutto im Jahr 2023, wobei auf China fast die Hälfte des gesamten weltweiten Zuwachses (46,5 GWh) entfiel.

Abbildung S4 Weltweite Stromgestehungskosten aus neu in Betrieb genommenen, mit erneuerbaren Technologien betriebenen Kraftwerken 2010 und 2023



Anmerkung: Diese Daten beziehen sich auf das Jahr der Inbetriebnahme. Die dicken Linien sind der weltweit gewichtete Durchschnittswert der Stromgestehungskosten, der sich aus den einzelnen in jedem Jahr in Betrieb genommenen Anlagen ergibt. Die Stromgestehungskosten werden mit vorhabenspezifischen Installationskosten und Kapazitätsfaktoren berechnet, während die anderen Annahmen, einschließlich der gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC, weighted average cost of capital), in Anhang I (siehe den vollständigen Bericht) detailliert aufgeführt sind. Das graue Band stellt die Stromerzeugungskosten für fossile Brennstoffe im Jahr 2023 dar, während jedes Band für die jeweilige Technologie und das jeweilige Jahr das Band für das 5. und 95. Perzentil für Vorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien darstellt.



