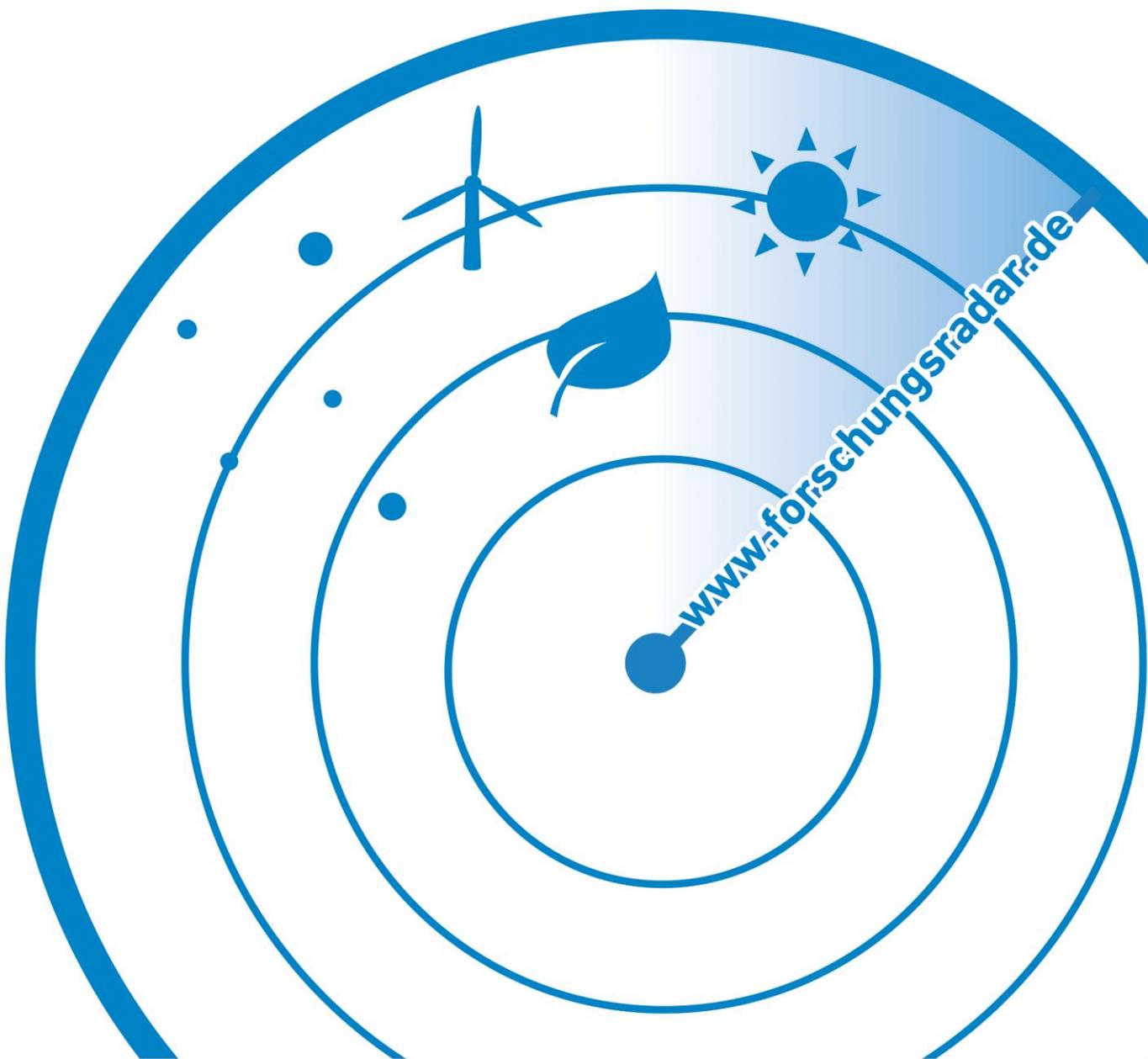


METAANALYSE

Dezember 2016

Investitionskosten von Energiewende-Technologien



Die Investitionskosten wichtiger Energiewende-Technologien

Im Jahr 2012 veröffentlichte die Agentur für Erneuerbare Energien einen [Studienvergleich zur Entwicklung der Investitionskosten](#) neuer Kraftwerke. Die AEE verglich dabei die Aussagen verschiedener Studien zur bisherigen und künftigen Entwicklung der Investitionskosten von Kohle- und Gaskraftwerken mit denen von Stromerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien. Den Anlass lieferte die Debatte um die Kosten der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien.

Ein wesentliches Ergebnis der Analyse war, dass die Investitionskosten konventioneller Kraftwerke in den vergangenen Jahren (2000-2010) gestiegen waren. Für die Zukunft nahmen die meisten Studien eine Stagnation der Investitionskosten für konventionelle Kraftwerkstechnik an. Würden fossile Kraftwerke jedoch aus Gründen des Klimaschutzes künftig mit Technik zur Abscheidung von Kohlendioxid ausgestattet (CCS), rechneten die Autoren mit deutlich höheren Investitionskosten. Daraus konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Kosten der Stromversorgung auch ohne den Ausbau der Erneuerbaren Energien steigen würden, denn eine umfassende Erneuerung des in die Jahre gekommenen Kraftwerksparks in Deutschland und Europa stand auf jeden Fall an.

Bei den betrachteten Anlagen zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (On- und Offshore-Windenergie, Photovoltaik, Solarthermische Kraftwerke, Geothermische Kraftwerke) zeigte sich der umgekehrte Trend. Für die Zukunft kalkulierten sämtliche untersuchte Studien mit teilweise drastisch sinkenden Investitionskosten. Besonders ausgeprägt fielen die erwarteten Kostenreduktionen bei der Offshore-Windenergie, der Photovoltaik und den solarthermischen Kraftwerken aus. Bei den bereits im Jahr 2012 schon verhältnismäßig technisch reifen Onshore-Windenergieanlagen waren die Erwartungen an weitere Kostensenkungen weniger stark, aber immer noch deutlich erkennbar. Große Unsicherheiten bestanden offensichtlich im Hinblick auf die geothermische Stromerzeugung, hier herrschte sowohl für die Gegenwart als auch für die Zukunft eine enorme Bandbreite bei den angegebenen Investitionskosten.

Heute, im Jahr 2016, ist die Debatte um die Kosten der Energiewende nach wie vor aktuell. Sie hat sich jedoch verändert: Dass die Kilowattstunde Strom aus Windenergie und Photovoltaik künftig kostengünstiger ist als aus fossil-nuklearen Kraftwerken, kann fast schon als Allgemeinwissen betrachtet werden. In den Vordergrund der Kostendebatte rückt inzwischen vielmehr der Aufwand zur Anpassung des übrigen Energiesystems an die fluktuierende Verfügbarkeit des Wind- und Solarstroms sowie die Frage, wie auch die Versorgung mit Wärme und Kraftstoffen auf Erneuerbare Energie umgestellt werden kann.

Vor diesem Hintergrund hat die AEE das Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) damit beauftragt, eine neue Metaanalyse zur Entwicklung der Investitionskosten wichtiger Energiewende-Technologien zu erarbeiten. Sie soll einerseits einen Teil der Ergebnisse aus dem Jahr 2012 aktualisieren und andererseits die Betrachtung auf weitere Energietechnologien ausweiten. Ziel ist es, teilweise sehr unterschiedliche Aussagen zu den Investitionskosten und Kostensenkungspotenzialen der verschiedenen Technologien transparent zu machen und wesentliche Tendenzen aufzuzeigen. Damit soll eine Grundlage für weitere Forschungsarbeiten und die Diskussion wichtiger Rahmenannahmen für die Modellierung von Energieszenarien geschaffen werden.

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

Die vorliegende Metaanalyse untersucht und vergleicht hierfür die Aussagen von 15 verschiedenen Studien zu den Investitionskosten folgender Anlagen:

- Offshore-Windenergieanlagen
- Onshore-Windenergieanlagen
- Photovoltaik
- Geothermische Kraftwerke
- Solarthermische Kollektoren
- Wärmepumpen
- Batterien
- Elektrolyseanlagen
- Methanisierungsanlagen.
- Gas- und Dampfkraftwerke (GuD)
- Gasturbinen

Die Auswahl der Technologien für den Studienvergleich begründet sich dadurch, dass sie alle im Zuge der Energiewende eine mehr oder weniger große Rolle spielen. Gaskraftwerke werden immer zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit benötigt, egal ob sie mit Erdgas, Biomethan oder mit synthetischem, aus Wind- und Solarstrom erzeugtem Gas, betrieben werden. Bei der Photovoltaik und der Windenergie wird vermutet, dass sich die Annahmen zur Entwicklung der Investitionskosten seit 2012 verändert haben könnten. Der Ausbau von geothermischen Kraftwerken ist in Deutschland bisher nicht richtig vorangekommen, hier wurde im Studienvergleich 2012 eine große Unsicherheit hinsichtlich der Investitionskosten festgestellt. Eine Aktualisierung soll klären, ob und wie sich das inzwischen verändert hat.

Wasserkraft- und Bioenergieanlagen spielen natürlich auch eine wichtige Rolle in der Energiewende. Sie werden jedoch aus Kapazitätsgründen nicht betrachtet. Bei den Bioenergieanlagen kommt eine hohe technologische Vielfalt hinzu, sie weisen entsprechend unterschiedliche Kostenstrukturen auf. Der Neubau von Kohlekraftwerken steht in Deutschland angesichts von Überkapazitäten und den Klimaschutzziele aus heutiger Sicht nicht mehr ernsthaft zur Diskussion und der Einsatz der CCS-Technik in fossilen Kraftwerken kann als an einer sehr geringen Akzeptanz gescheitert betrachtet werden. Gleichzeitig spielen die Initiativen zur Errichtung von solarthermischen Kraftwerken in Nordafrika für den Stromimport nach Mitteleuropa in der momentanen Diskussion um die Energiewende in Deutschland keine große Rolle, so dass von einer Aktualisierung der Daten aus 2012 abgesehen wird.

Zusätzlich untersucht werden hingegen mehrere Speicher- und Wärmeversorgungstechnologien. Angesichts des fortgeschrittenen Ausbaus der Stromerzeugung aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien und des mangelnden Fortschritts bei der Energiewende im Wärme- und Verkehrssektor rücken nämlich zunehmend Fragen nach den Kosten von Energiespeichern, Technologien zur Wärmeversorgung bzw. zur Kopplung von Strom-, Wärme- und Verkehrssektor in den Vordergrund. Sie sollen den Klimaschutz in den Bereichen Wärme und Verkehr vorantreiben und möglichst auch noch Flexibilität für den Stromsektor bereitstellen.

Ergebnisse

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die sich mit den Kosten der Energieversorgung bzw. der Frage einer möglichst kostengünstigen Transformation des Energiesystems beschäftigen. Dabei stellt die Ermittlung der Investitionskosten in den wenigsten Fällen ein Hauptgegenstand der Studien dar. Im Vordergrund steht meistens die Systemanalyse von Szenarien, die auf eine Treibhausgasreduktion in Deutschland um mindestens 80 Prozent bis 2050 zielen oder ein weitgehend auf Erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem modellieren. Die Entwicklung von Investitionskosten wird dabei jeweils mit unterschiedlicher inhaltlicher Tiefe einbezogen und auch sehr uneinheitlich dokumentiert.

Die Investitionskosten für die unterschiedlichen Technologien und ihre Entwicklung gehen häufig als eine Variable in die Modelle mit ein. Meist finden sich nur wenige Angaben zu den zugrunde gelegten Annahmen und Quellen für die Investitionskosten. Viele Studien beziehen sich auf Literaturangaben und ergänzen sie gegebenenfalls durch eigene Abschätzungen, teilweise auch mithilfe von Experteninterviews. Selten wird angegeben, aus welchen Bestandteilen sich die Investitionskosten zusammensetzen. Beispielsweise ist in vielen Fällen nicht transparent, ob die Angaben nur die reinen Beschaffungskosten der Anlagen umfassen, oder ob Kapital-, Installations- oder weitere Systemkosten einbezogen sind. Teilweise werden verschiedene Technologien unter einem Sammelbegriff zusammengefasst betrachtet (z.B. „Batterien“), teilweise wird stärker nach Technologien und Anlagengrößen differenziert. Auch das Bezugsjahr der Daten ist häufig nicht eindeutig dokumentiert.

Selbst starke Abweichungen bei den Aussagen verschiedener Studien können eine einfache Begründung haben, auch wenn sich diese teilweise nur vermuten lässt und nicht explizit erläutert wird. Bei der Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse ist daher zu beachten, dass die in verschiedenen Studien gefundenen Angaben häufig nur eingeschränkt vergleichbar sind. Zusätzlich sei darauf hingewiesen, dass die hier betrachteten spezifischen Investitionskosten bezogen auf die installierte Leistung nur ein Bestandteil der Gesamtkosten für die Strom- oder Wärmeerzeugung bzw. Energiespeicherung und untereinander nicht direkt vergleichbar sind.

Es lassen sich allerdings einige Tendenzen feststellen und beschreiben. Dabei gilt: Je ausgereifter eine Technologie ist (z.B. GuD-Kraftwerke, Gasturbinen), desto kleiner ist die Bandbreite der in den verschiedenen Studien gefundenen Angaben zu den Investitionskosten und desto stabiler die Annahmen für die Kostenentwicklung in der Zukunft. Je neuer eine Technologie ist (z.B. Offshore-Wind), desto größer die Bandbreite bei den Kostenangaben in Gegenwart und Zukunft und desto größer die Erwartungen an die durch technologischen Fortschritt und Skaleneffekte erzielbaren Kostensenkungen.

Offshore-Windenergie

Die Nutzung der Windenergie auf See (Offshore) ist im Vergleich zur Nutzung der Windenergie an Land (Onshore) eine verhältnismäßig neue Form der Stromerzeugung. Die Offshore-Windenergie stellt zum Beispiel neue Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb der Anlagen sowie die Anbindung an das Stromnetz. Daher liegen die Investitionskosten aktuell deutlich höher als bei der Windenergie an Land. Die in den untersuchten Studien angegebenen Werte weisen für den Zeitraum 2010 bis 2015 eine Bandbreite von rund 3.000 bis 4.400 Euro pro Kilowatt (€/kW) auf. Für die Zukunft gehen die meisten Studien aufgrund von Lernkurven- und Skaleneffekten von stark sinkenden Investitionskosten aus. Für das Jahr 2050 wird in den meisten Studien mit Investitionskosten im Bereich von 1.500 bis 2.800 €/kW gerechnet. Trotz der angenommenen Kostenreduktion liegen die Werte damit immer noch höher als bei der Windenergie an Land.

Auffällig sind die flache Lernkurve in der Untersuchung des Reiner Lemoine Instituts (2015) und die enorme Bandbreite in der Studie von Acatech/Leopoldina/Akademienunion (2015) für das Jahr 2050. In der RLI-Studie wird für die Zukunft von zunehmend schwieriger zu erschließenden küstenfernen Standorten ausgegangen, was durch Lerneffekte erzielte Kostensenkungen teilweise kompensiert.

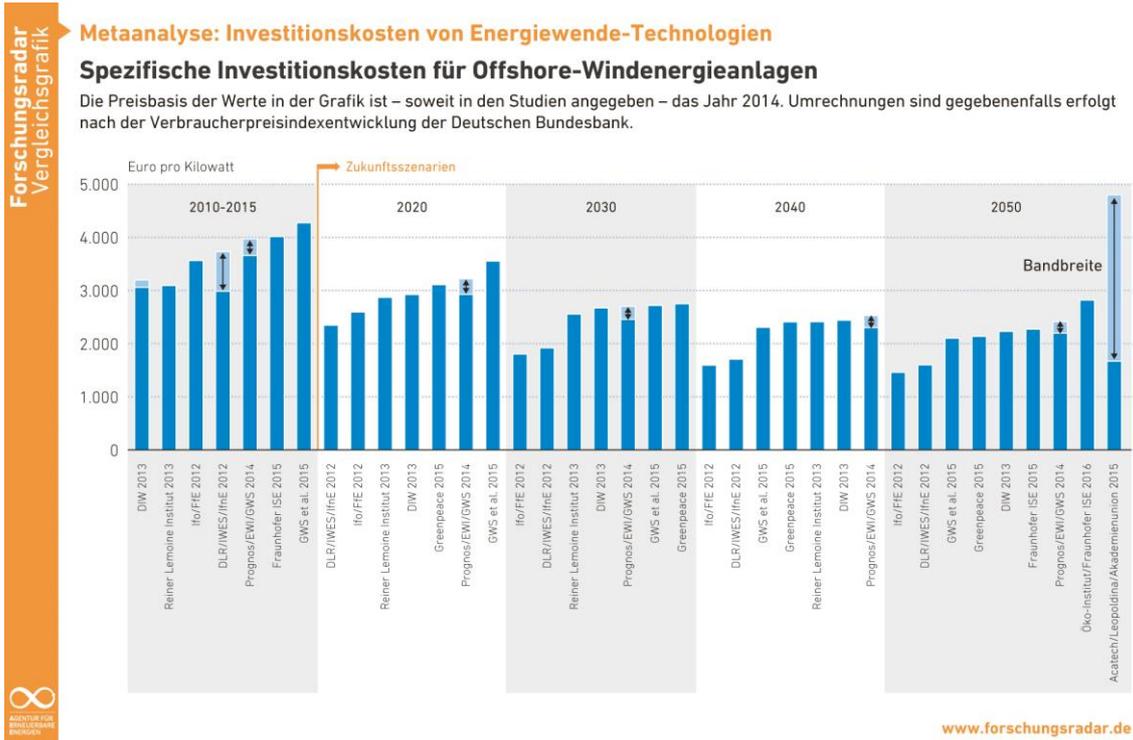


Abb. 1: Investitionskosten für Offshore-Windenergieanlagen

Windenergie an Land

Die Windenergie an Land spielt in den Zukunftsszenarien aller Studien eine tragende Rolle für die Energieversorgung in Deutschland. Es wird auf das weiterhin vorhandene große Ausbaupotenzial und technische Entwicklungspotenziale hingewiesen, zum Beispiel durch neue Materialien für Rotorblätter und Tragstrukturen. Auch die Entwicklung von Fertigungsverfahren für Großanlagen in Kleinserie mit Teilautomatisierung wird als Kostenreduktionsfaktor angegeben. Da Windenergieanlagen allerdings schon seit mehr als zwei Jahrzehnten in erheblichen Stückzahlen produziert werden, verlaufen die Annahmen zu weiteren Kostensenkungen relativ flach. Die heutigen Investitionskosten werden mit einer Bandbreite von rund 1.100 bis 1.500 €/kW angegeben und sinken den Erwartungen zufolge künftig auf 1.000 bis 1.200 Euro. Auffällig ist die große Bandbreite in der Studie von Acatech et al. 2015 in Höhe von 410 €/kW für das Jahr 2050.

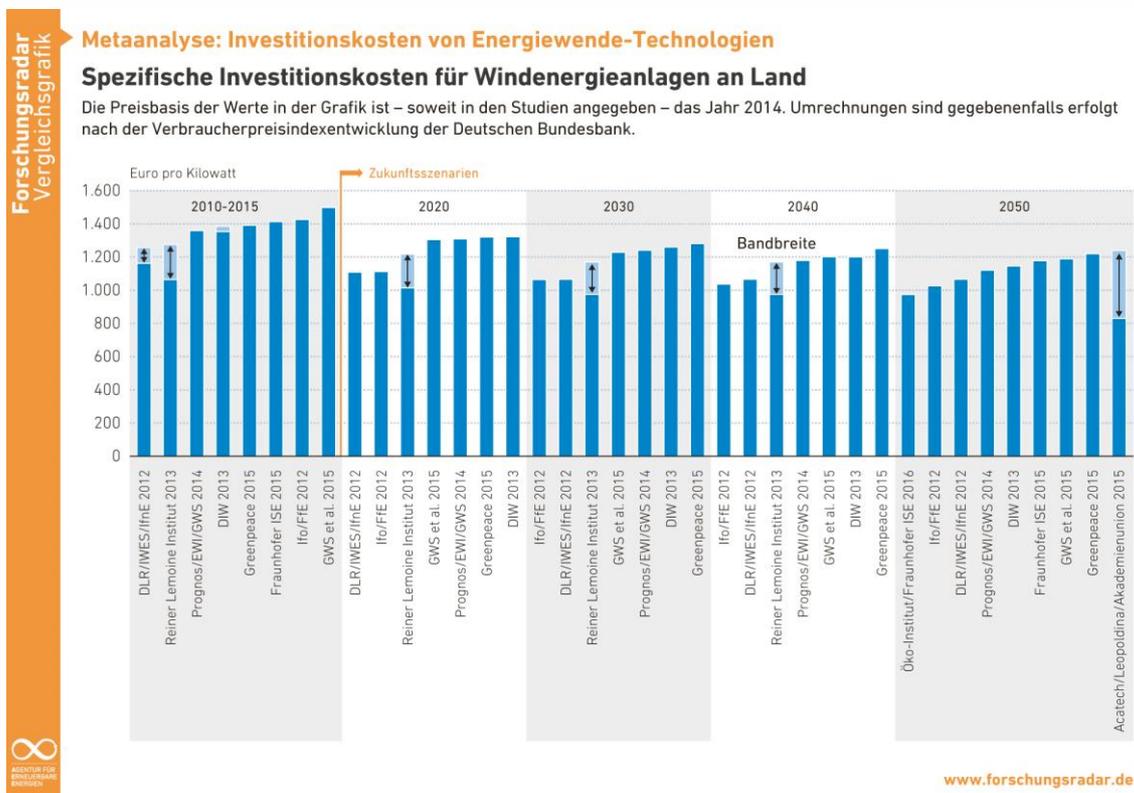


Abb. 2: Investitionskosten für Windenergieanlagen an Land

Photovoltaik

Die angenommene Entwicklung der Investitionskosten von Photovoltaikanlagen weist in den betrachteten Studien eine größere Varianz auf als bei der Windenergie. Vor allem bei der Höhe der aktuellen Investitionskosten gibt es starke Unterschiede. Das liegt unter anderem an der in den vergangenen Jahren erzielten Kostenreduktion, wodurch ältere Studien teils deutlich höhere Kosten angeben.

Für das Jahr 2050 wird eine Reduktion der Investitionskosten um mindestens die Hälfte angenommen, in mehreren Studien sinken die Werte im Betrachtungszeitraum sogar um etwa zwei Drittel. Die erwarteten Kostensenkungen fallen damit bei der Photovoltaik höher aus als bei anderen Technologien zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Die große Bandbreite innerhalb einzelner Studien ergibt sich meist aus der differenzierten Betrachtung von Dach- und Freiflächenanlagen.

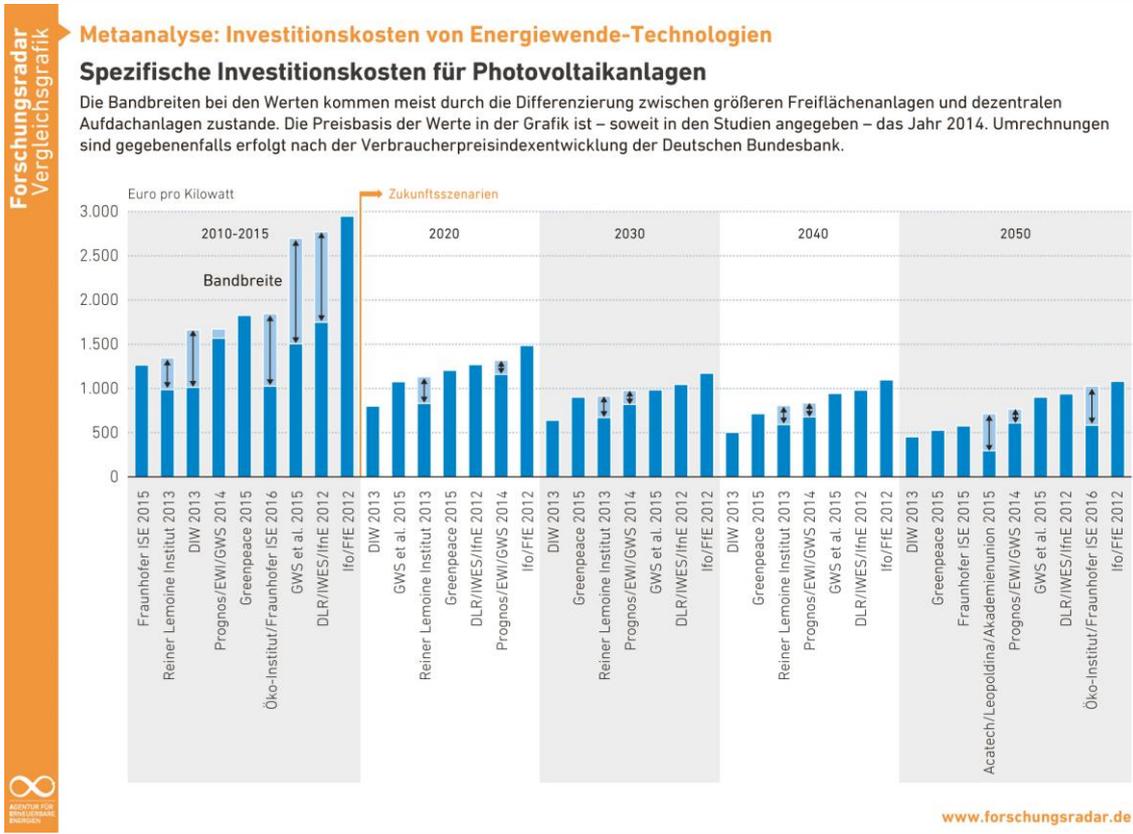


Abb. 3: Investitionskosten für Photovoltaikanlagen

Tiefengeothermie

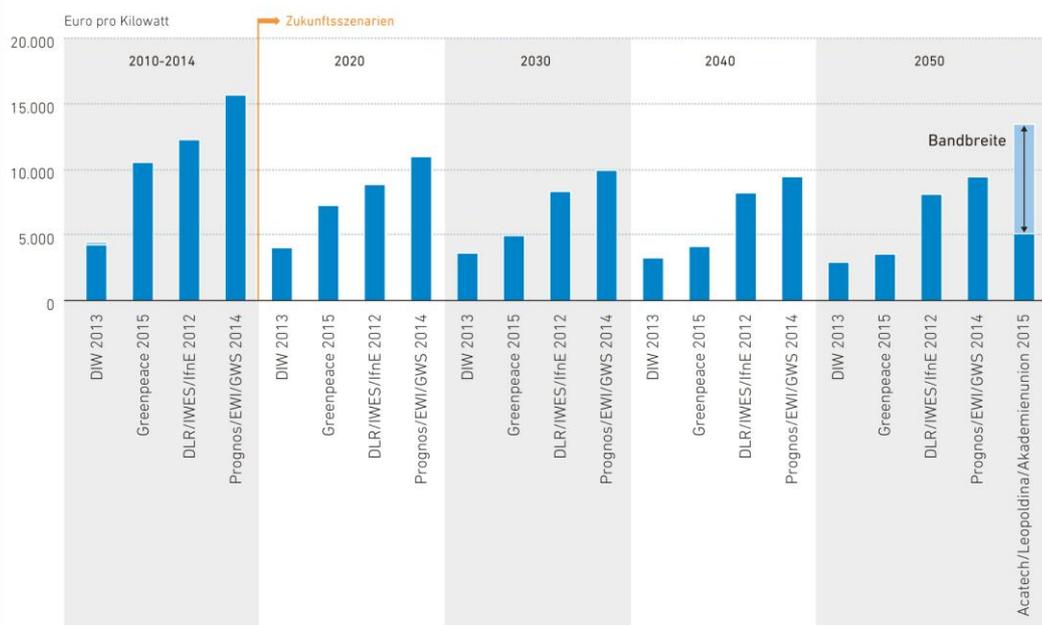
Die in den verglichenen Studien angegebenen Investitionskosten für die Strom- und Wärmeerzeugung in tiefengeothermischen Anlagen (mindestens 400m tiefe Bohrungen) liefern kein einheitliches Bild. Sowohl die Angaben zur aktuellen Höhe als auch die erwarteten Kostenreduktionen variieren stark. Die Annahmen von DIW (2013) und Prognos/EWI/GWS (2014) zu den aktuellen Investitionskosten liegen mehr als 10.000 €/kW auseinander. Während Greenpeace (2015) für 2050 nur noch mit einem Drittel der heutigen Kosten rechnet, wird in der Studie des DIW lediglich eine Verringerung um rund 30 Prozent angenommen.

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

Spezifische Investitionskosten für Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Tiefengeothermie

Die Preisbasis der Werte in der Grafik ist – soweit in den Studien angegeben – das Jahr 2014. Umrechnungen sind gegebenenfalls erfolgt nach der Verbraucherpreisindexentwicklung der Deutschen Bundesbank.



www.forschungsradar.de

Abb. 4 Investitionskosten der Tiefengeothermie

Solarthermie

Für die Solarthermie konnten auffallend wenige Studien gefunden werden, die Angaben zu den Investitionskosten und ihrer künftigen Entwicklung beinhalten. Die Studien, die entsprechende Werte für solarthermische Anlagen nennen, weisen eine große Bandbreite von rund 400 bis 800 Euro pro Quadratmeter Kollektorfläche (€/m²) im Zeitraum 2010-2013 und 100 bis 300 €/m² im Jahr 2050 aus.

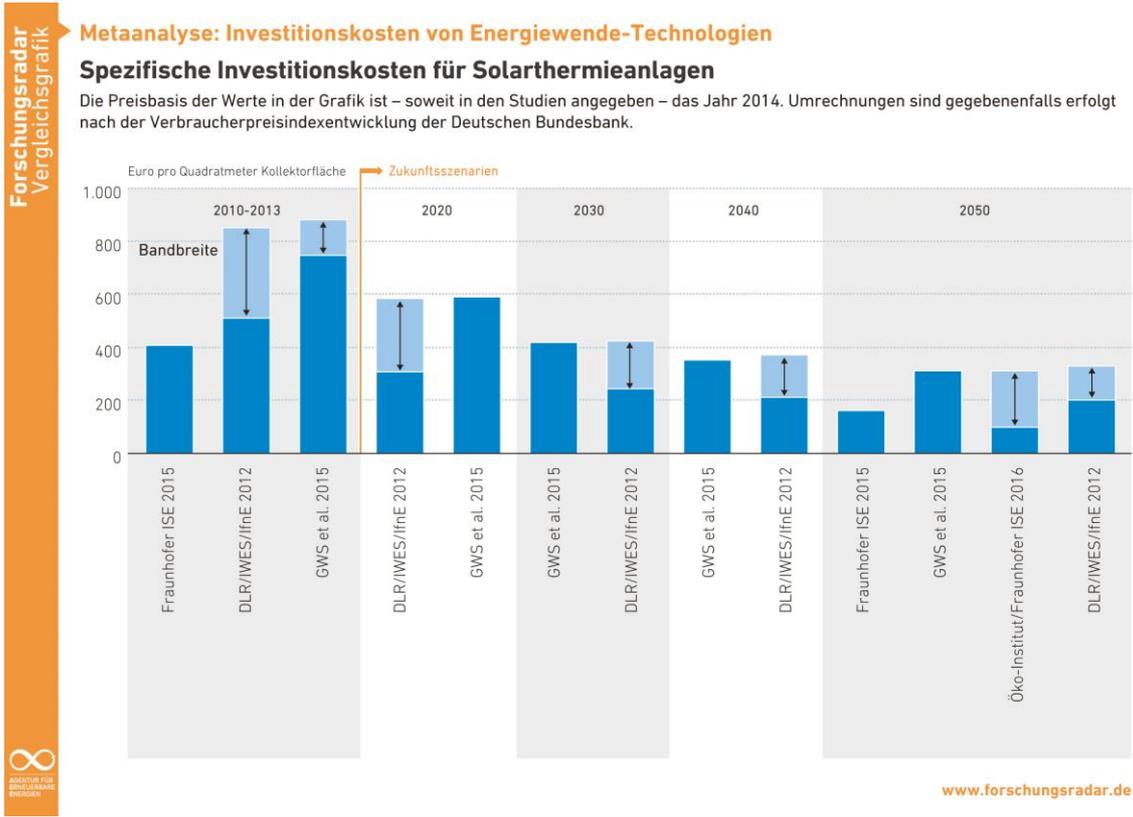


Abb. 5: Investitionskosten für Solarthermie-Anlagen

Wärmepumpen

Bei der Wärmeversorgung kommen bereits heute zunehmend Wärmepumpen zum Einsatz, die mithilfe von elektrischem Strom Wärme bereitstellen. Sie stellen in den meisten Studien ein wichtiges Bindeglied zwischen Strom- und Wärmesektor dar, werden teilweise als „Schlüsseltechnologie“ der Energiewende im Wärmebereich betrachtet (z.B. Fraunhofer ISE 2015).

Die für die Metaanalyse untersuchten Studien nehmen für die Investitionskosten von Wärmepumpen überwiegend eine Kostenreduktion um rund 20 bis 30 Prozent bis 2050 gegenüber aktuellen Werten an. Die Studien von Prognos et al. (2014) und Fraunhofer IWES et al. (2015) geben für 2050 wesentlich höhere Investitionskosten an als die übrigen Studien. Dies ist mit dem Einbezug von Heizflächen und Schornsteinen in die Investitionskosten (Prognos et al.) und mit zusätzlichen Angaben zu Großwärmepumpen (Fraunhofer IWES) zu erklären. Die Bandbreiten bei den Investitionskosten beruhen zum einen auf den Unterschieden zwischen Luft- und Erdwärmepumpen, zudem erklären Öko-Institut/Fraunhofer ISE (2016) die breite Kostenspanne mit der Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten (u.a. Bebauungsdichte, Grundwasservorkommen, Bodenbeschaffenheit).

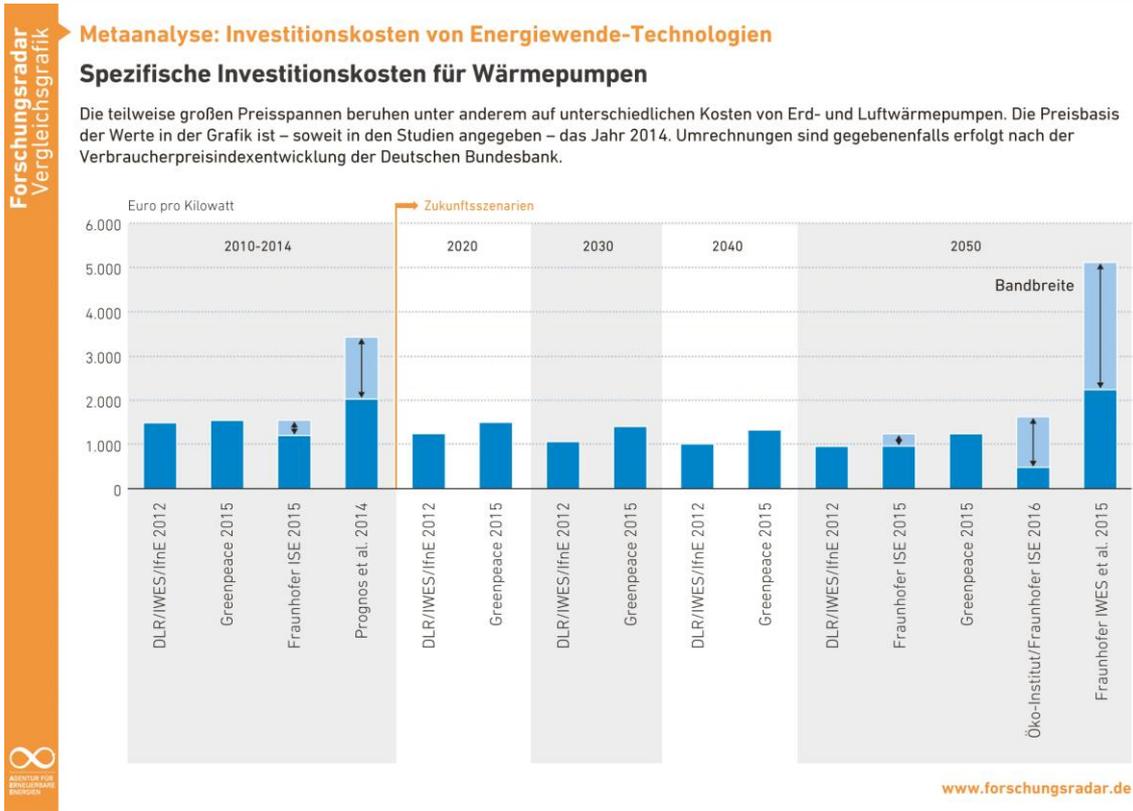


Abb. 6: Investitionskosten für Wärmepumpen

Batterien

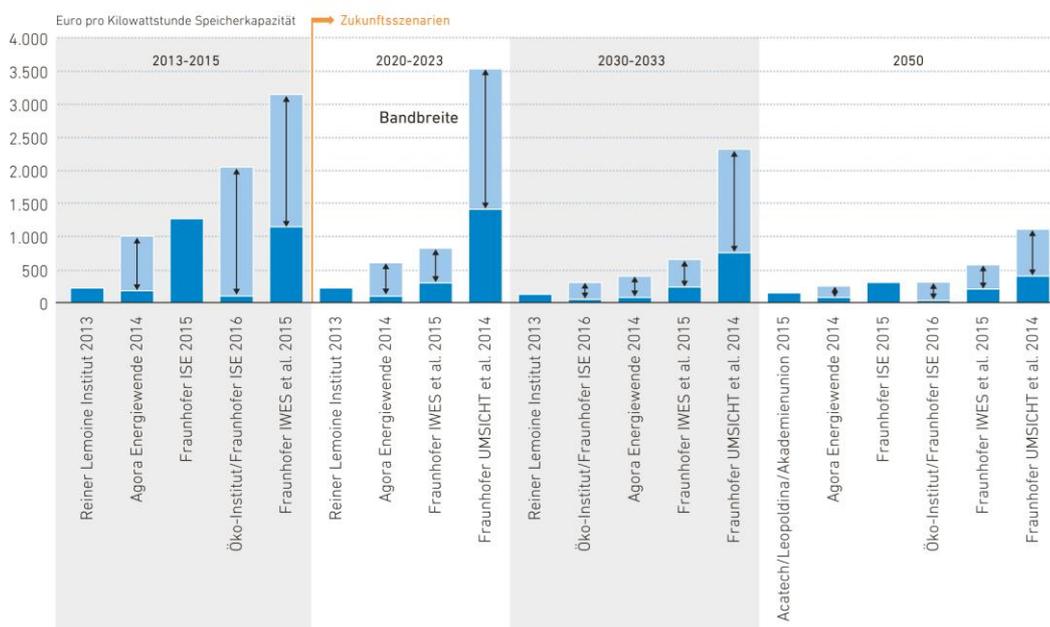
Bei Batteriespeichern gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme (u.a. Blei-Säure-Batterien, Lithium-Batterien, Natrium-Schwefel-Batterien), die mit sehr unterschiedlichen Investitionskosten und Kostenreduktionspotenzialen verbunden sind. Batterien sind dabei sowohl als Großspeicher zur Stabilisierung des Stromnetzes vorgesehen, als auch mit kleineren Speicherkapazitäten in Elektroautos oder Wohnhäusern. Studienübergreifend wird vor allem in den kommenden fünf bis acht Jahren eine starke Reduktion der Investitionskosten angenommen. Fraunhofer IWES et al. (2015) erwarten für diesen Zeitraum eine Reduktion von bis zu 70 Prozent. Es wird dabei mit erheblichen Economy-of-Scale-Effekten durch eine massiv gesteigerte Produktion gerechnet. Ein wesentlicher Faktor ist hier der erwartete Einsatz von Batteriespeichern in der Elektromobilität. In den darauffolgenden Dekaden fallen die Erwartungen an die weitere Reduktion der Investitionskosten geringer aus. Die große Bandbreite bei den Investitionskosten ergibt sich aus den unterschiedlichen Batterietypen. Agora Energiewende (2014) erklärt beispielsweise die angegebenen Bandbreiten damit, dass nicht für alle Batterietechnologien mit Kostensenkungen durch eine flächendeckende Anwendung (Economy-of-Scale)-Effekten zu rechnen sei.

Forschungsradar Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

Spezifische Investitionskosten für Batterien

Die teilweise sehr großen Preisspannen kommen vor allem durch unterschiedliche Batterietechnologien zustande (Blei-Säure, Lithium-Ionen, Redox-Flow, Natrium-Schwefel). Die Preisbasis der Werte in der Grafik ist – soweit in den Studien angegeben – das Jahr 2014. Umrechnungen sind gegebenenfalls erfolgt nach der Verbraucherpreisindexentwicklung der Deutschen Bundesbank.



www.forschungsradar.de

Abb. 7: Investitionskosten für Batterien

Elektrolyse / Methanisierung (Power to Gas)

Elektrolyse- und Methanisierungsanlagen wandeln elektrischen Strom in chemische Energieträger (Wasserstoff, Methan) um. Sie dienen der Energiespeicherung und gelten als künftige Schlüsseltechnologien der Energiewende, da bisher keine andere Möglichkeit zur Verfügung steht, um größere Strommengen über einen längeren Zeitraum zu speichern. Bei der Elektrolyse wird Wasserstoff erzeugt, der in weiteren Prozessen zu synthetischem Methan (auch EE-Methan genannt) verarbeitet werden kann. Wasserstoff und Methan können gespeichert und als Energieträger in unterschiedlichen Sektoren verwendet werden: in der Stromerzeugung (durch Rückverstromung), im Verkehr (z.B. in Brennstoffzellen-Pkw und Gasmotoren), für die Bereitstellung von Prozesswärme sowie als chemischer Grundstoff in der Industrie. Die Herstellungsverfahren für strombasierte Kraftstoffe befinden sich aktuell noch in einer frühen Phase der Erforschung und Entwicklung. Sie sind mit einem hohen technischen Aufwand, einem erheblichen Energieeinsatz und hohen Kosten verbunden. Die meisten Szenarien sehen den Einsatz von Elektrolyseuren und Methanisierungsanlagen daher erst ab ca. 2030.

Den Erwartungen der meisten Studien zufolge werden die Investitionskosten für Elektrolysesysteme bis 2050 um über 60 Prozent fallen, große Kostensenkungen werden bereits bis 2023 erwartet. Die Annahmen zu den aktuellen Investitionskosten schwanken zwischen rund 800 und 3.000 €/kW und für 2050 bewegen sich die Erwartungen auf Werte zwischen rund 200 und 600 €/kW. Die Bandbreite der Angaben erklärt sich aus der Unsicherheit über die gegenwärtigen Investitionskosten und das weitere technologische Potenzial.

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

Spezifische Investitionskosten für Elektrolyseanlagen bzw. Wasserstoffspeicherung

Die Werte beinhalten teilweise unterschiedliche Komponenten von Wasserstoffspeichersystemen, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Während sich die Werte bei DLR/IWES/IfnE und RLI sowie der untere Rand der Preisspanne bei Öko-Institut/Fraunhofer ISE 2016 und Fraunhofer ISE 2015 nur auf die Elektrolyseure beziehen, stellen die Werte von Acatech/Leopoldina/Akademienunion und OTH/FENES/Energy Brainpool die Kosten von Speichersystemen dar. Fraunhofer UMSICHT et al. und Agora Energiewende beziehen sich auf Langzeitspeicher. Die Preisbasis der Werte in der Grafik ist – soweit in den Studien angegeben – das Jahr 2014. Umrechnungen sind gegebenenfalls erfolgt nach der Verbraucherpreisindexentwicklung der Deutschen Bundesbank.

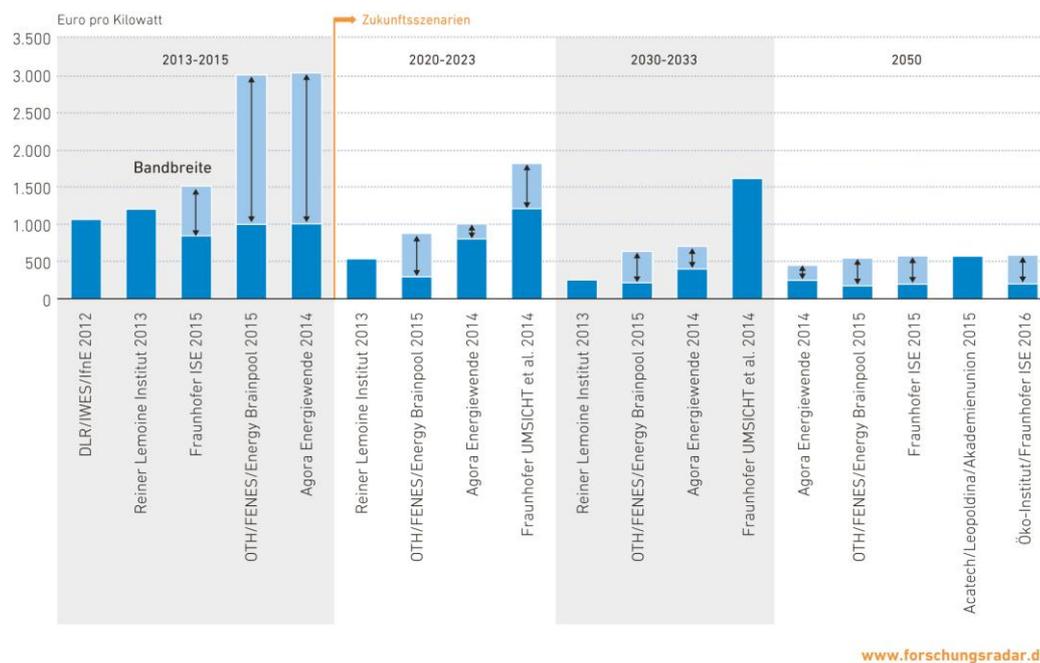


Abb. 9: Investitionskosten für Elektrolyseanlagen bzw. Wasserstoffspeicherung

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

Auch für die Methanisierung werden bereits bis 2023 deutliche Skalen- und Lernkurveneffekte erwartet. OTH/FENES/Energy Brainpool (2015) begründen die von ihnen angenommene Kostendegression mit ähnlichen Lerneffekten, Effizienzgewinnen, Skaleneffekten und Innovationen wie bei der Photovoltaik. Bandbreiten werden dabei mit unterschiedlichen Ausbaupfaden erklärt.

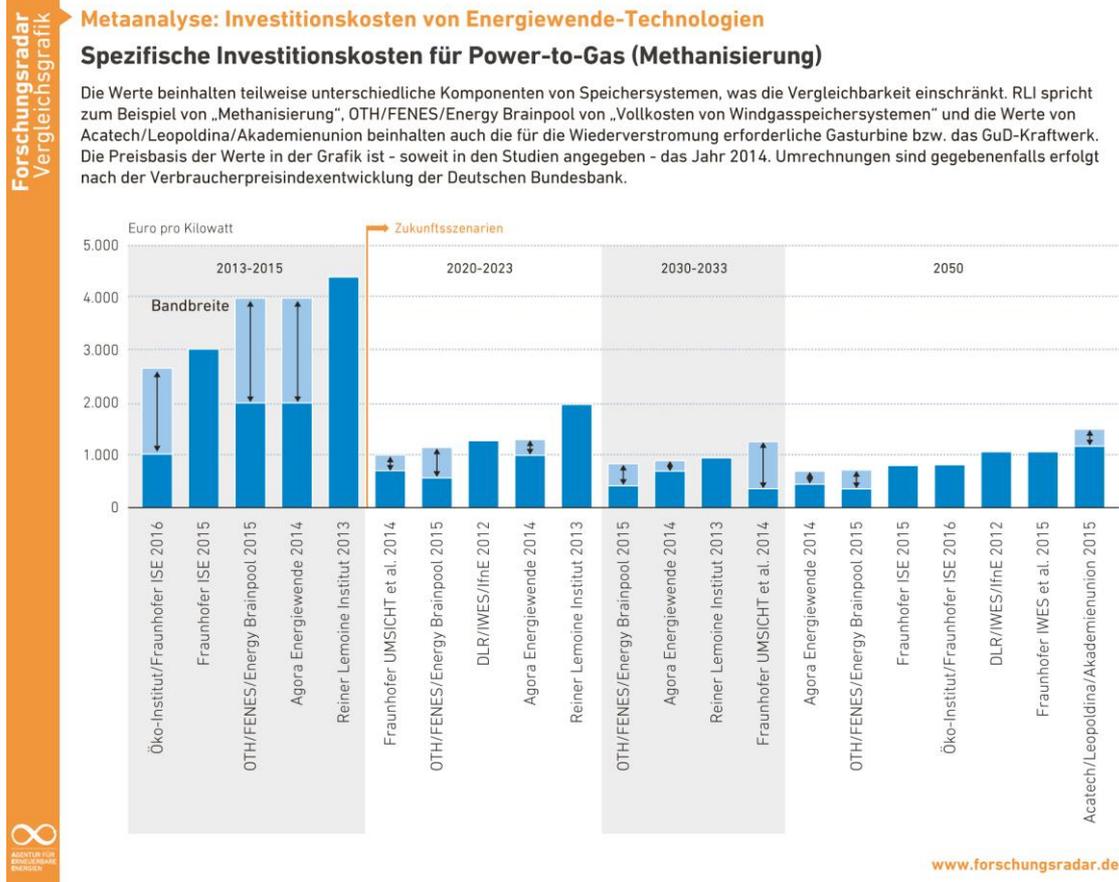


Abb. 8: Investitionskosten für die Methanisierung

Gas- und Dampfturbinenkraftwerke und Gasturbinen

Bei Gaskraftwerken handelt es sich um technisch ausgereifte Anlagentechnik. Wie bereits im Studienvergleich aus dem Jahr 2012 rechnen die ausgewerteten Veröffentlichungen mit einer Stagnation der Investitionskosten. Die Bandbreite der angegebenen Werte fällt bei beiden Gaskraftwerken wesentlich geringer aus als bei allen übrigen betrachteten Technologien.

Die künftige Entwicklung der Stromgestehungskosten von Gaskraftwerken wird also nicht von den Investitionskosten beeinflusst, sondern von anderen Faktoren wie dem eingesetzten Energieträger (Erdgas, Biogas, Biomethan, EE-Gas), den Kosten für CO₂-Zertifikate und der Auslastung.

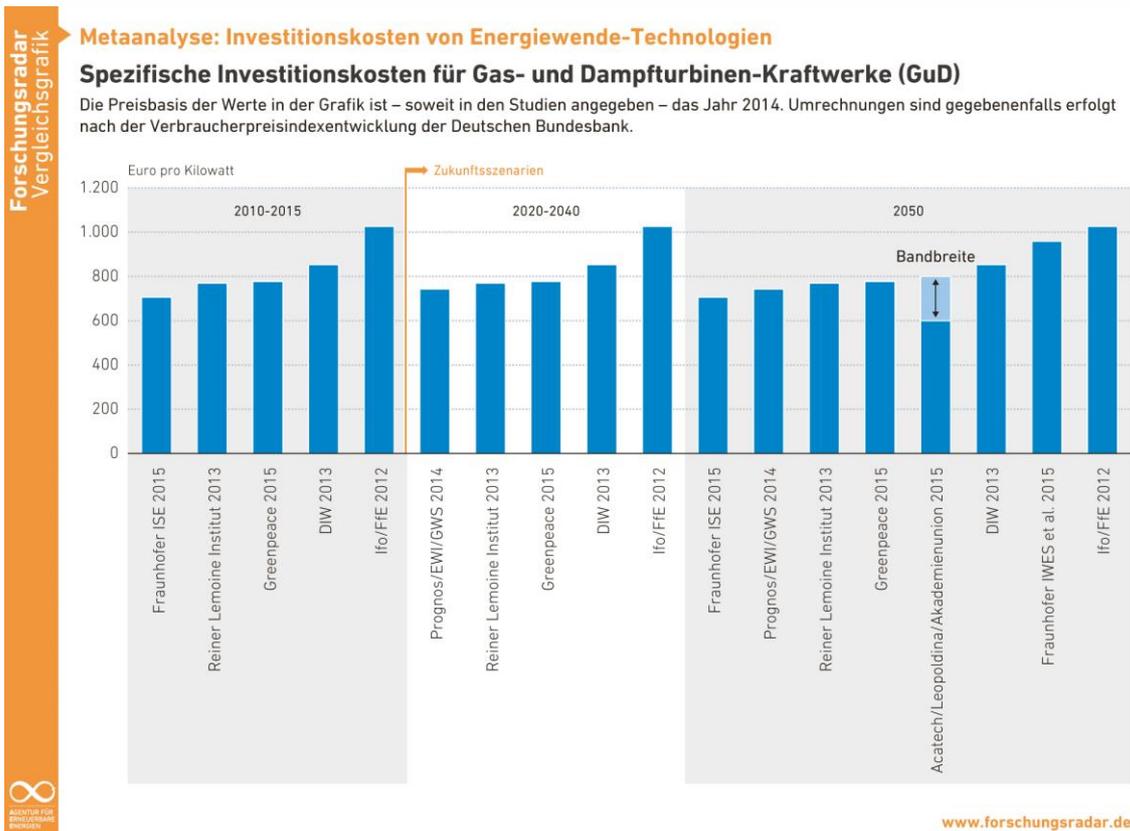


Abb. 10: Investitionskosten für GuD-Kraftwerke

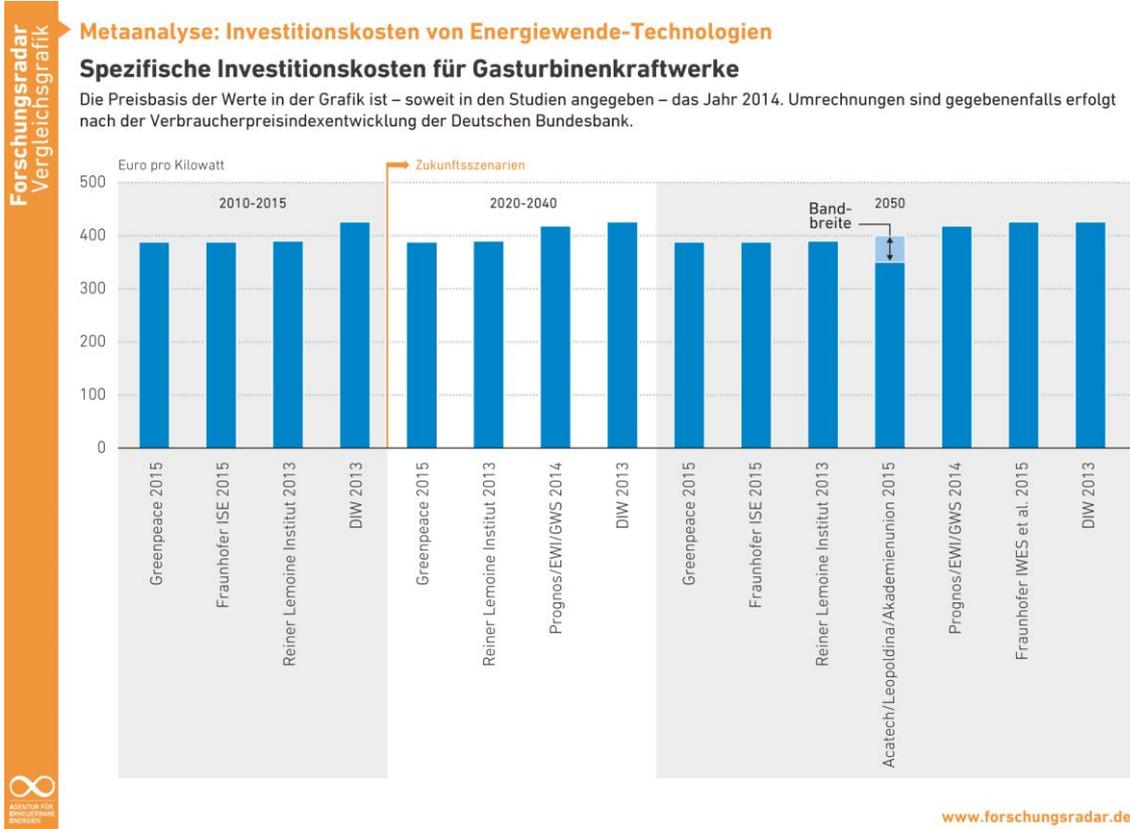


Abb. 11: Investitionskosten für Gasturbinen

Schlussfolgerungen und Ausblick

Für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien liegt mittlerweile ein Datenbestand vor, der eindeutige Trends in der Entwicklung der Investitionskosten erkennen lässt. Für alle Stromerzeugungstechnologien auf Basis Erneuerbarer Energien werden für die Zukunft noch Kostensenkungspotenziale angenommen, insbesondere bei der Offshore-Windenergie und der Photovoltaik. Bei Technologien, die noch am Anfang ihrer Entwicklung und der breiten Anwendung stehen (z.B. Speicher- und Umwandlungstechnologien wie Methanisierung), gehen die Annahmen zu den Investitionskosten relativ weit auseinander. Sehr unterschiedliche Schätzungen gibt es zur Tiefengeothermie. Interessanterweise konnten nur sehr wenige Studien mit Angaben zur Solarthermie gefunden werden und diese weisen eine große Bandbreite bei den Investitionskosten auf.

Zusammengenommen wird deutlich, dass es noch Forschungsbedarf zu den Kosten und Kostensenkungspotenzialen gibt, insbesondere für solche Technologien, die sich noch in der Pilot- und Demonstrationsphase befinden und erst in den kommenden Jahren stärker ausgebaut werden. Die Erfahrungen mit der Photovoltaik zeigen, dass Kostenreduktionen unter Umständen deutlich schneller realisiert werden können als ursprünglich angenommen.

Ein großes Verbesserungspotenzial besteht vielfach hinsichtlich der transparenten Dokumentation der getroffenen Annahmen und der Vorgehensweise. Nur in wenigen Studien werden die unterstellten Kosten der verschiedenen Energietechnologien näher erläutert.

Ausgewertete Literatur und Erläuterungen

Die dargestellten Werte zur Entwicklung der Investitionskosten stammen aus folgenden 15 Studien.

- ▶ [Acatech/Leopoldina/Wissenschaftsunion \(Hrsg.\) \(2015\): Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge](#)

Ziel der Studie ist es, verschiedene Möglichkeiten aufzuzeigen, wie das Stromsystem der Zukunft bei hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien ausgestaltet werden kann, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Untersucht werden verschiedene Kombinationen von Erzeugungstechnologien und Flexibilitätsoptionen im Hinblick auf die Kosten des Systems, den Klimaschutzeffekt und Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz.

Die durchgeführten Modellrechnungen sollen Orientierung liefern, welche Weichenstellungen notwendig sind, um die für das Jahr 2050 gesteckten Ziele zu erreichen. Für acht ausgewählte aktuelle Energieszenarien werden durch eigene Modellierungen möglichst kostengünstige Portfolios an Flexibilitätstechnologien zusammengestellt, welche den Strombedarf zu jeder Stunde des Jahres abdecken können. Zusätzlich werden 16 unterschiedliche Parametersätze für Rahmenbedingungen kombiniert. Im Ergebnis werden Power-to-Heat, flexibel einsetzbare Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) mit ganzjährigem Wärmebedarf (industrielle KWK) und Demand-Side-Management (DSM) als robuste und kostengünstige Flexibilitätsoptionen bewertet. Gaskraftwerke, die mit Erdgas, Biogas oder Wasserstoff betrieben werden, spielen in allen Szenarien für die Stromversorgung 2050 eine zentrale Rolle.

In zehn begleitenden Fachgruppen wurden Technologiekosten als Parameter für die Modellrechnungen festgelegt. Sie beruhen auf der Annahme, dass bei allen Technologien außer Gaskraftwerken durch kontinuierliche technische Weiterentwicklung und Skaleneffekte Kostensenkungen erzielt werden können.

► [Agora Energiewende \(2014\): Stromspeicher in der Energiewende](#)

Die Studie untersucht den Bedarf an Stromspeichern für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien bis zu einem Anteil an der Stromerzeugung von 90 Prozent. Es geht um die Frage, welche neuen Speicher in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt benötigt werden. Schwerpunkte der Analyse bilden die Gesamtkosten des Stromsystems und die Bedeutung von Stromspeichern im Verteil- und Übertragungsnetz, für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen sowie die Wechselwirkungen von Speichern mit dem Netzausbau und anderen Flexibilitätsoptionen.

Ein zentrales Ergebnis lautet, dass viele andere Flexibilitätsoptionen in den nächsten Jahren kostengünstiger seien als neue Stromspeicher. Neue Stromspeicher würden erst bei hohen Anteilen Erneuerbarer Energien benötigt (ab ca. 60 Prozent). Das Szenario mit 90 Prozent Erneuerbaren Energien zeige Kostenreduktionen bei zehn Gigawatt zusätzlichen Stromspeichern. Wie viele und welche Stromspeicher sich als optimal erweisen würden, hänge davon ab, wie sich ihre Kosten entwickelten, wie gut andere Flexibilitätsoptionen erschlossen würden und wie der Ausbau der Erneuerbaren Energien fortschreite.

Die Investitionskosten für Batteriespeicher werden der Literatur- und Technologiestudie der RWTH Aachen entnommen, während die Investitionskosten für Power-to-Gas-Technologien auf Marktanalysen und Expertenbefragungen beruhen. Für Batterien, Elektrolyse und Methanisierung werden bis 2050 sinkende Investitionskosten erwartet. Die große Bandbreite bei den angegebenen Batteriekosten hängt vor allem mit den unterschiedlichen Batteriesystemen zusammen. Es wird davon ausgegangen, dass nicht alle Batteriespeicher eine starke Kostenreduktion erfahren werden.

► [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung \(DIW\) \(2013\): Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050](#)

Die in Zusammenarbeit mit dem Reiner Lemoine Institut und der TU Berlin erstellte Studie des DIW, stellt eine Metaanalyse zu aktuellen und für die Zukunft erwarteten Kosten verschiedener Stromerzeugungstechnologien bis 2050 für den europäischen Raum dar. Es werden diverse Studien zum Thema Stromerzeugungskosten in Europa ausgewertet und „repräsentative Werte“ als Datendokumentation abgeleitet. Die Investitionskosten umfassen dabei „greenfield“ und „overnight“ cost: Sie enthalten die Kosten für Beschaffung und Installation der Anlagen („EPC – engineering, procurement and construction cost“), ohne die Kosten für Finanzierung, Infrastruktur, Planung, Genehmigung und Rückbau der Anlagen.

Für die einzelnen Technologien werden spezifische Kostensenkungsraten ermittelt, die den technologischen Fortschritt und die Entwicklung verschiedener Kostenfaktoren bis 2050 simulieren. Sie hängen entscheidend davon ab, wie ausgereift die Technologien bereits sind. Daher geht die Studie im Ergebnis bei den konventionellen Technologien von keinen oder nur geringen Kostensenkungspotenzialen durch Effizienzverbesserungen aus. Die größten Kostensenkungen im Zeitraum 2010 bis 2050 werden für die Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke erwartet, gefolgt von Gezeitenkraftwerken und Geothermie. Im Vergleich mit den anderen untersuchten Studien sind die angegebenen Investitionskosten für Photovoltaik gering. Der Grund hierfür liegt darin, dass die zusammengetragenen Investitionskosten wegen des starken Preisrückganges im Zuge der Studie nach unten korrigiert wurden.

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

- ▶ [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt \(DLR\) / Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik \(IWES\) / Ingenieurbüro für neue Energien \(IfnE\) \(2012\): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global](#)

Die für das Bundesumweltministerium erarbeitete Studie beschäftigt sich ausführlich mit den gesamtwirtschaftlichen Effekten des Ausbaus Erneuerbarer Energien. In drei Hauptszenarien wird die notwendige Transformation in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr dargestellt, mit der der Treibhausgasausstoß bis 2050 mindestens um 80 Prozent sinken soll. Die Investitionskosten für neue Kraftwerke sind der Studie zufolge ein wesentlicher Baustein für die Ermittlung der systemanalytischen Differenzkosten zwischen einem Energieversorgungssystem mit hohen Anteilen Erneuerbarer Energien und einem fossil-nuklearen Vergleichssystem. Für die konventionellen Kraftwerke rechnen die Autoren bis 2050 nur mit einem geringen Kostensenkungspotenzial. Angaben zu den Investitionskosten von Speichertechnologien sind für die Elektrolyse und für die Methanisierung enthalten.

- ▶ [Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE \(2015\): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050](#)

Die modellbasierte Studie untersucht die kostenoptimale Transformation des deutschen Energiesystems unter Berücksichtigung aller Energieträger und Verbrauchssektoren in neun verschiedenen Transformationspfaden. Vorausgesetzt wird dabei eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes in Deutschland um mindestens 80 bis 90 Prozent im Vergleich zu 1990. Neun Szenarien unterscheiden sich in Bezug auf die CO₂-Zielwerte, den Beitrag der energetischen Gebäudesanierung, Antriebskonzepte im Bereich der Mobilität und den Zeitpunkt des Kohleausstiegs. Bei allen untersuchten Szenarien spielen Windenergie- und Photovoltaikanlagen eine Schlüsselrolle. Die Anpassung der Nachfrage gelingt in den Szenarien über Flexibilisierung des Verbrauchs und die zunehmende Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien in den Bereichen Wärme und Verkehr.

Die für die verschiedenen Technologien unterstellten Investitionskosten basieren auf vorhandener Literatur sowie Lernkurven, wobei für die Speichertechnologien zusätzlich Experten befragt wurden. Bei den konventionellen Kraftwerken wird von konstanten Investitionskosten ausgegangen, bei Windenergie, Photovoltaik, Wärmepumpen und den Speichertechnologien weitere Kostensenkungen erwartet. Besonders stark sinken die Investitionskosten im Zeitraum 2013 bis 2050 bei Batterien, bei der Herstellung von Wasserstoff bzw. Elektrolyse und bei der Methanisierung. Zudem fällt auf, dass die Investitionskosten für solarthermische Anlagen im Vergleich zu anderen Studien niedrig sind.

- ▶ [Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher \(FENES\) OTH Regensburg/Energy Brainpool \(2015\): Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland](#)

Im Auftrag von Greenpeace Energy untersuchen die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher der OTH Regensburg (FENES) und die Analysten von Energy Brainpool die Notwendigkeit und die wirtschaftlichen Auswirkungen von Windgas (das auf Basis von Windstrom durch Elektrolyse gewonnene Gas) in einem vollständig erneuerbaren Stromsystem. Die Modellierungen basieren auf dem von Energy Brainpool entwickelten Modell Power2Sim. Grundlage für die Berechnung des Großhandelsstrompreises im Modell ist die Zusammenführung der sich unter den Modellannahmen ergebenden Angebots- und Nachfragekurven. Die Autoren

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

beschäftigen sich mit der Frage, ab wann Windgas als Stromspeicher für die Versorgungssicherheit im Stromsystem erforderlich wird und wie sich die Technologiekosten entwickeln. Des Weiteren vergleichen sie die Windgastechologie mit anderen Flexibilitätsoptionen, erörtern Anwendungsmöglichkeiten außerhalb des Stromsektors und die daraus zu ziehenden Konsequenzen für die Markteinführung.

Es werden zwei Szenarien der Stromerzeugung analysiert, die eine nahezu 100 prozentige Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Jahr 2050 erreichen. Je nach Ausgestaltung des Stromsystems, Fortschritten beim Netzausbau, Steigerung der Energieeffizienz und Nutzung anderer Flexibilitätsoptionen würden Stromspeicher bzw. die Windgas-Technologie spätestens ab einem Anteil von 70 Prozent Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bzw. ab dem Jahr 2035 systemrelevant. Bis zum Jahr 2050 seien durch den Einsatz von Windgas Kostenvorteile von 12 bis 18 Mrd. € zu erwarten.

Die Investitionskosten für Windgas gehen in die Modellierung der zukünftigen Kostenentwicklung ein. Durch Unterstellung ähnlicher Lerneffekte, Effizienzgewinne, Skaleneffekte und Innovationen wie bei der Photovoltaik wird bei Windgas von einer vergleichbaren, drastischen Kostendegression ausgegangen.

► [Fraunhofer IWES / Fraunhofer UMSICHT \(2014\): Abschlussbericht Metastudie „Energiespeicher“](#)

Die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellte Metastudie wertet 68 wissenschaftliche Studien zu Stromspeichern und Power-to-Gas aus im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu unterschiedlichen Flexibilitätsoptionen. Der Lastausgleichsbedarf bewegt sich in den ausgewerteten Studien für die Jahre 2020 und 2030 meist zwischen 90 und 120 Gigawatt. Den Ergebnissen zufolge sind Speichersysteme für die Primärregelleistung und in Elektrofahrzeugen bereits heutzutage wirtschaftlich, während zukünftig insbesondere die Kombination aus Kleinbatterien, Großspeichern und negativer Sekundärregelleistung wirtschaftlich sei. Die Autoren betonen die Abhängigkeit der Ergebnisse von den impliziten Annahmen der untersuchten Studien.

► [Fraunhofer IWES / Fraunhofer IBP / IFEU / SUER \(2015\): Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr](#)

Auf Grundlage eines sektorenübergreifenden Optimierungsmodells für den Zubau verschiedener Energietechnologien wird ein Energieversorgungssystem für das Jahr 2050 modelliert, welches die Treibhausgasemissionen um 80 Prozent im Vergleich zu 1990 senken würde. Das Zielszenario ist so konzipiert, dass die Kosten der Energieversorgung (einschließlich der Investitionskosten) in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr minimiert werden. Im Ergebnis wird deutlich, dass eine kostenoptimale Nutzung von fluktuierenden Erneuerbaren Energien eine zunehmende Stromnutzung für Wärme und Verkehr erfordert. Hierbei stehen im Wärmebereich die Weiterentwicklung von Wärmepumpen und Elektrodenkesseln im Fokus, während im Verkehrssektor vor allem vollelektrische Pkws, Plug-In-Hybrid Fahrzeuge und Oberleitungs-Lkw zum Einsatz kommen. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse werden in der Studie für alle Sektoren politische Maßnahmen zur Entwicklung der jeweiligen Schlüsseltechnologien vorgeschlagen.

Die Investitionskosten für verschiedene Energietechnologien werden aus Literaturrecherchen und eigenen Annahmen zusammengestellt und gehen als Eingangsgrößen in die Modellierung eines kostenoptimierenden Ausbaus ein. Dabei ist nicht für alle Technologien angegeben, was die Investitionskosten konkret umfassen. Für die zukünftige Entwicklung wurde von „repräsentativen Lernkurven“ und einem kalkulatorischen Zinssatz von fünf Prozent ausgegangen. Mit Ausnahme

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

von Batterien sind die Investitionskosten für die jeweiligen Technologien lediglich für das Jahr 2050 angegeben.

► [Greenpeace \(2015\): Energy \[R\]evolution. A Sustainable World Energy Outlook 2015.](#)

In der Studie werden dem Referenzszenario der International Energy Agency (IEA) zwei globale Klimaschutzszenarien bis zum Jahr 2050 gegenübergestellt, um die Notwendigkeit weiterer klimapolitischer Maßnahmen zu verdeutlichen. Die Szenarien unterscheiden sich durch unterschiedlich ambitionierte Klimaschutzpfade (bis zu 100 Prozent Erneuerbare Energien im Advanced Energy Revolution Szenario) und basieren auf verschiedenen technologischen Entwicklungen. Im Ergebnis sinken die Stromgestehungskosten der beiden Energy Revolution Szenarien im Jahr 2030 fast auf die Werte im Referenzszenario und liegen im Jahr 2050 sogar deutlich darunter.

Die Annahmen für die Investitionskosten einzelner Technologien in der Region „OECD Europa“ werden auf Basis von Experteninterviews und einer Literaturlauswertung sowie auf Grundlage von Technologie-Lernkurven getroffen. In Anlehnung an die Prognosen der IEA („World Energy Outlook 2014“) wird von konstanten Investitionskosten der konventionellen Energien ausgegangen. Die Investitionskosten der Erneuerbaren Energien sinken hingegen deutlich im Zeitraum 2012 bis 2050.

► [Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH \(GWS\)/ Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung \(DIW\)/ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt \(DLR\), Prognos. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung \(ZSW\) \(2015\): Beschäftigung durch Erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen](#)

Im Rahmen eines mehrjährigen Forschungsprojekts zu den ökonomischen Wirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien haben die Autoren im Auftrag des BMWi die Beschäftigungseffekte durch Erneuerbare Energien unter Berücksichtigung des Anlagenexports analysiert. Im Ergebnis kommen die Autoren zu der Einschätzung, dass bis zum Jahr 2050 die positiven ökonomischen Effekte durch den Ausbau Erneuerbarer Energien überwiegen. Neben dem Bereich der Erneuerbaren Energien werden laut der Studie die Sektoren des Baugewerbes, des Einzelhandels und der Sektor für „Elektrizitätserzeugungsgeräte“ am meisten profitieren. Die zugrundegelegte Kostenstruktur für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien basiert zum großen Teil auf eigens erhobenen Unternehmensdaten.

Die spezifischen Investitionskosten werden in den Szenarien als exogen behandelt und basieren auf aktualisierten Werten der Studie DLR/IWES/IfnE (2012) Die zugrunde gelegten Investitionskosten für Offshore-Windenergie im Jahr 2012 sind im Vergleich zu anderen Studien relativ hoch, nehmen in den Folgejahren aber stark ab. Die Investitionskosten für Onshore-Windenergieanlagen liegen im Rahmen der anderen untersuchten Studien. Bei PV und solarthermischen Anlagen wird ebenfalls ein großes Kostenreduktionspotenzial angenommen.

► [Institut für Wirtschaftsforschung \(Ifo\) / Forschungsstelle für Energiewirtschaft \(FfE\) \(2012\): Die Zukunft der Energiemärkte](#)

Die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellte Studie zielt darauf ab, mit Hilfe einer ökonomischen Analyse die Kosten und Potenziale der Energiewende bis zum Jahr 2050 aufzuzeigen. Mit Blick auf das energiepolitische Zieldreieck aus Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit soll die Bedeutung marktwirtschaftlicher Prozesse und staatlicher Handlungsmöglichkeiten herausgearbeitet werden. Für verschiedene Handlungsalternativen werden das CO₂-Minderungspotenzial und die CO₂-Vermeidungskosten

Metaanalyse: Investitionskosten von Energiewende-Technologien

geschätzt. Unter den getroffenen Annahmen kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass Photovoltaik und Elektromobilität die höchsten CO₂-Vermeidungskosten aufweisen, während Onshore-Windenergie und industrielle Querschnittstechnologien kostengünstigere Optionen seien. Die Investitionskosten verschiedener Technologien bis 2050 wurden unter anderem aus den Studien von Prognos/EWI/GWS (2010) „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ und DLR/IWES/IfnE (2010) „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien“ übernommen. Dabei wurden neben reinen Anlagenkosten auch Kapitalkosten (Zinssatz 7 Prozent) und weitere Kosten wie Netzanbindung einbezogen.

Für die Investitionskosten konventioneller Kraftwerke sieht die Studie keine weiteren Kostensenkungspotenziale, während die Investitionskosten für Erneuerbare Energien bis 2050 weiter sinken. Für Offshore-Windenergie fällt der erwartete Rückgang der Investitionskosten besonders deutlich aus. Die Investitionskosten für Photovoltaikanlagen fallen im Vergleich zu anderen Studien hoch aus.

► [Öko-Institut / Fraunhofer ISE \(2016\): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050](#)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes untersuchen das Öko-Institut und das Fraunhofer ISE, wie der deutsche Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral werden kann. Auf Ebene der Einzelgebäude werden die technischen Möglichkeiten einer energetischen Modernisierung inklusive deren Kosten erörtert. Die zukünftigen Investitionskosten werden mittels Teillernkurven für Material- und Arbeitskosten ermittelt. Mangels ausreichender empirischer Basis beruhen die unterstellten Lernraten der Technologien auf eigenen Schätzungen. Für alle Erneuerbaren Energien erwarten die Autoren sinkende Investitionskosten.

► [Prognos/EWI/GWS \(2014\): Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose](#)

Im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums wird die als wahrscheinlich erachtete Entwicklung der Energiemärkte in Deutschland bis zum Jahr 2030 untersucht und die Erwartungen in einem Trendszenario bis 2050 fortgeschrieben. Die für die Referenzprognose unterstellten Rahmenbedingungen beinhalten dabei bereits verschärfte energie- und klimaschutzpolitische Maßnahmen. Sensitivitätsrechnungen betrachten die Auswirkungen unterschiedlicher Preise für fossile Energieträger, andere Kostenentwicklungen bei den Erneuerbaren Energien und die Effekte höherer CO₂-Preise. In den meisten Szenarien werden die politischen Ziele nach dem Energiekonzept nicht erreicht, wobei ein Zielszenario den zusätzlichen Handlungsbedarf verdeutlicht.

Die in der Studie verwendeten Investitionskosten bilden zusammen mit anderen Kennzahlen die Grundlage für die Abschätzung der zukünftigen energiewirtschaftlichen Entwicklung. Die Zusammenstellung der Werte für den Zeitraum 2011 bis 2050 erfolgt mittels Analyse verschiedener Veröffentlichungen und auf Basis von Gesprächen mit Experten aus Verbänden und Unternehmen.

Im Gegensatz zur Investitionskostenentwicklung konventioneller Kraftwerke, welche als konstant angesehen wird, werden für alle angegebenen Technologien der Erneuerbaren Energien zukünftig Kostenreduktionen erwartet. Im Vergleich zu anderen Studien sind die angenommenen Investitionskosten für geothermische Anlagen relativ hoch.

- ▶ [Prognos /Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung \(IFAM\) /Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien \(IREES\)/ BHKW-Infozentrum \(2014\): Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung \(Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie\) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014](#)

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellt das Konsortium eine Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Fernwärmeversorgung. Im Ergebnis werden mögliche Ausbaupfade für KWK und Fernwärme sowie politische Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung des KWKG abgeleitet. Dabei werden die Sektoren Private Haushalte, GHD und Industrie einzeln betrachtet und der mögliche Beitrag von KWK und Fernwärme zur Flexibilisierung des Strom- und Wärmeversorgungssystems hervorgehoben. Das größte Potenzial für den KWK-Ausbau sehen die Autoren im Bereich der allgemeinen Versorgung (Fernwärme) und der Industrie, empfehlen aber politische Reformen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Die Wirtschaftlichkeit von KWK und Fernwärme wird u.a. auf Basis der Investitionskosten im Vergleich zu anderen Technologien wie Wärmepumpen ermittelt. Die Annahmen für Wärmepumpen basieren auf einer Studie des IER Stuttgart aus dem Jahr 2001.

- ▶ [Reiner Lemoine Institut \(2014\): Vergleich und Optimierung von zentral und dezentral orientierten Ausbaupfaden zu einer Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien](#)

Das Reiner Lemoine Institut vergleicht in der Studie die Auswirkungen eines dezentralen Ausbaus der Erneuerbaren Energien auf die Gesamtsystemkosten und die kommunale Wertschöpfung mit den Wirkungen einer zentralisierten Ausbaustrategie. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass der dezentrale Ausbau der Erneuerbaren Energien energiewirtschaftlich zu bevorzugen sei. Die Hauptgründe sehen sie in den Risiken beim Ausbau der Übertragungsnetze und der Entwicklung von Speichertechnologien sowie der kommunalen und regionalen Wertschöpfung.

Mit Ausnahme der fossilen Energietechnologien, deren Investitionskosten in Zukunft als konstant angesehen werden, beschreibt die Studie die zu erwartenden Kostenreduktionen verschiedener Energietechnologien bis 2040 auf Grundlage von Lernkurven. Da die Studie keine Aussagen zum Bezugsjahr trifft, wird für die Metaanalyse das Jahr 2012 als Preisbasis angenommen. Die Lernkurven für Windenergieanlagen verlaufen im Vergleich zu anderen Studien sehr flach, es werden lediglich Kostenreduktionen von 22 Prozent für Offshore-Windenergie und 8 Prozent für Onshore-Windenergie im Zeitraum 2015 bis 2040 angenommen. Diese konservative Kostenprojektion wird mit der Komplexität von Offshore-Projekten und der notwendigen Erschließung von küstenfernen Gebieten begründet. Bei PV-Anlagen wird der Großteil der Kostensenkung bis zum Jahr 2020 erwartet. Wesentlich steilere Lernkurven werden bei den Speichertechnologien Batterien, Elektrolyse und Methanisierung angenommen. Im Vergleich zu anderen Studien liegen vor allem die Investitionskosten für Batterien und Elektrolyse in einem niedrigen Bereich, wobei die stärksten Kostenminderungen schon bis 2020 erwartet werden.

Bearbeiter:

Clemens Wunderlich (Forum Ökologisch Soziale Marktwirtschaft) / Swantje Fiedler (Forum Ökologisch Soziale Marktwirtschaft) / Claudia Kunz (Agentur für Erneuerbare Energien)

Weitere Informationen und Grafiken finden Sie im Forschungsradar Energiewende: www.forschungsradar.de.

Kontakt:

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.
Claudia Kunz
Projektleiterin Forschungsradar Energiewende
Tel: 030-200535-43
E-Mail: c.kunz@unendlich-viel-energie.de
www.unendlich-viel-energie.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages