

Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Kurzanalyse zur aktuellen Diskussion um die mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromversorgung verbundenen Kosten und Nutzen

Auftraggeberin:
Agentur für Erneuerbare Energien

Autoren:
Dr. Stefan Lechtenböhrer
Dipl.-Ökonom Sascha Samadi

Wuppertal, 11. Oktober 2010

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Postfach 10 04 80
42004 Wuppertal

Endbericht

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
2	Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse	4
3	Kosten und Nutzen der EEG-Förderung für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie für die Gesamtwirtschaft	5
3.1	Entwicklung der EEG-Umlage seit 2009 und mögliche Entwicklung bis 2030.....	5
3.2	Belastungen durch das EEG für einen typischen Haushalt.....	8
3.3	Gesamtwirtschaftliche Kosten und Nutzen.....	9
4	Überprüfung grundsätzlicher Einwände gegen die Förderung erneuerbarer Energien durch das EEG	12
4.1	Führt der Emissionshandel dazu, dass durch den EEG-geförderten Ausbau erneuerbarer Energien keinerlei CO ₂ eingespart wird?.....	12
4.2	Kann nur der Emissionshandel alleine sicherstellen, dass über den Markt Klimaschutz zu den niedrigsten Kosten erreicht wird?	13
4.3	Sollte sich technologiespezifische Förderung ausschließlich auf die Unterstützung von Forschung und Entwicklung beschränken?.....	18
4.4	Sind die Arbeitsplatzeffekte durch die Förderung erneuerbarer Energien (netto) vernachlässigbar oder sogar negativ?	20
4.5	Das EEG erreicht nicht sein Ziel einer Kostenreduktion der Technologien wie am Anstieg des EEG-Fördersatzes der Windenergie seit 2000 deutlich wird	20
5	Summiert sich die Förderung von Solarstrom durch das EEG für die vergangenen zehn Jahre tatsächlich auf rund 66 Milliarden Euro?	22
5.1	Kurzfassung der Prüfung der RWI-Berechnungen zu den Fotovoltaik-Förderkosten.....	23
5.2	Detaillierte Analyse der RWI-Berechnungen zu den Fotovoltaik-Förderkosten.....	26
5.2.1	<i>Korrekturen der RWI-Berechnungen.....</i>	<i>26</i>
5.2.2	<i>Berücksichtigung zusätzlicher Aspekte.....</i>	<i>28</i>
5.2.3	<i>Fehlende Berücksichtigung externer Effekte (nicht quantifiziert).....</i>	<i>33</i>
5.2.4	<i>Fehlende Berücksichtigung der positiven Effekte auf die technologische Entwicklung (nicht quantifiziert).....</i>	<i>33</i>
6	Literatur	36

1 Vorwort

Die Nutzung erneuerbarer Energien wie Wind, Wasser, Sonne und Biomasse zur Stromerzeugung ist in Deutschland in den vergangenen zehn Jahren deutlich angestiegen. So hat sich der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien am gesamten deutschen Stromverbrauch zwischen 1999 und 2009 von 5,4 % auf 16,4 % mehr als verdreifacht (BMU 2010a). Das im Jahr 2000 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat maßgeblich zu diesem Anstieg beigetragen. Das EEG setzt Mindestvergütungssätze für Strom aus verschiedenen erneuerbaren Quellen fest und sichert diesem Strom zudem einen bevorzugten (prioritären) Zugang zum Stromnetz zu.

In ihrem aktuellen Energiekonzept verfolgt die Bundesregierung das Ziel, diesen Anteil weiter deutlich zu steigern, und zwar auf 35 % bis 2020 und auf 80 % bis 2050 (vgl. Bundesregierung 2010). Eine weitere Verstärkung der Nutzung erneuerbarer Energien wird dabei politisch aus verschiedenen Gründen, unter anderem zur Reduzierung von CO₂-Emissionen aber auch aus wirtschaftspolitischen Motiven angestrebt.

Kritiker der Förderung erneuerbarer Energien und speziell des EEG halten die mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien verbundenen Kosten für zu hoch. Sie plädieren für eine deutliche Reduktion oder zum Teil sogar für eine Einstellung der Förderung und verweisen dabei häufig auf den in Europa im Jahr 2005 eingeführten CO₂-Emissionshandel, der nach Auffassung mancher Kritiker ein effizienteres und ausreichendes Klimaschutzinstrument darstellt.

Die vorliegende Kurzanalyse gibt einen Überblick über die Kosten und Nutzen der Förderung erneuerbarer Energien im Rahmen des EEG. Dabei wird unter anderem auf die Entwicklung der EEG-Umlage in den letzten Jahren und ihre mögliche Entwicklung in den kommenden Jahren eingegangen (Kapitel 3). Außerdem setzt sich die Analyse mit einigen grundsätzlichen Kritikpunkten am EEG auseinander (Kapitel 4). Abschließend wird geprüft, inwieweit häufig durch die Medien aufgegriffene Berechnungen zu den Kosten des Ausbaus der Fotovoltaik zutreffend sind und wie sie zu interpretieren sind (Kapitel 5).

2 Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Kurzanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Trotz des erwarteten Anstiegs für 2011 wird die EEG-Umlage mit maximal 15 % einen relativ geringen Anteil am Haushaltsstrompreis ausmachen. Ein Durchschnittshaushalt wird 2011 nur rund 0,3 % seines Nettoeinkommens für die Förderung erneuerbarer Energien über das EEG ausgeben müssen.
- Die wesentlichen Gründe für den starken Anstieg der EEG-Umlage seit 2009 legen nahe, dass ein weiterer deutlicher Anstieg der Umlage nach 2011 nicht zu erwarten ist.
- Es ist wahrscheinlich, dass die EEG-Umlage in einigen Jahren beginnen wird zu fallen und 2030 auf unter 1 Cent/kWh zurückgehen wird.
- Viele häufig vorgebrachte Kritikpunkte an der Förderung erneuerbarer Energien über das Instrument des EEG halten einer theoretischen und empirischen Überprüfung nicht stand.
- Anhand der Prüfung einer Berechnung des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI) zu den Förderkosten der Fotovoltaik wird deutlich, dass unplausible Annahmen sowie das Ausblenden bestimmter Aspekte und Zusammenhänge Förderkosten ergeben, die um mindestens 6 % und um bis zu 42 % zu hoch liegen.
- Eine angemessene Bewertung des Ausbaus erneuerbarer Energien ist nur möglich, wenn die damit verbundenen Kosten sachlich und in allgemein verständlicher Form kommuniziert werden und insbesondere der vielfältige und langfristige Nutzen des Ausbaus nicht ausgeblendet wird.
- Der Ausbau von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien verringert die mit fossilen und nuklearen Kraftwerken verbundenen negativen externen Effekte, senkt die Technologiekosten und erhöht somit die Chancen auf erfolgreichen Klimaschutz sowohl im Inland als auch im Ausland.

3 Kosten und Nutzen der EEG-Förderung für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie für die Gesamtwirtschaft

3.1 Entwicklung der EEG-Umlage seit 2009 und mögliche Entwicklung bis 2030

Die Ausweisung der EEG-Umlage ermöglicht eine klarere Einschätzung derjenigen Kosten, die durch die Förderung im Rahmen des EEG für Verbraucherinnen und Verbraucher gegenwärtig und in den kommenden Jahren jeweils maximal¹ zu tragen sind. Die EEG-Umlage wird i. d. R. in Cent/kWh ausgewiesen. Für ihre Berechnung werden zunächst die EEG-Differenzkosten ermittelt. Diese setzen sich nach §53 EEG aus der Differenz der durch das EEG festgelegten Vergütung der gesamten Stromerzeugung eines Jahres aus erneuerbaren Energien und dem Marktwert dieser erzeugten Strommenge (durchschnittliche Strombezugskosten) zusammen. Die EEG-Differenzkosten werden anschließend durch den umlagepflichtigen Stromverbrauch geteilt.² Dadurch ergibt sich die EEG-Umlage in Cent/kWh, die in der öffentlichen Diskussion im Vordergrund steht und mit der die absolute jährliche oder monatliche Belastung eines Beispielhaushalts durch die EEG-Förderung errechnet werden kann.³

Dabei ist es wichtig zu betonen, dass die EEG-Umlage die tatsächlichen Kosten für die Verbraucherinnen und Verbraucher durch die Förderung erneuerbarer Energien überschätzt, da sie den Merit-Order-Effekt (siehe Abschnitt 5.2.2) nicht berücksichtigt. Modellrechnungen für das Jahr 2008 legen nahe, dass in dem Jahr rund 80 % der EEG-Umlage durch den Merit-Order-Effekt ausgeglichen wurde (izes u. a. 2010).⁴

Eine aktuelle Studie für das BMU (Wenzel, Nitsch 2010) schätzt die Höhe der EEG-Umlage bis zum Jahr 2030. Die Autoren der Studie nehmen dabei an, dass Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien auch in den nächsten zwei Jahrzehnten deutlich ausgebaut werden und die erneuerbaren Energien ihren Anteil an der gesamten Brutto-

¹ „Maximal“, weil bei der Berechnung der EEG-Umlage der Merit-Order-Effekt (siehe Abschnitt 5.2.2) nicht berücksichtigt wird.

² Nicht alle Strom-Letztverbraucher müssen über die EEG-Umlage in gleichem Maße zur Förderung der erneuerbaren Energien beitragen. Viele Unternehmen mit stromintensiver Produktion müssen eine deutlich niedrigere Umlage (0,05 Cent/kWh) zahlen (Wenzel, Nitsch 2010).

³ Nach aktuellen Schätzungen liegt die EEG-Umlage im Jahr 2010 bei 2,3 bis 2,4 Cent/kWh. Im Voraus wurde sie auf 2,05 Cent/kWh geschätzt, siehe unten.

⁴ In welchem Umfang die strompreissenkende Wirkung der Erneuerbaren-Energien-Anlagen tatsächlich an die Endverbraucher weitergereicht wird, ist auch abhängig von der Wettbewerbsstruktur auf dem Strommarkt.

stromerzeugung von 16 % (2009) auf 65 % in 2030 erhöhen werden.⁵ Nach ihren Berechnungen wird die EEG-Umlage noch einige Jahre – bis etwa 2016 – steigen und dann bis 2030 kontinuierlich sinken. Abbildung 1 zeigt die erwartete Entwicklung der EEG-Umlage bis 2030 in Abhängigkeit vom Strompreis. Neben zwei verschiedenen Annahmen zur Strompreisentwicklung („moderater“ und „deutlicher“ Preisanstieg) ist des Weiteren ein hypothetischer Strompreis aufgeführt, der die negativen externen Effekte des CO₂-Ausstoßes fossiler Kraftwerke komplett berücksichtigt.⁶

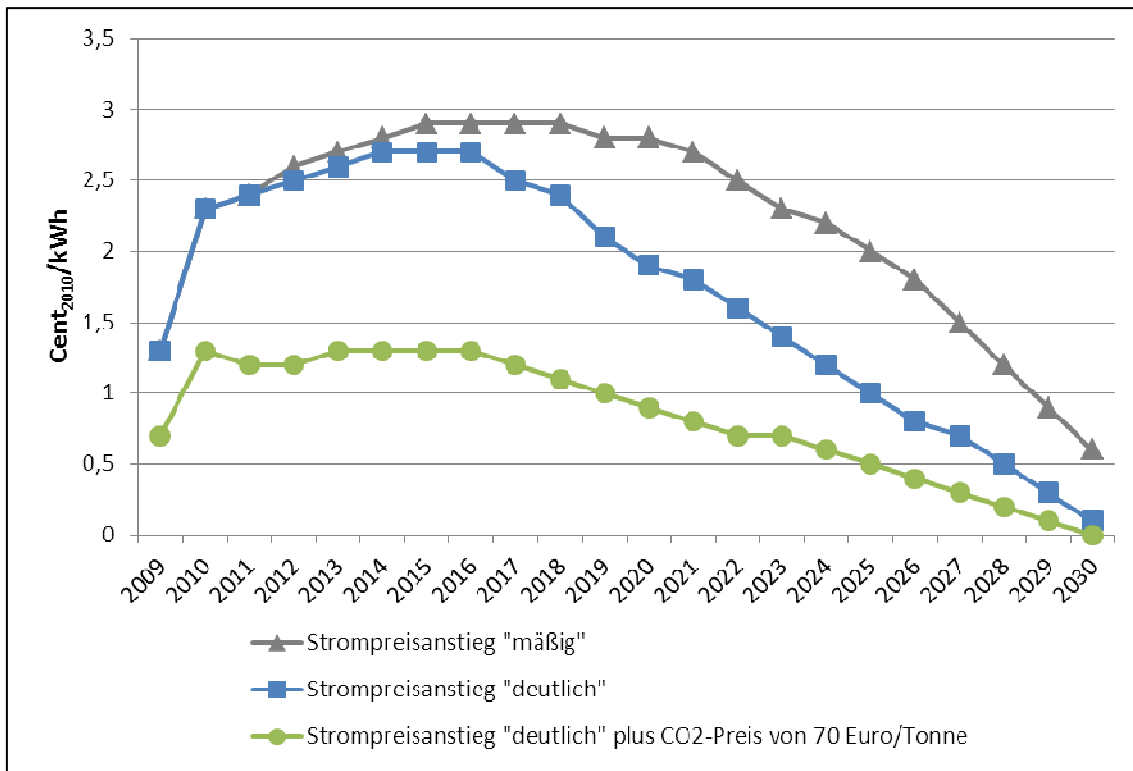


Abbildung 1: Erwartete Entwicklung der EEG-Umlage bis 2030 in Abhängigkeit von der Strompreisentwicklung (Quelle: Wenzel, Nitsch 2010)

Die EEG-Umlage für jedes Jahr wird im Voraus durch die Übertragungsnetzbetreiber geschätzt. Für das Jahr 2010 wurde ursprünglich eine EEG-Umlage in Höhe von 2,05 Cent/kWh erwartet. Insbesondere aufgrund des Ausbaus der Fotovoltaik, der stärker als gedacht ausfällt, wird mittlerweile für 2010 tatsächlich eine Umlage von 2,3 bis 2,5 Cent/kWh erwartet. Die zu geringe Umlage für 2010 wird auf die EEG-Umlage für 2011 aufgeschlagen (Wenzel, Nitsch 2010). Dies ist ein wesentlicher Grund, warum der Anstieg der EEG-Umlage von 2010 bis 2011 „offiziell“ so hoch ausfallen wird. In Abbildung 1 ist die ursprüngliche Abschätzung der Umlage für das Jahr 2010 korrigiert, weshalb die Umlage hier im Jahr 2011 kaum höher ist als im Jahr 2010.

⁵ Die Bundesregierung sieht in ihrem Energiekonzept vom 28.9.2010 (Bundesregierung 2010) für 2030 einen Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung von 50 % vor.

⁶ Dabei werden CO₂-Schadenskosten in Höhe von 70 Euro pro Tonne unterstellt.

Dennoch fällt der deutliche Anstieg der EEG-Umlage zwischen 2009 und 2011 auf. Der Anstieg ist wesentlich auf den sehr starken Ausbau der Fotovoltaik in den letzten zwei Jahren zurückzuführen, der durch deutliche Preissenkungen bei den Fotovoltaik-Anlagen ausgelöst wurde. Ein ähnlich hoher Ausbau der Fotovoltaik nach 2010 ist nicht zu erwarten, da die Preisrückgänge in den kommenden Jahren voraussichtlich wieder moderater ausfallen werden, während die Vergütungssätze für Strom aus neuen Anlagen deutlich abgesenkt werden: Sie werden im Jahr 2011 um etwas über 10 % reduziert und wurden bereits im Laufe des Jahres 2010 „außerplanmäßig“ zusätzlich zur jährlich vorgesehenen Degression in zwei Schritten um 16 % verringert.⁷ Seit 2009 ist zudem ein – im laufenden Jahr ebenfalls verschärfter – „Korridor“ vorgesehen: Wenn die Fotovoltaik in einem Jahr stärker ausgebaut wird als der Zielwert im Gesetz, so verschärft sich im folgenden Jahr automatisch die Degression – d. h., die Einspeisevergütung sinkt überproportional, was dämpfend auf die Nachfrage nach Fotovoltaik-Anlagen wirkt.

Ein weiterer Grund für die deutliche Zunahme der EEG-Umlage seit 2009 ist neben dem sehr starken Ausbau der Fotovoltaik sowie auch einer stark steigenden Stromproduktion aus kleinen Biogasanlagen der Rückgang der Stromgroßhandelspreise (BMU 2010b). Auch hierbei handelt es sich um einen außergewöhnlichen und vorübergehenden Effekt. Als Folge der wirtschaftlichen Krise im Jahr 2009 sind die Stromnachfrage sowie die Brennstoff- und CO₂-Preise gesunken, was folglich zu einer Reduktion der Strompreise geführt hat. Für die nächsten Jahre wird wieder ein Anstieg der Strompreise erwartet (Wenzel, Nitsch 2010), was dämpfend auf die Differenzkosten wirken würde.

Letztlich hat auch eine einmalige Änderung bei der Berechnung der EEG-Umlage zu dem Anstieg zwischen 2009 und 2010 beigetragen: Seit Anfang 2010 werden die indirekt durch den EEG-Strom verursachte Kosten für Regelenergie, die vorher als Teil der Netzentgelte verrechnet wurden, der EEG-Umlage zugerechnet. Die Netzentgelte fallen hingegen entsprechend niedriger aus, es handelt sich also nur um eine „Umbuchung“.

Es kann also festgehalten werden, dass sich die deutliche Erhöhung der EEG-Umlage in den letzten zwei Jahren im Wesentlichen auf mehrere einmalige oder zumindest außergewöhnliche Effekte zurückführen lässt. Es wird daher erwartet (Wenzel, Nitsch 2010; Abbildung 1), dass sich die EEG-Umlage in den nächsten Jahren auf ungefähr 3 Cent/kWh belaufen wird⁸ (entsprechend etwa 13 % des gegenwärtigen Haushalts-

⁷ Eine geringere zusätzliche Degression der Vergütungssätze galt für Anlagen auf sog. Konversionsflächen (11 %) und auf sonstigen Freiflächen (15 %).

⁸ Das Bundesumweltministerium rechnet aktuell (BMU 2010b) zwar mit einer Schätzung der EEG-Umlage für 2011 in Höhe von 3,3 bis 3,5 Cent/kWh. Bei dieser Zahl ist allerdings – wie bereits erläutert – zu berücksichtigen, dass davon bis zu 0,5 Cent eigentlich auf das Jahr 2010 entfallen, da sich die damalige Schätzung für das Jahr 2010 (2,05 Cent/kWh) als zu niedrig herausgestellt hat.

strompreises) und spätestens gegen Ende dieses Jahrzehnts sinken wird - zumindest wenn in den nächsten Jahren der politisch verfolgte „Korridor“ des Ausbaus der Fotovoltaik nicht dauerhaft überschritten wird. Trotz des unterstellten weiteren dynamischen Ausbaus der erneuerbaren Energien würde die Umlage nicht zuletzt infolge der sinkenden Vergütungssätze also abnehmen und bis 2030 auf deutlich unter 1 Cent/kWh sinken (Wenzel, Nitsch 2010; Abbildung 1).

3.2 Belastungen durch das EEG für einen typischen Haushalt

Um auch den indirekten, die Haushalte entlastenden Effekt des Ausbaus erneuerbarer Energien zu berücksichtigen, kann von den gesamten Differenzkosten die Wirkung des in Merit-Order-Effekts abgezogen werden.⁹ Berechnungen des Merit-Order-Effekts liegen bisher lediglich bis zum Jahr 2008 vor. Für das Jahr 2008 wird der Merit-Order-Effekt des EEG-Stroms auf 3,58 bis 4,04 Milliarden Euro geschätzt, während die EEG-Differenzkosten 4,65 Milliarden Euro betragen haben (izes u. a. 2010). Wird von einem mittleren Wert von 3,81 Milliarden Euro für den Merit-Order-Effekt ausgegangen, so beliefen sich die Netto-Belastungen der Verbraucherinnen und Verbraucher durch die Förderung erneuerbarer Energien über das EEG im Jahr 2008 auf lediglich 840 Millionen Euro.¹⁰ Entsprechend würde die EEG-Umlage für das Jahr 2008 in Höhe von 1,1 Cent/kWh auf 0,2 Cent/kWh sinken. Ein Beispiel-Haushalt mit einem jährlichen Stromverbrauch von 3.500 kWh wäre demnach mit 59 Cent pro Monat belastet worden. Ohne Berücksichtigung des Merit-Order-Effekts lag die Belastung für den Haushalt bei 3,52 Euro pro Monat.

Die EEG-Umlage könnte im kommenden Jahr Schätzungen zufolge (BMU 2010b) auf bis zu 3,5 Cent/kWh ansteigen und damit höher ausfallen als von der oben zitierten Studie im Auftrag des BMU (Wenzel, Nitsch 2010) erwartet.¹¹ Wird ein solcher Anstieg angenommen und zugleich unterstellt, dass der Merit-Order-Effekt wie im Jahr 2008 (bei vollständiger Weiterreichung an die Endverbraucherinnen und Endverbraucher) zu einem Rückgang des Strompreises um ca. 1 Cent/kWh beitragen wird, so würden sich die Mehrbelastungen der Verbraucherinnen und Verbraucher durch die EEG-Förderung auf etwa 2,5 Cent/kWh belaufen, was ca. 11 % des gegenwärtigen Haushaltsstrompreises entspricht (Statistisches Bundesamt 2010). Für den Beispiel-Haushalt mit einem jährlichen Verbrauch von 3.500 kWh würde das eine monatliche Belastung von rund 7,30 Euro bedeuten. Dies ist ein Anteil von weniger als 0,3 % am durchschnittlichen

⁹ Vgl. Abschnitt 5.2.2 für eine ausführliche Erläuterung des Merit-Order-Effekts.

¹⁰ Dies setzt voraus, dass der Vorteil der günstigeren Beschaffungskosten von Strom durch den Merit-Order-Effekt *vollständig* an die Endverbraucherinnen und -verbraucher weitergereicht wird. Dies wiederum setzt wettbewerbliche Strukturen auf dem Strommarkt voraus.

¹¹ Ein Teil dieses Betrages (ca. 0,4 Cent/kWh) ist – wie oben bereits erwähnt – eigentlich dem Jahr 2010 zuzuordnen.

monatlichen Nettoeinkommen eines deutschen Haushalts (rund 2.800 Euro im Jahr 2005, nach Statistisches Bundesamt 2006).

Dieser Belastung stehen die vielfältigen gesamtwirtschaftlichen Vorteile eines Ausbaus erneuerbarer Energien gegenüber, die im folgenden Abschnitt aufgeführt werden.

3.3 Gesamtwirtschaftliche Kosten und Nutzen

Die EEG-Differenzkosten sind ein erster näherungsweise Indikator für die gesamtwirtschaftlichen Kosten des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsystem, denn der Merit-Order-Effekt bleibt bei einer solchen gesamtwirtschaftlichen Betrachtung unberücksichtigt, da er „nur“ zu einer Umverteilung von Profiten der Kraftwerksbetreiber zugunsten der Verbraucherinnen und Verbraucher, nicht aber zu einem direkten gesamtwirtschaftlichen Vorteil führt.

Für das Jahr 2010 belaufen sich die EEG-Differenzkosten den ursprünglichen Schätzungen der Übertragungsnetzbetreiber zufolge auf einen Wert von etwa 8 Milliarden Euro. Ab etwa 2016 ist allerdings damit zu rechnen, dass die EEG-Differenzkosten wieder sinken (Wenzel, Nitsch 2010). Einerseits ist dies der Degression der Vergütungssätze geschuldet, andererseits wird es für Betreiberinnen und Betreiber von Anlagen immer lukrativer, auf die EEG-Vergütungen zu verzichten und den erneuerbaren Strom an der Börse direkt zu vermarkten.

Für die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Belastung ist es hilfreich, die EEG-Differenzkosten zwecks Einordnung in ein Verhältnis mit anderen Größen zu setzen. So entsprechen die für 2010 geschätzten Differenzkosten von etwa 8 Milliarden Euro zum Beispiel rund 0,3 % des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Abbildung 2 stellt die EEG-Differenzkosten für die Jahre 2008 bis 2010 sowie für das Jahr 2030 (Erwartung nach Wenzel, Nitsch 2010 bei mäßigem Strompreisanstieg) den Subventionen für umweltschädliche Aktivitäten im Jahr 2008 in Höhe von rund 49 Milliarden Euro₂₀₁₀ gegenüber (UBA 2010).¹²

¹² Von den 48 Milliarden Euro entfallen beispielsweise knapp 2,5 Milliarden Euro auf Steinkohlesubventionen. Weitere 7,8 Milliarden Euro werden für die kostenfreie Zuteilung der CO₂-Emissionszertifikate veranschlagt.

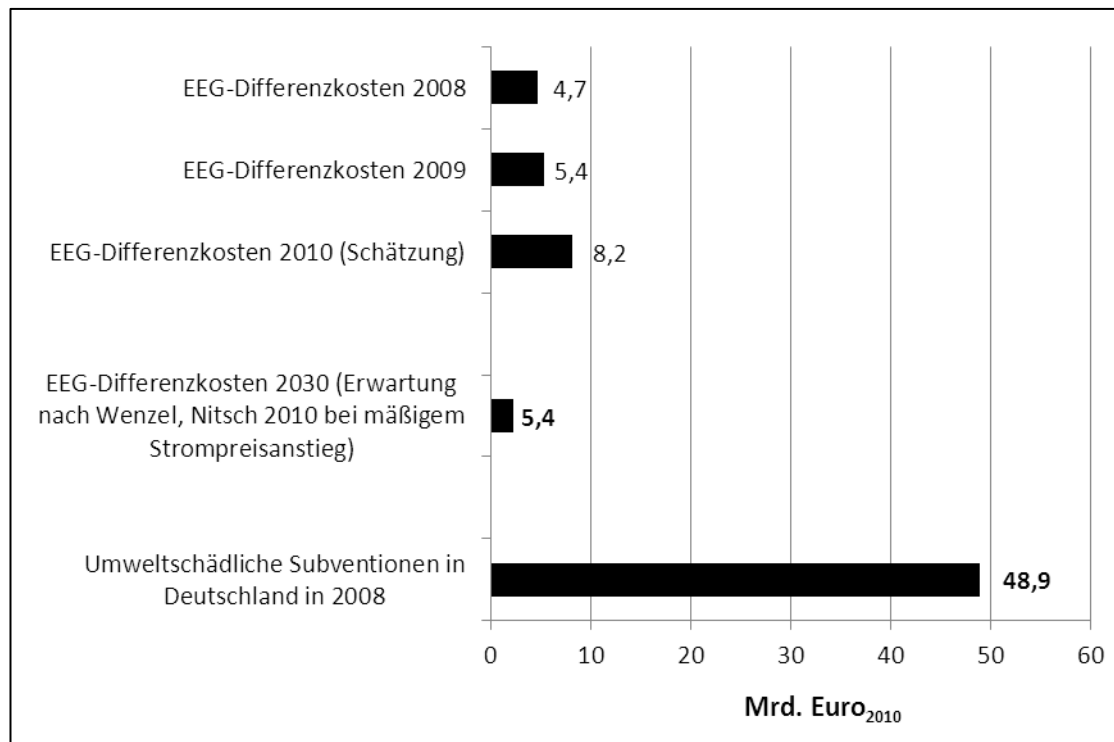


Abbildung 2: Gegenüberstellung der EEG-Differenzkosten für 2008 bis 2010 und für 2030 (Erwartung nach Wenzel, Nitsch 2010) sowie der Subventionen für umweltschädliche Aktivitäten in 2008 (Quellen: BMU 2010b; Wenzel, Nitsch 2010; UBA 2010).¹³

Dabei ist zu beachten, dass den umweltschädlichen Subventionen keine vergleichbaren Vorteile wie dem Ausbau der erneuerbaren Energien gegenüberstehen. Diese Vorteile sind insbesondere:

- Reduktion der CO₂-Emissionen
- Reduktion von Luftschadstoffen
- Reduktion der Importabhängigkeit
- Schonung endlicher Energieressourcen und somit Beitrag zur Reduktion der Gefahr geo-politischer Auseinandersetzungen um knapper werdende Ressourcen
- Erzeugung inländischer Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen
- Keine Risiken durch große Unfälle
- Keine Risiken durch Proliferation und radioaktiven Müll
- Beitrag zur Reduktion von Technologiekosten und damit Erleichterung von ambitioniertem Klimaschutz auch in anderen Ländern

¹³ Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die ausgewiesenen Differenzkosten für 2010 nicht ohne Einschränkungen mit den Differenzkosten der Vorjahre vergleichbar sind, da ab 2010 auch die Vermarktungskosten einfließen, die zuvor in den Netzentgelten enthalten waren (BMU 2010b).

Letztlich muss natürlich die Gesellschaft entscheiden, ob es ihr wert ist, die gegenwärtigen und in den kommenden zwei Jahrzehnten erwarteten – unserer Ansicht nach sehr vertretbaren – Mehrbelastungen zu tragen, um von dem deutlichen kurz- bis langfristigen Nutzen des Ausbaus erneuerbarer Energien zu profitieren.

4 Überprüfung grundsätzlicher Einwände gegen die Förderung erneuerbarer Energien durch das EEG

Trotz seines offensichtlichen Erfolgs während der vergangenen zehn Jahre in Bezug auf den beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsystem gibt es dennoch immer wieder grundsätzliche Kritik am EEG, die v. a. von Ökonomen vorgebracht wird (u. a. Sinn 2008; Frondel u. a. 2010; Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 2004). Die Abschnitte in diesem Kapitel setzen sich jeweils mit einem häufig genannten Kritikpunkt am EEG auseinander und sollen die empirischen und (wirtschafts-) theoretischen Schwachpunkte der Einwände gegen das EEG aufzeigen.¹⁴

4.1 Führt der Emissionshandel dazu, dass durch den EEG-geförderten Ausbau erneuerbarer Energien keinerlei CO₂ eingespart wird?

Im EU-Emissionshandelssystem sind die maximalen Emissionen der Stromerzeugung jeweils für 5-Jahreszeiträume mit einem „Cap“, d. h. einer Höchstgrenze festgeschrieben. Liegen die tatsächlichen Emissionen niedriger, z. B. durch den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung, so können die Restemissionen zusätzlich emittiert oder verkauft werden.

Die durch das EEG induzierte Dynamik der Verdrängung fossiler Stromerzeugung und die damit einhergehenden niedrigeren CO₂-Emissionen werden im politischen Entscheidungsprozess zur Festlegung des Caps des Emissionshandels über Erwartungen des zukünftigen Ausbaus erneuerbarer Energien berücksichtigt.¹⁵ Ohne den durch das EEG und vergleichbare Förderung in anderen EU-Staaten eingeleiteten Ausbau der erneuerbaren Energien wären die bisher festgelegten Caps politisch wahrscheinlich nicht durchsetzbar gewesen, da sie – im Vergleich zur tatsächlichen Situation mit Ausbau der erneuerbaren Energien – zu höheren Zertifikatspreisen geführt hätten. Offensichtlich wird dies in den Planungen für die dritte Phase des EU-Emissionshandels ab 2013: Der durch die EU festgelegte europaweite Cap für diese Phase basiert auf dem Ziel der EU, ihre gesamten Treibhausgasemissionen bis 2020 um (mindestens) 20 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Dieses Ziel wiederum wurde analog zum Ausbauziel der erneuerbaren Energien der EU auf 20 % des Endenergieverbrauchs bis 2020 beschlos-

¹⁴ Die Abschnitte 4.1 bis 4.3 sind entnommen von Fishedick, Samadi (2010).

¹⁵ Im Gegensatz dazu wurden die aktuellen Pläne der Bundesregierung zu den Laufzeitverlängerungen der deutschen Atomkraftwerke nicht bei der Festlegung der Emissionsobergrenze bis 2020 berücksichtigt.

sen. Beide Vorgaben stehen in direktem Zusammenhang miteinander und sind daher nicht unabhängig voneinander zu betrachten.¹⁶

Aber selbst wenn die Höhe des Emissionshandels-Caps völlig ohne Berücksichtigung des vergangenen und zukünftig erwarteten Ausbaus der erneuerbaren Energien zustande kommen würde und auch die durch den Ausbau der erneuerbaren Energien induzierte Kostensenkung nicht einen in Zukunft ambitionierteren Klimaschutz möglich bzw. politisch durchsetzbar machen würde, wäre dennoch von einer positiven Klimawirkung der Förderung der erneuerbaren Energien auszugehen: Die durch das EEG und vergleichbare Förderinstrumente in der EU induzierte Kostensenkungen bei Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien führen zu einem höheren Einsatz auch in solchen ausländischen Märkten, die keinem CO₂-Emissionshandel unterliegen (z. B. China, Indien, USA). Es ist außerdem davon auszugehen, dass die Vorreiterrolle von Ländern wie Deutschland in Verbindung mit den dadurch erzielten Kostensenkungen bei den regenerativen Technologien die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass in Zukunft Länder, die gegenwärtig beim Klimaschutz noch zögerlich sind, eher bereit sein werden, internationalen Verträgen beizutreten und selbst verstärkt Klimaschutz zu betreiben.

4.2 Kann nur der Emissionshandel alleine sicherstellen, dass über den Markt Klimaschutz zu den niedrigsten Kosten erreicht wird?

Die Überzeugung, dass die alleinige Verwendung des Instruments des Emissionshandels eine erwünschte Verringerung von Treibhausgasemissionen ökonomisch effizient, also zu den geringsten möglichen Kosten erreichen kann, stützt sich auf die umweltökonomische Theorie. Demnach sorgt der Marktmechanismus bei einer staatlich vorgegebenen Begrenzung von Emissionen und der gleichzeitigen Möglichkeit des freien Handels mit Emissionsrechten dafür, dass Emissionsminderungen stets dort durchgeführt werden, wo sie am kostengünstigsten erreicht werden können.

Abbildung 3 zeigt die Wirkungsweise des Emissionshandels nach dieser Theorie: Von staatlicher Seite aus wird eine Begrenzung der Emissionen von E auf $(E - X)$ angestrebt. Eine entsprechende Menge an Emissionsrechten wird verteilt und durch den Handel mit diesen Rechten ergibt sich – im Schnittpunkt der erlaubten Emissionsmenge $(E - X)$ und der gesamtgesellschaftlichen Grenzvermeidungskosten (GVK) – der Marktpreis p für eine Emissionseinheit. Die Kosten des Klimaschutzes werden in Abbildung 3 durch die schraffierte Fläche gekennzeichnet. Diese Kosten stellen die für die Erreichung des Emissionsminderungsziels gesamtgesellschaftlich niedrigsten dar, da der Emissionshandel dafür sorgt, dass nur die günstigsten Emissionsminderungsmaß-

¹⁶ Der Einwand von Frondel u. a. (2010) gegen den Verweis auf den EU-Prozess zur Festlegung der dritten ETS-Phase ist nicht nachvollziehbar. Er wäre nur dann nachvollziehbar, wenn politische Entscheidungen (wie die Festlegung der Höhe des Caps) „vom Himmel fallen“ würden.

nahmen durchgeführt werden, also jene Maßnahmen, die unterhalb des Preises für die Emissionsrechte rentabel sind.

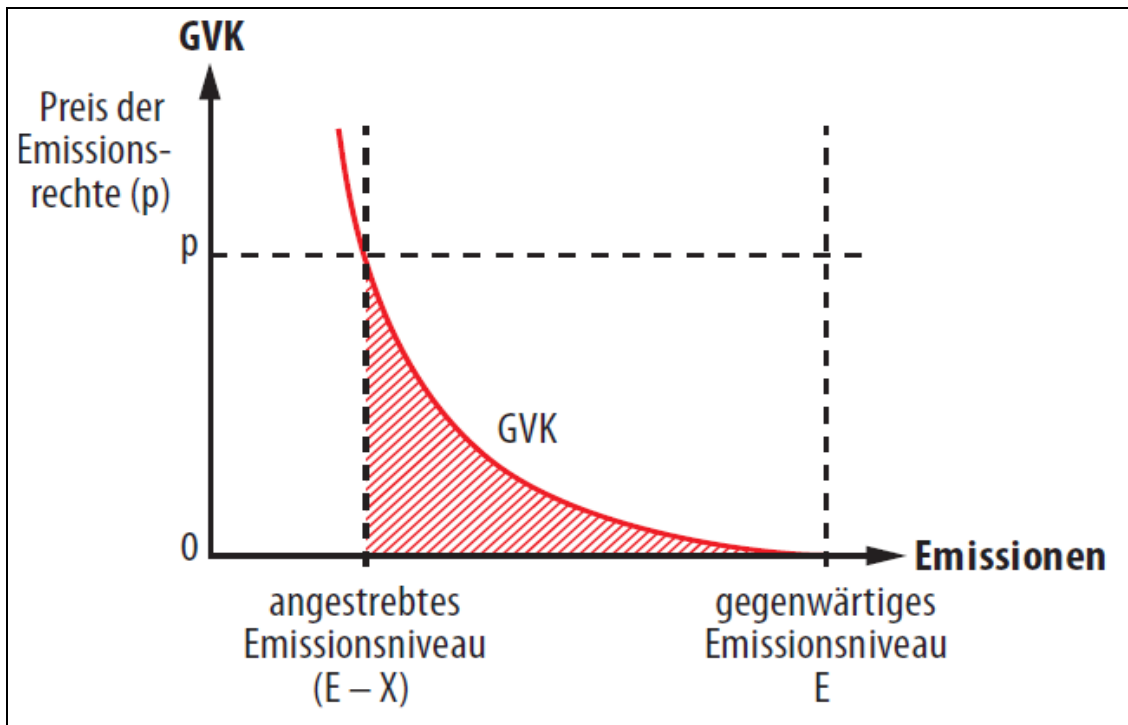


Abbildung 3: Durch den Emissionshandel kann nach dem Verständnis der klassischen Umweltökonomie ein angestrebtes Klimaschutzziel ($E - X$) zu den niedrigsten möglichen Kosten (schraffierte Fläche) erreicht werden.

Tatsächlich lässt sich das eindeutige Fazit des kostenminimierenden Klimaschutzinstruments nur dann aufrechterhalten, wenn angenommen wird, dass es nicht möglich ist, die GVK-Kurve in ihrem späteren Verlauf abzusinken, indem zu Beginn der Reduktionsbemühungen auf bestimmte, zunächst teurere Vermeidungstechnologien zurückgegriffen wird. Wird diese Annahme fallen gelassen, so ist es möglich, dass eine gesamtgesellschaftliche GVK-Kurve existiert, die zwar im Bereich niedriger Emissionsreduktionen höher liegt als eine alternative, auf andere Technologien zurückgreifenden GVK-Kurve, die aber im Verlauf weiterer Emissionsreduktionen die alternative Kurve schneidet und ab dem an diesem Schnittpunkt erreichten Emissionsniveau kostengünstigere Emissionseinsparungen ermöglicht. Je nachdem wie diese beiden GVK-Kurven verlaufen und wie stark die Emissionen reduziert werden sollen, ist es möglich (wie in Abbildung 4 skizziert), dass eine zunächst höher liegende GVK-Kurve (in Abbildung 4 als GVK'-Kurve bezeichnet) ein bestimmtes Klimaschutzziel insgesamt zu geringeren Kosten erreicht als die zunächst niedriger liegende GVK-Kurve.

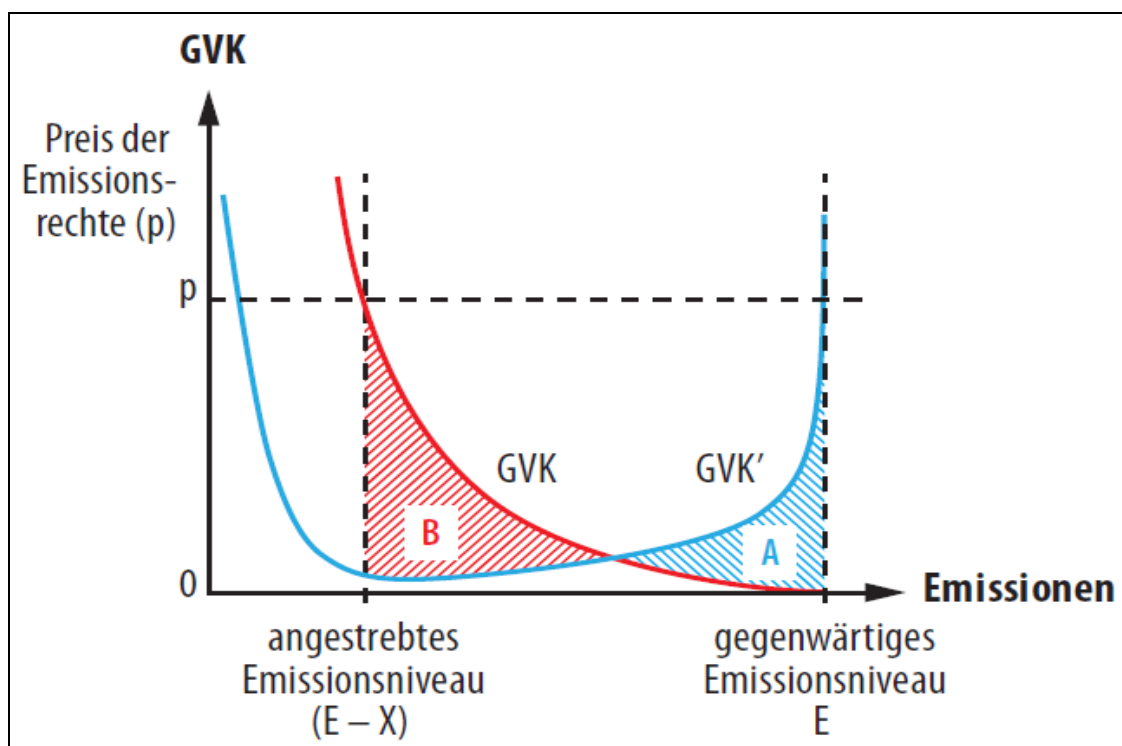


Abbildung 4: Der Emissionshandel erreicht hier das angestrebte Klimaschutzziel ($E - X$) nicht zu den niedrigsten möglichen Kosten, da eine alternative GVK-Kurve (GVK') existiert, bei der zwar zunächst höhere GVK anfallen, die im späteren Verlauf allerdings deutlich niedrigere GVK ermöglicht und dadurch das angestrebte Klimaschutzziel zu insgesamt geringeren Kosten erreichen kann (Fläche A < Fläche B).

Wird in einem solchen Fall als Klimaschutzinstrument ausschließlich auf den Emissionshandel gesetzt, um das Reduktionsziel ($E - X$) zu erreichen, so werden die Emissionsreduktionen entlang der nicht-kostenminimalen GVK-Kurve verlaufen. Die Marktakteure werden bei dem sich auf dem Emissionshandelsmarkt ergebenden Zertifikatspreis p auf keine Vermeidungstechnologie zurückgreifen, deren Kosten über diesem Zertifikatspreis liegt. Gesamtwirtschaftlich würde es sich lohnen, in diese zunächst teure Technologie zu investieren, der Markt gibt aber trotz Emissionshandel keinen Anreiz für die Individuen, ihre jeweiligen Anteile an der gesamtwirtschaftlichen Emissionsreduktion unter Rückgriff auf diese Technologie zu erbringen.

Wieso aber sollte es eine GVK-Kurve in Form der in Abbildung 4 illustrierten GVK'-Kurve in der Realität geben? In ökonomischen Lehrbüchern wird üblicherweise eine Kurve in Form der hier abgebildeten GVK-Kurve dargestellt. Eine solche Kurve nimmt an, dass die Grenzkosten der Emissionsreduktion ansteigen, umso mehr die Emissionen bereits reduziert worden sind. Denn zunächst würden die Marktteilnehmer diejenigen Emissionsreduktionen vornehmen, die am günstigsten zu realisieren sind. Mit zunehmender Emissionsvermeidung verbleiben demnach nur noch Optionen mit höheren Vermeidungskosten. Eine solche Annahme ist Ausdruck einer statischen Analyse, die

mögliche Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß der Nutzung und den Kosten bestimmter Vermeidungstechnologien nicht berücksichtigt.

Eine solche statische Betrachtungsweise und der daraus folgende „typische“ GVK-Kurvenverlauf mögen bei der Verwendung konventioneller Optionen zur Emissionsreduktion, wie der Erhöhung der Wirkungsgrade fossiler Kraftwerke oder der Substitution von Kohle durch Erdgas, plausibel sein. Hierbei handelt es sich um die Fortentwicklung von oder den Wechsel zu etablierten Technologien mit (im Vergleich zu neueren Technologien) geringen technologischen Verbesserungspotenzialen. Zunächst stehen diese Vermeidungsoptionen in der Regel vergleichsweise kostengünstig zur Verfügung, ihre starke Nutzung führt aber höchstens in geringem Ausmaß zu Kostensenkungen einzelner Technologien und diese Kostensenkungen werden überkompensiert durch Kostensteigerungen als Folge des notwendigen Ausweichens auf (in Bezug auf das Emissionsreduktionspotenzial) weniger ergiebige Einsatzmöglichkeiten.

Für viele neuartige Technologien zur Emissionsreduktion, die derzeit noch keine Verwendung finden oder nur in sehr begrenztem Ausmaß genutzt werden, ist aber ein anderer Verlauf der GVK-Kurve plausibel. Diese Technologien sind zunächst sehr teuer, da sie noch am Anfang ihrer Entwicklung stehen und somit noch nicht oder kaum von Kostensenkungen profitieren konnten, die durch Forschung und Entwicklung (F & E) und die Verbreitung der Technologien auf dem Markt eintreten.

Werden diese Technologien trotz ihrer zunächst hohen Kosten nachgefragt, so kann es zu ausgeprägten Lernkurveneffekten kommen, d. h. die Kosten der Technologien sinken mit zunehmender Nutzung als Folge technologischer Fortschritte und organisatorischer Verbesserungen in Produktion und Nutzung. Auf Seiten der Produktion kommt es im Zusammenhang mit der Verbreitung einer Technologie zu positiven Skaleneffekten und technologischer Weiterentwicklung und auf Seiten der Nachfrage führt die Verbreitung zu mehr Erfahrung bei der Nutzung der Technologien und zu Netzwerkeffekten (siehe unten).

Solche ausgeprägten Lernkurveneffekte sind empirisch für die verschiedenen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien beobachtet worden. Dabei lässt sich eine deutliche Korrelation zwischen Kostenrückgang und Ausbau einer Technologie feststellen. Für Fotovoltaik wurden bspw. besonders hohe Lernraten von rund 20 % dokumentiert, d. h. mit einer Verdopplung der Fotovoltaik-Nutzung sinken die spezifischen Kosten der Technologie um etwa 20 %. Weisen neuartige Technologien neben anhaltend hohen Lernraten auch große Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen auf, so kann die frühzeitige Verwendung dieser Technologien zu sinkenden GVK im Bereich weitergehender Emissionsreduktionen führen, wie es in Abbildung 4 durch die GVK'-Kurve dargestellt ist.

In der Literatur werden verschiedene Gründe identifiziert, die erklären, warum Kostensenkungspotenziale als Folge von Lernkurveneffekten durch den freien Markt nicht in ausreichendem Maße verfolgt werden (Jaffe u. a. 2004; Goulder, Parry 2008). Im Vordergrund steht dabei das sogenannte „Wissens-Spillover“: Trotz der Möglichkeiten des Patentschutzes kann nicht verhindert werden, dass ein großer Teil der durch die Investitionen in neuartige Technologien auftretenden Vorteile in Form von technologischem und organisatorischem Fortschritt („learning by doing“) anderen Marktakteuren zufällt.

Außerdem profitiert die Allgemeinheit nicht nur dadurch, dass die Herstellungskosten einer Technologie mit zunehmender Produktion sinken, sondern auch dadurch, dass sich die Kosten ihrer Nutzung als Folge von verbesserter Informationslage und Netzwerkeffekten mit zunehmender Verbreitung ebenfalls verringern: Es liegen dann mehr Informationen über die richtige Verwendung der Technologie vor und es gibt eine bessere Infrastruktur für ihre Nutzung, wie bspw. Marktakteure, die Leistungen im Zusammenhang mit der Technologie anbieten (z. B. Montage, Wartung).

Das Auftreten von Wissens-Spillover und Netzwerkeffekten sowie ein allgemein verbesserter Informationsstand führen dazu, dass ein großer Teil des Nutzens von Investitionen in bestimmte neuartige Technologien nicht bei dem ursprünglichen Investor, sondern (später) als positive externe Effekte bei anderen Marktakteuren auftreten. Für Investoren stellt dies ein großes Hemmnis dar, das sich durch den Emissionshandel nicht überwinden lässt.

Einige Kritiker des EEG greifen das Phänomen der Lernkurve auf, bestreiten allerdings, dass damit eine technologiespezifische Förderung zu rechtfertigen ist. Der Wissenschaftliche Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2004) stellt fest, dass „die Lernkurve [...] ein praktisch universelles Phänomen“ sei und führt anschließend auf, dass auch konventionelle Energietechnik von Lernkurveneffekten profitiert habe. Diese Feststellungen sind nicht falsch, sie gehen aber offenkundig am wesentlichen Punkt vorbei: Verschiedene Technologien weisen sehr unterschiedliche Lernraten auf und haben sehr unterschiedliche Potenziale zur zukünftigen Emissionsreduktion.

Selbstverständlich sollte nicht jede Technologie, die Lernkurveneffekte aufweist, staatlich unterstützt werden. Eine solche Unterstützung ist aber für einzelne Klimaschutztechnologien dann sinnvoll, wenn die Lernraten im Vergleich zu anderen Vermeidungstechnologien besonders hoch sind und in der Nutzung der Technologien ein wesentliches Potenzial für den (globalen) Klimaschutz besteht.¹⁷ Denn dann

¹⁷ Viele Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien, wie insbesondere die Fotovoltaik, erfüllen diese Voraussetzungen nach heutigem Wissensstand in besonderem Maße. Die vom Beirat des Bundeswirtschaftsministeriums hervorgehobenen hocheffizienten fossilen Kraftwerke schneiden in dieser Hinsicht deutlich schlechter ab.

rentieren sich die vorab von der Gesellschaft zu leistenden Investitionen durch günstigeren zukünftigen Klimaschutz.

Prof. Sinn, Präsident des ifo Instituts für Wirtschaftsforschung und prominenter Kritiker des EEG, stellt zwar fest, dass Investitionen in neue Technologien zu Lernkurveneffekten führen könnten, die „positive externe Effekte für nachahmende Firmen“ bewirken und daher staatliche Unterstützung rechtfertigen (Sinn 2008), er sieht aber im Bereich der erneuerbaren Energien keinen Grund für eine differenzierte Förderung, wie sie im EEG durch die unterschiedlichen Vergütungssätze erfolgt. Dass das Ausmaß des positiven externen Effektes der Technologieentwicklung umso höher liegt, je höher die Lernrate einer Technologie und je höher ihr Emissionsreduktionspotenzial ist und daher unterschiedlich hohe Fördervolumina sinnvoll sind, erkennt Sinn nicht an.

4.3 Sollte sich technologiespezifische Förderung ausschließlich auf die Unterstützung von Forschung und Entwicklung beschränken?

Einige Kritiker des EEG sprechen sich zwar dafür aus, neuartige und vielversprechende Technologien im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien staatlich zu fördern, sie sehen allerdings die Unterstützung von Forschung und Entwicklung (F & E) als besser geeignetes Politikinstrument an. Um die Marktfähigkeit von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien zu erreichen, könne, so eine Veröffentlichung des RWI, „mit einem Bruchteil der Summe der jährlichen Einspeisevergütungen die Forschung und Entwicklung dieser Technologien stärker als bislang gefördert werden.“ (Fronde, Schmidt 2006) Auch die Monopolkommission spricht sich als Alternative zum EEG neben dem Emissionshandel für die „Förderung der Grundlagenforschung im Bereich der erneuerbaren Energien“ aus (Monopolkommission 2009).

Offenbar fordern sowohl das RWI als auch die Monopolkommission, technologiespezifische Förderung allein auf Forschung und Entwicklung zu beschränken und auf eine Förderung der Markteinführung neuartiger Technologien zu verzichten. Eine solche Forderung steht allerdings in deutlichem Widerspruch zu den theoretischen und empirischen Erkenntnissen der Innovations- und Diffusionsforschung (u. a. Wene 2008; Foxon u. a. 2005; González 2008). Demnach erfordert eine wirksame und effiziente Förderung neuartiger, noch nicht konkurrenzfähiger Technologien einen Mix aus verschiedenen Politikinstrumenten.¹⁸ Welches Förderinstrument für eine bestimmte Technologie am besten geeignet ist, hängt nicht zuletzt vom Entwicklungsstand der jeweiligen Technologie ab.

¹⁸ Abgesehen davon trägt der Ausbau erneuerbarer Energien, anders als die ausschließliche Förderung von F & E, über die Verdrängung konventioneller Energiequellen unmittelbar zur Reduzierung negativer Externalitäten bei.

Die Unterstützung der Markteinführung von Technologien, wie sie durch das EEG verfolgt wird, weist verschiedene Vorteile auf, die allein durch F & E-Anstrengungen nicht erreicht werden könnten. Durch die Markteinführung in signifikanten Stückzahlen muss sich eine Technologie unter realen Bedingungen bewähren. Über den Austausch zwischen Herstellern und Nutzern werden Probleme und Schwächen identifiziert, die – nicht zuletzt aufgrund des auf dem Markt bestehenden Wettbewerbsdrucks – zu technologischen Verbesserungen und Innovationen führen. Erst eine Markteinführung ermöglicht daher die Erschließung der empirisch nachgewiesenen Kostensenkungspotenziale der verstärkten Produktion und Nutzung einer Technologie (Lernkurveneffekt, siehe Abschnitt 5.2.4).

Hinzu kommt, dass einzelne Technologien gerade im Energiesystem nicht isoliert von ihrem Umfeld betrachtet werden können. Durch staatlich unterstützte Markteinführungen werden nicht nur die Technologien entsprechend den Ansprüchen der Nutzer verbessert, sondern es wird auch deutlich, welche Änderungen und Ergänzungen in der technischen und organisatorischen Infrastruktur des Energiesystems notwendig sind, um die neuen Technologien aufnehmen zu können.¹⁹ Eine Beschränkung staatlicher Technologieförderung auf F & E würde zunächst einmal nicht dazu führen, dass neuartige Technologien auf den Markt kommen. In der Folge würden die bestehenden Strukturen des Energiesystems aufrechterhalten und möglicherweise noch gefestigt, was einen späteren Ausbau erneuerbarer Energien erschweren oder teurer machen würde.

Der Ausbau erneuerbarer Energien wirkt hingegen dem auch als „carbon lock-in“ bekannten Phänomen der Verfestigung der Strukturen des bestehenden Energiesystems entgegen (Unruh 2008). Diese Vorteile sind nur mit einer zeitnahen Markteinführung von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien zu erreichen und nicht mit der ausschließlichen Förderung von F & E. So spricht auch der sogenannte *Stern Review* die Empfehlung aus: „In addition to direct emissions pricing through taxes and trading and R&D support, there are strong arguments in favour of supporting deployment in some sectors when spillovers, lock-in to existing technologies, or capital market failures prevent the development of potentially low-cost alternatives.“ (Stern 2006)

Zudem haben sich durch den wirtschaftlichen Erfolg des Erneuerbare-Energien-Sektors Interessensgruppen formiert, deren Einfluss möglicherweise sicherstellen kann, dass die für erfolgreiche Technologieentwicklung notwendige Berechenbarkeit staatlicher Förderung über längere Zeiträume gewährleistet bleibt. Die vergangenen Jahrzehnte haben in Deutschland und anderen Ländern gezeigt, dass die staatlichen Ausgaben für F & E im Energiesektor sowohl in ihrem gesamten Ausmaß, als auch in Bezug auf die geförderten Technologien starken Schwankungen unterliegen. Wechselnde politische

¹⁹ So steigt beispielsweise in Deutschland erst seit dem starken Ausbau der Windenergie und Fotovoltaik in den letzten Jahren die Einsicht, dass neben der technologischen Weiterentwicklung auch verstärkt technische und organisatorische Lösungen für die Integration großer Mengen fluktuierender Stromerzeuger angestrebt werden müssen.

Mehrheiten und sich ändernde staatliche Haushaltslagen können schnell zu Veränderungen und Absenkungen der Forschungsausgaben führen. Der Rückgriff alleine auf das Instrument der F & E-Förderung zum Zweck der aus Klimaschutzgründen dringend notwendigen Weiterentwicklung erneuerbarer Energien erscheint daher auch vor diesem Hintergrund als problematisch.²⁰

4.4 Sind die Arbeitsplatzeffekte durch die Förderung erneuerbarer Energien (netto) vernachlässigbar oder sogar negativ?

Es ist weitgehend unbestritten, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland zahlreiche Arbeitsplätze geschaffen hat, die auch immer stärker vom Export der ursprünglich für Deutschland entwickelten Technologien und der damit zusammenhängenden Dienstleistungen leben.

Aktuelle und umfassende Studien zu der Fragestellung (BMU 2010c; Lehr u. a. 2008) kommen zu dem Ergebnis, dass die Arbeitsplatzeffekte des EEG auch dann positiv sind, wenn die direkten und indirekten Effekte der Förderung, die in anderen Bereichen zu Arbeitsplatzverlusten führen, berücksichtigt werden. Hinzu kommt die Tatsache, dass Jobs in der Branche der erneuerbaren Energien (insbesondere bei der Fotovoltaik und der Biomasse) zu einem erheblichen Anteil in strukturschwachen Regionen entstehen.

4.5 Das EEG erreicht nicht sein Ziel einer Kostenreduktion der Technologien wie am Anstieg des EEG-Fördersatzes der Windenergie seit 2000 deutlich wird

Diese Behauptung findet sich in Frondel u. a. (2010). Hier heißt es: „[T]he 2009 tariffs for electricity produced from biomass and wind converters are above the levels of the year 2000.“ Dabei werden jedoch ungerechtfertigter Weise die *nominalen* Einspeisetarife miteinander verglichen. Inflationsbereinigt liegt der Tarif für die Onshore-Windenergienutzung im Jahr 2009 rund 12 % niedriger als im Jahr 2000.

Hinzu kommt, dass eine Kilowattstunde aus einer neuen Windenergieanlage heute in systemischer Sicht mehr wert ist als eine Kilowattstunde aus einer Anlage des Jahres 2000: Moderne Anlagen übernehmen heute (auch durch das EEG vorgeschrieben) Funktionen zur Netzstabilisierung, die sie in den ersten Jahren der EEG-Förderung noch nicht übernommen haben. Zudem sind heutige Windkraftanlagen deutlich leiser und

²⁰ Dabei soll hier keineswegs der Eindruck entstehen, dass staatlich unterstützte F & E als überflüssig angesehen wird. Erfolgreiche Technologieentwicklung benötigt einen Instrumentenmix. Die staatlichen F & E-Ausgaben im Energiebereich und gerade im Bereich der erneuerbaren Energien sollten dem Problemdruck entsprechend - deutlich erhöht werden, um Grundlagenforschung und Technologievielfalt zu fördern.

platzsparender (pro kWh) als vor zehn Jahren. D. h. die durch den EEG-induzierten Ausbau angestoßene technologische Weiterentwicklung spiegelt sich nicht nur in sinkenden (realen) Kosten der Kilowattstunde wieder, sondern auch in anderen Aspekten.

Die realen Kosten pro Kilowattstunde sind für Onshore-Windenergieanlagen in den letzten zehn Jahren also gesunken, obwohl negative externe Effekte verringert werden konnten²¹, zunehmend auf weniger günstige Wind-Standorte ausgewichen werden musste und zudem eine deutliche Verteuerung des wichtigen Input-Faktors Stahl stattgefunden hat. Dies war ein wesentlicher Grund für den Anstieg der Vergütung in der 2008 beschlossenen EEG-Novelle. Korrekt (in *realen* Preisen) und differenziert betrachtet ist die technologische Entwicklung im Windenergiebereich also ein klares Zeichen für die positiven innovativen Wirkungen des EEG-induzierten Ausbaus.

Der Anstieg der Vergütungssätze für Biomasse gilt nur dann, wenn hohe Anforderungen (u. a. Nutzung der Abwärme) erfüllt werden und dient außerdem der stärkeren Förderung relativ kleiner Anlagen, ein politisch beabsichtigter struktureller Effekt mit positiven regionalwirtschaftlichen Impulsen. Aufgrund der deutlichen Ausdifferenzierung der Vergütungssätze für Biomasse in den EEG-Novellen von 2004 und 2008 in Bezug auf die eingesetzte Biomasse und die Anlagenart, ist ein undifferenzierter Vergleich der Vergütungssätze, wie ihn Frondel u. a. (2010) vornehmen, nicht angemessen. So ließe sich genauso gut beispielsweise auf die Mindestvergütung für mittelgroße Anlagen zwischen 151 und 500 kW verweisen, die zwischen 2000 und 2009 real um 22 % zurückgegangen ist.

²¹ Mit der Reduzierung von negativen externen Effekten sind v. a. die deutliche Reduktion der Lärmbelästigung, der niedrigere spezifische Landschaftsverbrauch und der Beitrag zur Netzstabilität gemeint.

5 Summiert sich die Förderung von Solarstrom durch das EEG für die vergangenen zehn Jahre tatsächlich auf rund 66 Milliarden Euro?

Nach Berechnungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI) belaufen sich die heute bereits fixierten Gesamtkosten für die bis Ende 2010 im Rahmen des EEG geförderten Fotovoltaik-Anlagen – aufsummiert und ausgedrückt im Geldwert von 2007 – auf rund 66 Milliarden Euro₂₀₀₇ (Frondelel u. a. 2010). Bei der Berechnung der Kosten berücksichtigen die RWI-Autoren diejenigen Fotovoltaik-Anlagen, die in den Jahren 2000 bis einschließlich 2010 installiert worden sind. Dabei summieren sie die jährlichen Förderkosten, die für diese Anlagen über deren gesamte Förderzeit anfallen zum sogenannte „Kapitalwert“ der Förderkosten („net present cost“). Das bedeutet, dass nicht nur die bisher geleistete Förderung zwischen 2000 und 2010 in diese Kostenangabe einfließt, sondern auch die Förderungen, die erst in den nächsten beiden Jahrzehnten für diese Anlagen anfallen werden.²² Als Förderkosten werden die Nettokosten (auch Differenzkosten genannt) definiert, die sich aus der Differenz zwischen Einspeisevergütung und Börsenstrompreis ergeben.²³ Damit wird berücksichtigt, dass eine Kilowattstunde Strom aus geförderten erneuerbaren Energien den Kauf einer konventionell erzeugten Kilowattstunde Strom überflüssig macht.

In den vergangenen Jahren haben Autoren des RWI in verschiedenen Veröffentlichungen ähnliche Berechnungen aufgeführt (Frondelel u. a. 2009; Frondelel u. a. 2008). Ihre Kostenberechnungen wurden mehrfach in den Medien aufgegriffen. Dabei wurde aber nicht immer deutlich, dass die vom RWI ermittelten Förderkosten zu einem großen Teil erst in den kommenden zwei Jahrzehnten anfallen werden. So schreibt z. B. *Der Spiegel* in seiner Ausgabe vom 20. September 2010 unter Berufung auf das RWI, dass „sich die Förderung für die vergangenen zehn Jahre laut RWI hochgerechnet auf 60 bis 80 Milliarden Euro“ summiere. Medienberichten von Anfang Oktober schätzen unter Bezug auf das RWI sogar, „dass bis Ende dieses Jahres insgesamt Belastungen von 85 Milliarden Euro durch Solaranlagen entstehen“ (u. a. Frankfurter Rundschau 2010).

²² Aufgrund der 21-jährigen Vergütungsgarantie des EEG (inklusive des Jahres der Inbetriebnahme) wird für Anlagen, die erst im Jahr 2010 errichtet worden sind bzw. noch errichtet werden, eine Förderung bis zum Jahr 2030 anfallen.

²³ Dabei müssen für die RWI-Berechnungen Annahmen über den zukünftigen Börsenstrompreis getroffen werden. Verglichen mit aktuellen Annahmen von Wenzel und Nitsch (2010) ist der von den RWI-Autoren angenommene zukünftige Anstieg der Börsenstrompreise zwar eher moderat, solche langfristigen Annahmen sind aber stets mit hohen Unsicherheiten behaftet und die von den RWI-Autoren angenommene Entwicklung erscheint aus heutiger Sicht innerhalb eines plausiblen Bereichs. Die zukünftigen Strompreise werden daher in der folgenden Prüfung der Berechnungen von Frondelel u. a. (2010) nicht modifiziert. Ebenso bleibt die Annahme einer zukünftigen Inflationsrate von 2 % unverändert.

Worauf diese Erhöhung um bis zu 19 Milliarden Euro gegenüber den Angaben in Frondel u. a. (2010) zurückzuführen ist, geht aus den Medienberichten nicht hervor.²⁴

Im Folgenden wird in Abschnitt 5.1 zunächst ein Überblick über die im Rahmen dieser Kurzanalyse durchgeführten Korrekturen und Ergänzungen der Berechnungen des RWI zu den Förderkosten der Fotovoltaik gegeben. Im darauf folgenden Abschnitt 5.2 werden die vorgenommenen Änderungen an den RWI-Berechnungen jeweils detailliert erläutert.

5.1 Kurzfassung der Prüfung der RWI-Berechnungen zu den Fotovoltaik-Förderkosten

Eine Prüfung aktueller Berechnungen des RWI (Fronde l u. a. 2010) zeigt, dass fehlerhafte Daten, un plausible Annahmen und verschiedene methodische Entscheidungen der Autoren dazu führen, dass die Kosten um mindestens vier Milliarden Euro und um bis zu 20 Milliarden Euro, d. h. um mindesten 6 % und bis zu 42 % zu hoch angegeben werden. In diesen korrigierten Zahlen sind eine Reihe von gesamtwirtschaftlichen Nutzenaspekten noch nicht berücksichtigt, v. a. die Verminderung negativer externer Effekte und das Herbeiführen von Kostensenkungen für zukünftige Fotovoltaik-Investitionen. Die RWI-Berechnungen stellen daher eine deutliche Überschätzung der tatsächlich von den Verbraucherinnen und Verbrauchern zu tragenden Kosten dar.

In jedem Fall sind die folgenden Fehler bzw. un plausible Annahmen in den Berechnungen der RWI-Autoren korrekturbedürftig:

- Die zusätzliche Stromerzeugung von Fotovoltaik-Anlagen im Jahr 2007 wird um 50 % höher angesetzt als sie tatsächlich war.
- Es wird angenommen, dass zwischen 2005 und 2010 alle neu zugebauten Fotovoltaik-Anlagen Kleinanlagen mit einer Leistung von maximal 30 kW_p sind – tatsächlich machen Kleinanlagen gerade mal einen Anteil von rund 60 % der errichteten Anlagenkapazität aus.
- Es wird angenommen, dass jede Fotovoltaik-Anlage auch im 20. Jahr ihres Betriebs noch genau so viel Strom erzeugen wird wie im ersten Jahr.

²⁴ Eine Anpassung des Geldwertes von Euro₂₀₀₇ (wie in Frondel u. a. 2010 verwendet) auf Euro₂₀₁₀ ist denkbar, könnte die Differenz allerdings nur zu einem kleinen Teil erklären: Die 65,5 Milliarden Euro₂₀₀₇ entsprechen nach aktuellem Geldwert etwa 68,2 Milliarden Euro. Auch eine Aktualisierung der Berechnungen um den tatsächlichen Fotovoltaik Ausbau im Jahr 2009 und den mittlerweile erwarteten Ausbau im Jahr 2010 kann den Unterschied nicht erklären, wie am Ende von Abschnitt 5.2.2 gezeigt wird.

- In den RWI-Berechnungen erhalten Anlagen neben dem Jahr ihrer Inbetriebnahme nur für 19 weitere Jahre eine Förderung statt der gesetzlich garantierten 20 Jahre.

Obwohl die Korrektur des letztgenannten Punktes zu einer Erhöhung der Förderkosten führt und wir zusätzlich indirekte Systemkosten des Fotovoltaik-Stroms berücksichtigen, ergibt sich in der Summe ein Fördervolumen, das mit 61,8 Milliarden Euro rund 6 % unter den von den RWI-Autoren ausgewiesenen 65,5 Milliarden Euro liegt.

Quantitativ bedeutsamer sind zusätzliche Aspekte, die in die Berechnungen des RWI nicht einfließen, deren Berücksichtigung aber die ermittelten Förderkosten deutlich reduzieren würde:

- Das zusätzliche Angebot von Strom aus Fotovoltaik führt an der Strombörse zu niedrigeren Preisen (Merit-Order-Effekt, siehe Abschnitt 5.2.2), die wiederum zumindest zum Teil an die Verbraucherinnen und Verbraucher weitergereicht werden.
- Als Betreiberinnen und Betreiber werden (auch) viele Verbraucherinnen und Verbraucher einen Nutzen aus der wahrscheinlich deutlich über den EEG-Förderzeitraum hinausgehenden Betriebszeit der Fotovoltaik-Anlagen haben.
- In der Zukunft anfallende Kosten werden gegenüber gegenwärtigen Kosten üblicherweise niedriger gewichtet (Diskontierung).

Werden diese Aspekte berücksichtigt, so sinkt der von den RWI-Autoren berechnete Kapitalwert der Förderkosten unter unseren Annahmen (siehe folgender Abschnitt) um weitere 16 Milliarden Euro. Insgesamt würde der Kapitalwert damit mit 46 Milliarden Euro rund 30 % unter dem RWI-Wert liegen. Anders formuliert bedeutet dies, dass die RWI-Berechnungen, die den Kapitalwert der Förderkosten auf 65,5 Milliarden Euro beziffern, um 42 % zu hoch ausfallen.²⁵

Quantitativ ist dabei noch nicht berücksichtigt, dass als Folge der Fotovoltaik-Förderung ein zusätzlicher Nutzen durch die Reduzierung negativer externer Effekte auftritt. Eine Anrechnung dieser vermiedenen externen Effekte, deren Quantifizierung insbesondere für die kommenden zwei Jahrzehnte aber kaum möglich ist, würde die tatsächlichen Nettokosten der Fotovoltaik-Förderung weiter deutlich reduzieren.

Letztlich berücksichtigen die RWI-Berechnungen auch in keiner Weise den zukünftigen weltweiten Nutzen durch die deutliche Kostensenkung der Fotovoltaik-Technologie, die erst durch die Förderung der letzten zehn Jahre möglich geworden ist (vgl. Abschnitt 5.2.4).

²⁵ Grundsätzlich ist zu kritisieren, dass für einige ergebnisbestimmende Faktoren, über deren zukünftiges Ausmaß große Unsicherheit besteht (z. B. Strompreisentwicklung und Ausmaß und zeitliche Entwicklung des Merit-Order-Effekts), keine Sensitivitätsrechnungen durchgeführt werden, um dies zu reflektieren.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Wirkungen der einzelnen Korrekturen und Erweiterungen der RWI-Berechnungen auf den in Frondel u. a. (2010) ausgewiesenen Kapitalwert der bisher geleisteten und zugesagten Fotovoltaik-Förderkosten.

	Anpassung	Förderkosten (in Mrd. € ₂₀₀₇)	Änderung (einzeln betrachtet, in Mrd. € ₂₀₀₇)	Änderung (kumuliert, in Prozent) gegenüber ursprünglichem Wert
Ursprünglicher Wert		65,5		
Korrekturen	Berücksichtigung niedrigerer Vergütungssätze für Großanlagen	62,9	- 2,6	- 3,9 %
	Korrektur der Stromerzeugung der im Jahr 2007 errichteten Anlagen	60,1	- 2,9	- 8,3 %
	Berücksichtigung des Alterungseffekts von Fotovoltaik-Modulen	59,1	- 1,0	- 9,8 %
	21-jährige Vergütung und Berücksichtigung der indirekten Kosten	61,8	+ 2,7	- 5,6 %
	Korrekturen gesamt	61,8	- 3,7	- 5,6 %
Zusätzliche Berücksichtigung quantifizierbarer Aspekte	Berücksichtigung des Merit-Order-Effekts (geschätzt)	58,4	- 3,4	- 10,8 %
	Berücksichtigung der Stromerzeugung nach Beendigung des Förderzeitraums	54,7	- 3,7	- 16,5 %
	Diskontierung der anfallenden Förderkosten auf das Jahr 2010 (Diskontrate = 3 %)	46,0	- 8,7	- 29,8 %
	Zusätzliche Aspekte (inkl. Korrekturen)	46,0	- 19,5	- 29,8 %
Nicht quantifizierbare Aspekte	Berücksichtigung negativer externer Effekte	↓	↓	↓
	Berücksichtigung des Herbeiführens von Kostensenkungen bei der Technologie)	↓	↓	↓

Tabelle 1: Überblick über die im folgenden Abschnitt detailliert beschriebenen Änderungen an den Berechnungen von Frondel u. a. (2010). Ausgangspunkt ist der von den RWI-Autoren ermittelte Kapitalwert der bisher und zukünftig anfallenden Förderkosten aller zwischen 2000 und 2010 errichteten Fotovoltaik-Anlagen.

Eine ausgewogene Bewertung der Förderung von Fotovoltaik-Anlagen sollte die gesamten Kosten den gesamten Nutzen gegenüberstellen. Das Ausblenden eines großen Teils des Nutzens bei gleichzeitiger Überhöhung der Kosten als Folge unplausibler Annahmen bildet keine geeignete Grundlage für eine sachliche politische und gesellschaftliche Diskussion über die gegenwärtige Fotovoltaik-Förderung.

5.2 Detaillierte Analyse der RWI-Berechnungen zu den Fotovoltaik-Förderkosten

5.2.1 Korrekturen der RWI-Berechnungen

Korrektur der durchschnittlichen jährlichen Einspeisevergütung

Die RWI-Autoren setzen ab dem Jahr 2005 als Vergütungssatz für jede erzeugte Kilowattstunde Fotovoltaik-Strom jeweils den höchstmöglichen Vergütungssatz an, der tatsächlich aber nur für Kleinanlagen mit einer Leistung von weniger als oder gleich 30 kW_p gilt. Der Strom aus größeren Fotovoltaik-Anlagen wird aber mit niedrigeren Sätzen vergütet. Zwar liegen auch uns keine umfassenden Statistiken vor über die Verteilung des Fotovoltaik-Zubaus auf Anlagengrößen pro Jahr. Aber es ist offensichtlich, dass ein nicht unerheblicher Teil der neuen Anlagen größer als 30 kW_p ist und somit eine zum Teil deutlich geringere Vergütung pro Kilowattstunde erhält.

Näherungsweise haben wir angenommen, dass für die Jahre 2005 bis 2010 die Anteile der Neuanlagen an den im EEG unterschiedenen Anlagengrößen konstant sind und den Anteilen entsprechen, die von der Bundesnetzagentur mit Stand Ende 2008 für alle bestehenden, nach EEG vergüteten Fotovoltaik-Anlagen bekannt gegeben wurden (Bundesnetzagentur 2010). Demnach entfallen lediglich 62 % der Gesamtleistung aller Anlagen auf die kleinen Anlagen bis 30 kW_p.²⁶ Werden diese plausibleren Zahlen für die Berechnungen zu Grunde gelegt, kommt es zu einer Reduktion der Förderkosten um etwa 2,6 Milliarden Euro auf 62,9 Milliarden Euro. Gegenüber den vom RWI angegebenen 65,5 Milliarden Euro entspricht dies einer Reduktion um knapp 4 %.

Korrektur der zusätzlichen Stromeinspeisung der 2007 errichteten Anlagen

Werden die aktuellen Zahlen des Bundesumweltministeriums (BMU 2010d) zu Grunde gelegt um die Stromerzeugung von neuen Anlagen (näherungsweise) abzuleiten, so ergibt sich für das Jahr 2007 eine deutliche Abweichung von der Angabe der RWI-Autoren. Diese setzen für 2007 eine zusätzliche Stromerzeugung von 1,28 Milliarden kWh an, während die zusätzliche Stromerzeugung mit 0,85 Milliarden kWh tatsächlich

²⁶ Weitere 17 % entfallen auf Anlagen mit einer Größe zwischen 30 und 100 kW, 8 % entfallen auf Anlagen mit einer Größe zwischen 100 kW und 500 kW und die restlichen 13 % auf Anlagen, die größer als 500 kW sind.

deutlich niedriger lag. Für das Jahr 2008 stimmen die Angaben der Autoren wieder mit der aktuellen Statistik des BMU weitgehend überein (jeweils rund 1,3 Milliarden kWh zusätzlich).

In einer früheren Veröffentlichung der RWI-Autoren aus dem Jahr 2008 wird für das Jahr 2007 die gleiche (zu hohe) Zahl genannt und als Quelle auf eine Veröffentlichung des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW) verwiesen. In der zitierten Veröffentlichung des BSW konnten wir die entsprechende Angabe aber weder finden noch ableiten. In jedem Fall handelt es sich aber offensichtlich um eine Prognose. In ihren späteren Veröffentlichungen haben die Autoren diese zu hoch gegriffene Prognose offenbar nicht korrigiert.

Eine Korrektur der zusätzlichen Stromeinspeisung durch Fotovoltaik-Anlagen im Jahr 2007 führt zu einer zusätzlichen Reduktion der Förderkosten um knapp 3 Milliarden Euro auf 60,1 Milliarden Euro. Gegenüber dem ursprünglichen Wert stellt dies – gemeinsam mit der vorherigen Korrektur – eine Reduktion um 8 % dar.

Korrektur zur Berücksichtigung des Alterungseffekts von Fotovoltaik-Modulen

Im Laufe seiner Betriebszeit verringert sich der Wirkungsgrad eines Fotovoltaik-Moduls. In der Literatur wird für die heute dominierenden kristallinen Silizium-Solarzellen ein Wirkungsgradrückgang (auch „Degradationsrate“ genannt) von 0,2 % bis maximal 1 % pro Jahr berichtet (Vázquez, Rey-Stolle 2008; Zweibel 2010). Ein jährlicher Wirkungsgradrückgang um 0,5 % würde beispielsweise bedeuten, dass die Stromerzeugung einer Fotovoltaik-Anlage im 20. Betriebsjahr etwa 10 % niedriger ausfällt als im ersten Jahr. Dieser Effekt wird von den RWI-Autoren nicht berücksichtigt. Sie nehmen stattdessen an, dass eine Fotovoltaik-Anlage auch nach 20 Jahren die gleiche Strommenge erzeugt wie im ersten Jahr.

Wird diese Annahme korrigiert und stattdessen ein linearer Rückgang der Stromproduktion pro Anlage um 0,25 % unterstellt²⁷, so verringert sich das Fördervolumen um eine weitere Milliarde Euro, auf 59,1 Milliarden Euro. Gegenüber dem ursprünglichen Wert stellt dies – gemeinsam mit den vorherigen beiden Korrekturen – eine Reduktion um 10 % dar.

Korrekturen, die die Kosten erhöhen

Neben dem zuvor beschriebenen Korrekturbedarf gibt es außerdem vom RWI unberücksichtigte Effekte, die den Kapitalwert der Kosten etwas *ansteigen* lassen.

²⁷ Hier wird ein Wert für die Degradationsrate herangezogen, der sich am unteren Ende der Literaturangaben befindet. Ein solch niedriger Wert wurde in erster Linie deshalb gewählt, um eine vorsichtige Berechnung des Korrekturbedarfs der RWI-Angaben durchzuführen. Sollte die Degradationsrate beispielsweise bei 0,75 % liegen, so würden sich die vom RWI errechneten Nettogegenwartskosten um etwa drei Milliarden Euro anstatt um eine Milliarde Euro verringern.

Zum einen gehen die RWI-Autoren in ihren Berechnungen davon aus, dass neue Fotovoltaik-Anlagen im Jahr ihrer Inbetriebnahme sowie in den folgenden 19 Jahren eine Einspeisevergütung nach dem EEG erhalten. Das EEG garantiert aber eine Einspeisevergütung über 20 Jahre, *zusätzlich* zum Jahr der Inbetriebnahme.

Zum anderen werden in den Berechnungen keine Kosten berücksichtigt, die durch den Ausbau erneuerbarer Energien indirekt entstehen und letztlich von den Verbraucherinnen und Verbrauchern zu tragen sind. Diese indirekten Kosten umfassen insbesondere Kosten für zusätzliche Regel-/Ausgleichsenergie, außerdem Kosten durch den Ausbau des Stromnetzes sowie Transaktionskosten, d. h. administrative Kosten, die bei den Unternehmen der Energiewirtschaft als Folge der Umsetzung des EEG entstehen.

Werden das zusätzliche Förderjahr sowie die indirekten Kosten berücksichtigt²⁸, so steigt der vom RWI berechnete Kapitalwert der Kosten wiederum um rund 2,7 Milliarden Euro an. Sie liegen damit – zusammen mit den vorherigen Korrekturen – bei 61,8 Milliarden Euro und damit um knapp 6 % unter den von den RWI-Autoren errechneten Kosten.

5.2.2 Berücksichtigung zusätzlicher Aspekte

Berücksichtigung um mögliche Merit-Order-Wirkungen auf die Strompreise

Obwohl die RWI-Autoren ihre Berechnungen unter dem Titel „Langwährende Lasten für die Stromverbraucher“ erstellen, berücksichtigen sie einen in der wissenschaftlichen Literatur viel diskutierten indirekten Effekt der Fotovoltaik-Förderung auf die Kosten für den Endverbraucher nicht: Dadurch, dass der durch das EEG geförderte und bevorzugt abzunehmende Strom aus erneuerbaren Energien einen Teil der Stromnachfrage deckt, muss weniger Strom aus konventionellen Kraftwerken (d. h. aus fossilen und nuklearen Kraftwerken) bereitgestellt werden. Dies bedeutet, dass Kraftwerksbetreiber in vielen Situationen auf bestimmte, im Betrieb vergleichsweise teure Kraftwerke nicht zurückgreifen müssen. Da sich der Strompreis an der Strombörse immer an dem teuersten Kraftwerk orientieren muss (Merit-Order-Effekt), damit dieses Kraftwerk noch wirtschaftlich betrieben werden kann, führt ein seltenerer Einsatz teurer Kraftwerke zu einem Rückgang des durchschnittlichen Strompreises an der Strombörse.

²⁸ Die indirekten Kosten der zwischen 2000 und 2010 errichteten Fotovoltaik-Anlagen können dabei nur grob anhand entsprechender Angaben in der Literatur (izes u. a. 2010) abgeschätzt werden. Dabei mussten – da keine genaueren und belastbaren Daten/Schätzungen vorliegen – insbesondere die vereinfachten Annahme getroffen werden, dass eine Kilowattstunde Fotovoltaik-Strom anteilmäßig genau so viele indirekte Kosten verursacht wie eine Kilowattstunde von jedem anderen erneuerbaren Energieträger und dass die auf die bestehenden Fotovoltaik-Anlagen zu beziehenden Kosten für Regel-/Ausgleichsenergie in Zukunft konstant bleiben.

Werden die niedrigeren Preise an der Strombörse an die Endkunden weitergereicht²⁹, führt dieser Merit-Order-Effekt dazu, dass Verbraucherinnen und Verbraucher durch die Förderung erneuerbarer Energien für eine Kilowattstunde konventionell erzeugten Strom weniger zahlen müssen im Vergleich zu der (hypothetischen) Situation, in der es die Förderung nicht geben würde. Es sollte daher bei einer Berechnung der Kosten der Förderung erneuerbarer Energien für die Verbraucherinnen und Verbraucher dieser auf den Strompreis dämpfend wirkende indirekte Effekt berücksichtigt und den direkten Förderkosten gegengerechnet werden. Dies geschieht in den Berechnungen des RWI nicht. Trotz unterschiedlicher Ansichten über das Ausmaß der Wirkungen des Merit-Order-Effekts ist es aus unserer Sicht nicht plausibel anzunehmen (wie implizit durch die RWI-Autoren geschehen), dass der Merit-Order-Effekt *keinerlei* Wirkungen auf die Strompreise der Verbraucherinnen und Verbraucher hat.

Verschiedene Studien haben für die vergangenen Jahre den sich durch die Förderung erneuerbarer Energien ergebenden Merit-Order-Effekt modelliert. Für die Ergänzung der RWI-Berechnungen um den Merit-Order-Effekt greifen wir auf drei verschiedenen Publikationen zurück (BMU 2007; Sensfuß u. a. 2008; izes u. a. 2010), die Angaben für die Jahre 2001 sowie 2004 bis 2008 zu dem gesamten, d. h. durch alle EEG-geförderten erneuerbaren Energien ausgelösten Merit-Order-Effekt machen. Für die restlichen Jahre wurden vereinfachende Annahmen gemacht, insbesondere wurde angenommen, dass der Merit-Order-Effekt sich in den nächsten Jahren kontinuierlich verringert und bis 2020 auf null reduziert.³⁰ Es wird zudem aufgrund nicht vorliegender Berechnungen zu den einzelnen Energieträgern vereinfacht angenommen, dass der Merit-Order-Effekt allen erneuerbaren Energien in gleichem anteiligem Verhältnis zugerechnet werden kann.

Werden unter diesen Annahmen die Förderkosten für die Endverbraucher um den Effekt der Merit-Order reduziert, so verringern sich die vom RWI berechneten Förderkosten über den gesamten Betrachtungszeitraum um weitere 3,4 Milliarden Euro.³¹ Sie belaufen sich dann, gemeinsam mit den im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Korrekturen, auf 58,4 Milliarden Euro. Gegenüber dem ursprünglichen Wert stellt dies eine Reduktion um 11 % dar.

²⁹ Ein *vollständiges* Weiterreichen setzt insbesondere voraus, dass der Markt für Endkunden wettbewerbsorientiert ist.

³⁰ Zu den Gründen, warum mittelfristig eine Verringerung des Effekts erwartet wird, siehe u. a. BMU 2007. Die hier getätigte Annahme, dass sich der Effekt bis 2020 vollständig auflöst, kann als eher unwahrscheinliche Annahme angesehen werden, die aber getroffen wird, um den Merit-Order-Effekt vorsichtig abzuschätzen.

³¹ Wird *nicht* von einer vollständigen Weitergabe der geringeren Strombezugskosten durch den Merit-Order-Effekt an die Endverbraucherinnen und -verbraucher ausgegangen, so reduziert sich dieser Betrag entsprechend anteilig.

Berücksichtigung einer längeren Betriebszeit von Fotovoltaik-Anlagen

Es ist unwahrscheinlich, dass die Fotovoltaik-Anlagen nach Beendigung ihrer Vergütung über das EEG keinen Strom mehr erzeugen können oder bewusst stillgelegt werden. Erfahrungen mit Fotovoltaik-Anlagen, die in den 1980er Jahren errichtet wurden sowie Laboruntersuchungen legen nahe, dass die durchschnittliche Lebensdauer von Fotovoltaik-Modulen mindestens 25 bis 30 Jahre beträgt (Dunlop, Halton 2005; Zweibel 2010). Aufgrund der vernachlässigbaren Wartungskosten von Fotovoltaik-Anlagen (etwa alle zehn Jahre muss der Wechselrichter ausgetauscht werden) ist davon auszugehen, dass die Anlagen trotz der zuvor erwähnten leichten Wirkungsgradverluste im Zeitverlauf auch nach Auslaufen der EEG-Förderung weiter betrieben werden.

Die extrem günstige Stromerzeugung nach Abschreibung der Anlagen hat in jedem Fall volkswirtschaftliche Vorteile. Es kann argumentiert werden, dass zumindest ein Teil dieser Vorteile einen zusätzlichen Nutzen für Verbraucherinnen und Verbraucher darstellt, denn größtenteils sind viele von ihnen auch diejenigen, die die Anlage betreiben.

Um diesen Vorteil in den Berechnungen zu berücksichtigen, nehmen wir vorsichtig eine durchschnittliche Betriebsdauer von 25 bis 26 Jahren pro Anlage an. Dies bedeutet, dass jede Anlage noch für fünf Jahre nach Auslaufen der EEG-Förderung Strom erzeugen wird. Wird der Nutzen dieses Stroms auch weiterhin mit dem erwarteten Börsenstrompreis bewertet, so ergibt sich ein zusätzlicher Nutzen in der Höhe von 3,7 Milliarden Euro, die von den bisher errechneten Förderkosten abgezogen werden kann.³² Somit verringert sich das Fördervolumen auf rund 55 Milliarden Euro. Gegenüber dem ursprünglichen Wert stellt dies – gemeinsam mit den vorherigen Korrekturen – eine Reduktion um 16 % dar.

Berücksichtigung einer möglichen Zeitpräferenz der Verbraucherinnen und Verbraucher

Grundsätzlich kann die Aufsummierung der Förderkosten zu einem einzelnen Wert (von den Autoren als Kapitalwert der Kosten bezeichnet) leicht missverstanden werden. Die gesamten Förderkosten fallen für die Verbraucherinnen und Verbraucher schließlich nicht alle in einem Jahr an und sind auch nicht allein zwischen den Jahren 2000 und 2010 angefallen, sondern verteilen sich über drei Jahrzehnte. Aussagekräftiger und für die Stromverbraucherinnen und -verbraucher von deutlich größerer Bedeutung sind die jährlichen anfallenden Differenzkosten bzw. die EEG-Umlage (vgl. Kapitel 3).

Wenn jedoch ein Kapitalwert von Kosten errechnet wird, so ist es üblich, diejenigen Kosten die in Zukunft anfallen, zu diskontieren, d. h. gegenüber heute anfallenden Kosten weniger stark zu gewichten. Dahinter steckt vereinfacht gesagt die Annahme,

³² Dabei ist unterstellt, dass der Nutzen einer längeren Betriebszeit vollständig den Verbraucherinnen und Verbrauchern angerechnet werden kann. Dieser „optimistischen“ Unterstellung steht die eher vorsichtige Annahme einer durchschnittlichen Betriebszeit von 25 bis 26 Jahren gegenüber.

dass Kostenbelastungen in der Zukunft aufgrund eines dann erwarteten höheren Wohlstandes (bzw. Pro-Kopf-BIP) leichter zu verkraften sind als in der Gegenwart. Eine solche Diskontierung erfolgt in den RWI-Berechnungen nicht. Das *Umweltbundesamt (UBA)* empfiehlt für den hier relevanten Zeitraum von etwa 20 Jahren die Verwendung einer Diskontrate von 3 % pro Jahr (vgl. UBA 2007). Würde eine solche Diskontrate zugrunde gelegt, so sänke der Kapitalwert der Förderkosten deutlich, und zwar um weitere 8,7 Milliarden Euro auf 46,0 Milliarden Euro.³³ Gegenüber dem ursprünglichen Wert stellt dies – gemeinsam mit den vorherigen Korrekturen – eine Reduktion um 30 % dar.

³³ Diese Verringerung des Kapitalwerts der Förderkosten tritt ein, weil die geringere Gewichtung zukünftiger Kosten die höhere Gewichtung vergangener Kosten (Kosten, die zwischen 2000 und 2009 angefallen sind) deutlich überkompensiert.

Aktualisierung der Angaben in Frondel u. a. (2010) zur zusätzlichen Stromerzeugung neuer Fotovoltaik-Anlagen in 2009 und 2010

Zum Zeitpunkt der Berechnungen des RWI lagen noch keine Daten für 2009 vor und ebenfalls nicht die mittlerweile verfügbaren Schätzungen für die zusätzliche Stromerzeugung aus Anlagen, die 2010 errichtet wurden bzw. noch errichtet werden. Eine Aktualisierung zeigt, dass der Fotovoltaik-Ausbau im Jahr 2009 von den Autoren (bzw. von der Quelle, auf die sie sich berufen) überschätzt wurde, während der Ausbau 2010 wahrscheinlich unterschätzt wurde. Im Jahr 2009 nehmen die Autoren eine zusätzliche Stromeinspeisung aus Fotovoltaik-Anlagen von 3,1 Mrd. kWh an, während der tatsächliche Wert bei 2,2 Mrd. kWh lag (BMU 2010d). Im Jahr 2010 wurden von den Autoren ebenfalls 3,1 Mrd. kWh zusätzlicher Strom aus Fotovoltaik-Anlagen angenommen, während die Zahl aufgrund aktueller Schätzungen (BMU 2010b; Energy Brainpool 2010) eher bei etwa 4 bis 5 Mrd. kWh liegen dürfte.³⁴

Werden die RWI-Berechnungen (Fronde l u. a. 2010) für 2009 und 2010 aktualisiert³⁵ und bleiben ansonsten unverändert, so steigt der errechnete Kapitalwert der Förderkosten von 65,5 auf 69,6 Milliarden Euro. Werden auf diesen aktualisierten Stand die unter Abschnitt 5.2.1 besprochenen Korrekturen angewandt, so sinkt der Wert auf 63,2 Milliarden Euro.³⁶ Wird dieser Wert, der aus unserer Sicht als das Maximum des Kapitalwerts der Förderung der Fotovoltaik angesehen werden kann, im aktuellen Wert des Euros angegeben, wird also die Inflation zwischen 2007 und 2010 berücksichtigt, so ergibt sich ein Betrag von 65,7 Milliarden Euro. Dieser Wert liegt um knapp 20 Milliarden Euro unter der aktuell in den Medien (u. a. Frankfurter Rundschau 2010) unter Berufung auf das RWI genannten Zahl von 85 Milliarden Euro.

Werden des Weiteren die in diesem Abschnitt diskutierten zusätzlichen Aspekte berücksichtigt, verringert sich der Kapitalwert der Förderkosten auf 47,5 Milliarden Euro₂₀₀₇. Dem Gegenüber stehen viele verschiedene Nutzenaspekte des Ausbaus der Fotovoltaik (siehe die folgenden zwei Abschnitte), die diesen Kosten gegenüberzustellen sind.

³⁴ In den Berechnungen des RWI wird angenommen, dass die (gegenüber dem jeweiligen Vorjahr) zusätzliche Stromerzeugung von Fotovoltaik-Anlagen in einem bestimmten Jahr der typischen Stromerzeugung der in diesem Jahr neu errichteten Anlagen entspricht. Diese Annahme führt zwar zu Ungenauigkeiten, insbesondere weil nicht alle neuen Anlagen Anfang des Jahres in Betrieb gehen, kann aber aufgrund nicht vorhandener genauerer Daten als Annäherung für die Stromerzeugung aus neuen Anlagen angesehen werden.

³⁵ Zugrunde gelegt ist für 2010 eine zusätzliche Stromeinspeisung in Höhe von 4,5 Mrd. kWh.

³⁶ Analog zu den Angaben in Frondel u. a. (2010) wird hier stets der Euro im Geldwert von 2007 angegeben.

5.2.3 Fehlende Berücksichtigung externer Effekte (nicht quantifiziert)

Ein grundsätzlicher Kritikpunkt an den Ergebnissen der RWI-Autoren ist die Tatsache, dass eine Kilowattstunde Strom aus einer Fotovoltaik-Anlage genau so bewertet wird, wie eine Kilowattstunde Strom aus konventioneller Erzeugung. Die zahlreichen Vorteile der Stromproduktion durch Fotovoltaik, bzw. durch erneuerbare Energien im Allgemeinen gegenüber der Stromproduktion in fossilen Kraftwerken und Atomkraftwerken werden nicht berücksichtigt bzw. sie werden zum Teil (vgl. Abschnitte 4.1 und 4.4) auch bestritten. Diese Vorteile sind insbesondere:

- Reduktion der CO₂-Emissionen (gegenüber fossilen Kraftwerken)
- Verringerung der Emissionen weiterer Treibhausgase und Luftschadstoffe wie z. B. SO₂, NO_x, N₂O etc. (gegenüber fossilen Kraftwerken)
- Reduktion der Importabhängigkeit
- Schonung endlicher Energieressourcen und somit Beitrag zur Reduktion der Gefahr geo-politischer Auseinandersetzungen um knapper werdende Ressourcen
- Erzeugung inländischer Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen
- Keine Risiken durch große Unfälle (insbesondere gegenüber Atomkraftwerken)
- Keine Risiken durch Proliferation und nukleare Endlagerung (gegenüber Atomkraftwerken)

Bei diesen Vorteilen handelt es sich um „externe Effekte“, d. h. um Effekte, die von den Marktakteuren nicht oder nicht in vollem Umfang berücksichtigt werden (müssen) und sich daher auch nicht in Marktpreisen widerspiegeln. Zum Teil sind diese Effekte nur schwer oder gar nicht in Geldeinheiten auszudrücken. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Effekte unbedeutend sind und vernachlässigt werden sollten. Die gesamte Gesellschaft und damit auch alle Verbraucherinnen und Verbraucher profitieren zum Teil kurzfristig, zum Teil auch erst mittel- bis langfristig von diesen Vorteilen. Ausdrücklich verfolgt der Gesetzgeber diese Ziele durch das EEG, wie in der Begründung des Gesetzes nachzulesen ist (BMU 2008).

5.2.4 Fehlende Berücksichtigung der positiven Effekte auf die technologische Entwicklung (nicht quantifiziert)

Ein zentrales Ziel der derzeitigen Förderung erneuerbarer Energien und speziell der Fotovoltaik ist die Realisierung von Kostensenkungen (BMU 2008). Im Gegensatz zu konventionellen Technologien der Stromerzeugung finden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien erst seit wenigen Jahrzehnten in größerem Maße Verwendung. Da diese Technologien vergleichsweise neu sind und zudem aufgrund ihrer zumeist dezentralen und kleinteiligen Verwendung in relativ hoher Anzahl produziert werden, lassen sich die spezifischen Kosten, d. h. die Kosten für eine Anlage einer bestimmten

Größe, durch eine erhöhte Produktion kontinuierlich senken. Das Phänomen sinkender Stückkosten als Folge einer erhöhten Produktion wird als „Lernkurveneffekt“ bezeichnet.

Wichtig ist dabei zu betonen, dass der Kostenrückgang bei einer neuen Technologie nicht in erster Linie abhängig vom Zeitverlauf ist, sondern vor allem von der produzierten Menge der Technologie abhängt. Dieser Zusammenhang ist durch zahlreiche empirische Untersuchungen belegt. D. h. solange nicht in eine Technologie investiert wird, wird diese Technologie auch nicht günstiger. Es ist daher nicht möglich mit dem Ausbau einfach „abzuwarten“, bis sich die Kosten von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien reduziert haben.

Die Erfahrungen der vergangenen zehn Jahre mit der Förderung erneuerbarer Energien durch das EEG hat den Zusammenhang zwischen Technologieinvestitionen und Kostenrückgang eindrucksvoll aufgezeigt. Dies gilt in besonderem Maße für die Fotovoltaik. Bedingt durch die starke Produktionsausweitung als Folge der durch die EEG-Förderung induzierten Nachfrage, sanken die Produktionskosten einer Fotovoltaik-Anlage deutlich. Abbildung 5 zeigt, wie sich der Rückgang der Produktionskosten zwischen 2006 und 2010 auf die Preise niedergeschlagen hat. Analog dazu sank auch die Einspeisevergütung für Strom aus neuen Fotovoltaik-Anlagen: Gegenüber der ursprünglichen Vergütung im Jahr 2000 sind die Vergütungssätze preisbereinigt bei größeren Anlagen um über 50 % gesunken.

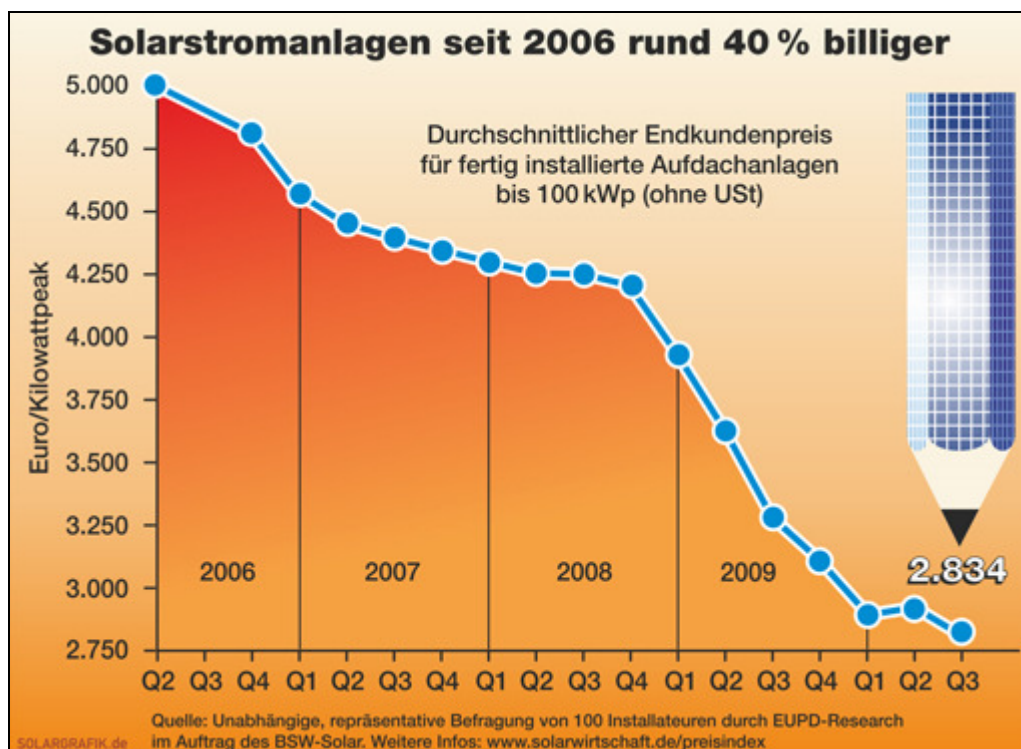


Abbildung 5: Preisentwicklung für fertig installierte Fotovoltaik-Aufdachanlagen bis 100 kWp zwischen 2006 und 2010 (Quelle: www.solarwirtschaft.de/preisindex)

Sofern in Deutschland und weltweit die Klimaschutzziele bis 2050 eingehalten werden sollen, so muss die Fotovoltaik aus heutiger Sicht eine wichtige Rolle im zukünftigen Stromsystem spielen. Aktuelle Klimaschuttszenarien für Deutschland rechnen mit einem Anstieg des Stromanteils der Fotovoltaik von rund 1 % (2009) auf 5 bis 15 % im Jahr 2050 (WWF 2009; BMU 2009; SRU 2010; BMWi 2010). Weltweit wird der Anteil der Fotovoltaik an der gesamten Stromerzeugung noch weitaus deutlicher steigen müssen, je nach Klimaschuttszenario von 0,02 % im Jahr 2007 (IEA 2010a) auf 6 bis 16 % bis Mitte des Jahrhunderts (IEA 2010b; EREC, Greenpeace 2010). Die Fotovoltaik gilt also – aufgrund des extrem hohen Potenzials der Sonnenenergie – als eine zentrale Technologie für zukünftigen Klimaschutz, sowohl in Deutschland, als auch weltweit.

Indem heute in diese Technologie investiert wird, sinken die Kosten für den zukünftigen Ausbau, der nicht zuletzt aus Klimaschutzgründen voraussichtlich unerlässlich sein wird. Ein erheblicher Teil des Nutzens der Fotovoltaik-Förderung der vergangenen zehn Jahre wird also erst bei zukünftigen Investitionen anfallen (in Form deutlich günstigerer Investitionskosten). Dies ist ein wesentlicher Grund, warum der Fotovoltaik-Ausbau nach der Vorgehensweise der RWI-Autoren systematisch zu negativ bewertet wird, denn es wird nicht berücksichtigt, dass die Fotovoltaik eine wichtige Zukunftstechnologie ist. Ein zentraler Nutzen der Fotovoltaik-Förderung der letzten Jahre wird somit einfach ausgeblendet.

In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, dass nicht nur Deutschland zukünftig von den geringeren Investitionskosten der Fotovoltaik profitiert, sondern auch andere Ländern. In den vergangenen zehn Jahren wurde in Deutschland weltweit mit Abstand am meisten Fotovoltaik-Kapazität zugebaut. Von den durch diese Investitionen angestoßenen Kostensenkungen profitieren auch andere Länder, die aufgrund der günstigeren Technologiekosten verstärkt in die Fotovoltaik investieren. Insofern kann die gegenwärtige Förderung der Fotovoltaik auch als ein Beitrag Deutschlands zum weltweiten Klimaschutz angesehen werden. Von der erhöhten Nachfrage nach Fotovoltaik-Anlagen im Ausland profitieren dabei zusätzlich auch die deutschen Fotovoltaik-Hersteller sowie ihre Zulieferer (z. B. Halbleiter- und Glasindustrie, Maschinenbau) durch einen wachsenden Export-Markt.

6 Literatur

- BMU (2007):** Fachgespräch zum „Merit-Order-Effekt“, Abgestimmtes Thesenpapier, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/thesenpapier_meritordereffekt.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2008):** EEG 2009 - Konsolidierte Begründung, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2009_begr.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2009):** Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland - Leitszenario 2009, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitszenario2009_bf.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2010a):** Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2009, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab_2009.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2010b):** Einfluss der Förderung erneuerbarer Energien auf den Haushaltsstrompreis in den Jahren 2009 und 2010 – einschl. Ausblick auf das Jahr 2011, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_ee_umlage_bf.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2010c):** Erneuerbare beschäftigt, Kurz- und langfristige Arbeitsplatzwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_erneuerbar_beschaeftigt_bf.pdf (Stand: 09.10.2010).
- BMU (2010d):** Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/msexcel/ee_zeitreihe.xls (Stand: 09.10.2010).
- BMWi (2010):** Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/studie-energieszenarien-fuer-ein-energiekonzept,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand: 09.10.2010).

- Bundesnetzagentur (2010):** EEG-Statistikbericht 2008, <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/153014/publicationFile/6555/100427StatistikberichtEEG2008pdf.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- Bundesregierung (2010):** Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/energiekonzept-2010,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- Dunlop, E. D.; Halton, D. (2005):** The performance of crystalline silicon photovoltaic solar modules after 22 years of continuous outdoor exposure, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Band 14, S. 53-64.
- Energy Brainpool (2010):** Prognose der EEG-Umlage 2011, http://www.neue-energieanbieter.de/data/uploads/20100818_eeg_umlage_2011_energy_brainpool.pdf (Stand: 09.10.2010).
- EREC; Greenpeace (2010):** Energy [R]evolution – A sustainable world energy outlook, <http://www.energyblueprint.info/> (Stand: 09.10.2010).
- Fischedick, M.; Samadi, S. (2010):** Die grundsätzliche wirtschaftstheoretische Kritik am Erneuerbare-Energien-Gesetz greift zu kurz, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Band 60, S. 122-128.
- Foxon, T. J.; Grossa, R.; Chaseb, A.; Howesb, J.; Arnallc, A.; Anderson, D. (2005):** UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and system failures, in: Energy Policy, Band 33, 2005, S. 2123-2137.
- FR – Frankfurter Rundschau (2010):** Förderung der Solarenergie – Ökostrom wird für die Verbraucher teuer, Ausgabe vom 03.10.2010.
- FrondeI, M.; Ritter, N.; Schmidt, C. M. (2008):** Germany's solar cell promotion: Dark clouds on the horizon, in: Energy Policy, Band 36, S. 4198-4204.
- FrondeI, M.; Ritter, N.; Schmidt, C. M.; Vance, C. (2010):** Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience, in: Energy Policy, Band 38, S. 4048-4056.
- FrondeI, M.; Ritter, N.; Vance, C. (2009):** Die ökonomischen Wirkungen der Förderung Erneuerbarer Energien: Erfahrungen aus Deutschland, http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Erneuerbare-Energien.pdf (Stand: 09.10.2010).

- Fronde, M.; Schmidt, C. M. (2006):** Emissionshandel und Erneuerbare-Energien-Gesetz: Eine notwendige Koexistenz?, http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-positionen/Pos_010_Emissionshandel.pdf (Stand: 09.10.2010).
- González, P. d. R. (2008):** Policy implications of potential conflicts between short-term and long-term efficiency in CO₂ emissions abatement, in: Ecological Economics, Band 65, 2008, S. 292-303.
- Goulder, L. H.; Parry, W. H. (2008):** Instrument Choice in Environmental Policy, in: Review of Environmental Economics and Policy, Band 2, 2008, S. 152-174.
- IEA (2010a):** Electricity/Heat in World in 2007, http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=29 (Stand: 09.10.2010).
- IEA (2010b):** Energy Technology Perspectives 2010, Paris, 2010.
- izes, Fraunhofer ISI, DIW Berlin, gws (2010):** Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/update_ausbau_ee_2009_bf.pdf (Stand: 09.10.2009).
- Jaffe, A. B.; Newell, R. G.; Stavins, R. N. (2004):** A Tale of Two Market Failures – Technology and Environmental Policy, <http://www.rff.org/documents/RFF-DP-04-38.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- Lehr, U. et al (2008):** Renewable energy and employment in Germany, in: Energy Policy, Band 36, S. 108-117.
- Monopolkommission (2009):** Strom und Gas 2009: Energiemärkte im Spannungsfeld von Politik und Wettbewerb, http://www.monopolkommission.de/sg_54/s54_volltext.pdf (Stand: 09.10.2010).
- Sensfuß, F.; Ragwitz, M.; Genoese, M. (2008):** The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany, in: Energy Policy, Band 36, S. 3086-3094.
- Sinn, H.-W. (2008):** Das grüne Paradoxon, Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik, Berlin.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2010):** 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar, http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2010_05_Stellung_15_erneuerbareStromversorgung.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 09.10.2010).

- Statistisches Bundesamt (2006):** Pressemitteilung Nr.496 vom 27.11.2006, 33 700 Euro Nettoeinkommen durchschnittlich je Privathaushalt, http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2006/11/PD06_496_81.templateId=renderPrint.psm1 (Stand: 09.10.2010).
- Statistisches Bundesamt (2010):** Preise, Daten zur Energiepreisentwicklung – Lange Reihen von Januar 2000 bis August 2010, <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1026228> (Stand: 09.10.2010).
- Stern, N. (2006):** The Economics of Climate Change, The Stern Review, London.
- UBA (2007):** Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- UBA (2010):** Umweltschädliche Subventionen in Deutschland, Aktualisierung für das Jahr 2008, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3780.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- Unruh, G. C. (2008):** Understanding carbon lock-in, in: Energy Policy, Band 28, 2008, S. 817-830.
- Vázquez, M; Rey-Stolle, I. (2008):** Photovoltaic Module Reliability Model Based on Field Degradation Studies, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Band 16, S. 419-433.
- Wene, C.-O. (2008):** Energy technology learning through deployment in competitive markets, in: The Engineering Economist, Band 53, 2008, S. 340-364.
- Wenzel, B.; Nitsch, J. (2010):** Entwicklung der EEG-Vergütungen, EEG-Differenzkosten und der EEG-Umlage bis zum Jahr 2030 auf Basis des Leitszenario 2010, http://www.erneuerbar.com/files/pdfs/allgemein/application/pdf/langfristszenarien_ee_bf.pdf (Stand: 09.10.2010).
- Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2004):** Zur Förderung erneuerbarer Energien, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/gutachten-des-wissenschaftlichen-beirats-zur-foerderung-erneuerbarer-energien-dokumentation-534,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand: 09.10.2010).
- WWF (2009):** Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050, http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf (Stand: 09.10.2010).
- Zweibel, K. (2010):** Should solar photovoltaics be deployed sooner because of long operating life at low, predictable cost?, in: Energy Policy, Band 38, S. 7519-7530.