



Evaluierung der inländischen KfW-Programme zur Förderung Erneuerbarer Energien in den Jahren 2015 und 2016

Gutachten im Auftrag der KfW Bankengruppe

November 2017



Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
Meitnerstraße 1, D-70563 Stuttgart

Dr. Peter Bickel

E-Mail: Peter.Bickel@zsw-bw.de

Telefon: +49-(0)711-7870-244

Tobias Kelm

E-Mail: Tobias.Kelm@zsw-bw.de

Telefon: +49-(0)711-7870-250

Unterauftragnehmer:

Dr. Dietmar Edler, Berlin – Ermittlung der Bruttobeschäftigung

Stuttgart, den 30. November 2017

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis..... | VI |
| Abkürzungsverzeichnis | XI |
| Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger..... | XIII |
| Abstract for Political Decision Makers..... | XV |
| 1 Einführung | 1 |
| 2 Überblick über die geförderten Vorhaben..... | 3 |
| 2.1 Förderprogramme | 3 |
| 2.2 Datengrundlage Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 5 |
| 3 Wirkungen durch geförderte Anlagen in Deutschland..... | 7 |
| 3.1 Investitionsvolumen und geförderte Leistung | 7 |
| 3.1.1 Ausgelöstes Investitionsvolumen | 7 |
| 3.1.2 Geförderte Leistung | 11 |
| 3.1.3 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 15 |
| 3.2 Einsparung fossiler Energieträger | 17 |
| 3.2.1 Einsparung fossiler Energieträger und vermiedene Energieimporte | 17 |
| 3.2.2 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 22 |
| 3.3 Vermiedene Emissionen und vermiedene externe Kosten | 24 |
| 3.3.1 Vermiedene Treibhausgasemissionen | 24 |
| 3.3.2 Vermiedene Luftschadstoffemissionen..... | 27 |
| 3.3.3 Vermiedene externe Kosten..... | 30 |
| 3.3.4 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 34 |
| 3.4 Bruttobeschäftigungseffekte in Deutschland..... | 36 |
| 3.4.1 Eingangsdaten | 37 |
| 3.4.2 Ergebnisse..... | 38 |
| 3.4.3 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 42 |
| 4 Wirkungen durch geförderte Anlagen im Ausland..... | 44 |
| 4.1 Investitionsvolumen und geförderte Leistung | 44 |
| 4.1.1 Ausgelöstes Investitionsvolumen und geförderte Leistung | 44 |
| 4.1.2 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016 | 45 |
| 4.2 Vermiedene Treibhausgasemissionen | 46 |
| Literaturverzeichnis..... | 48 |
| Anhang..... | 51 |
| A.1 Ermittlung der Einsparung fossiler Energieträger durch geförderte Anlagen mit Standort in Deutschland | 51 |
| A.2 Ermittlung vermiedener Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen für geförderte Anlagen mit Standort in Deutschland | 55 |
| A.3 Ermittlung vermiedener Treibhausgasemissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland | 57 |

| | | |
|-----|---|----|
| A.4 | Bewertung externer Kosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen..... | 59 |
| A.5 | Referenzanlagen..... | 61 |
| A.6 | Energiepreise..... | 67 |
| A.7 | Ermittlung von Bruttobeschäftigungseffekten in Deutschland..... | 68 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Von der KfW in Deutschland geförderte elektrische Leistung nach Technologien. | 16 |
| Abbildung 2: Struktur des Primärenergieverbrauchs, der Bruttostromerzeugung sowie des Endenergieverbrauchs zur Wärmebereitstellung in Deutschland. | 17 |
| Abbildung 3: Jährliche Einsparung fossiler Brennstoffe (Primärenergie) der von der KfW geförderten Vorhaben 2015 und 2016 nach Technologien (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 23 |
| Abbildung 4: Vergleich der CO ₂ - und Treibhausgaseinsparung der Förderjahrgänge 2015 und 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 35 |
| Abbildung 5: Vergleich der jährlich vermiedenen externen Kosten der Förderjahrgänge 2015 und 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 35 |
| Abbildung 6: Durch die 2015 und 2016 getätigten Investitionen in KfW-geförderte Anlagen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland. | 43 |
| Abbildung 7: Durch den Betrieb von im Jahr 2015 und 2016 KfW-geförderten Anlagen in Deutschland ausgelöste Beschäftigung über einen Zeitraum von 20 Jahren. | 43 |
| Abbildung 8: In den Jahren 2015 und 2016 im Ausland durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ gefördertes Investitionsvolumen. | 45 |
| Abbildung 9: Der Wirkungspfadansatz zur Berechnung externer Umweltkosten. | 59 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1: | Übersicht über die KfW-Förderprogramme im Bereich Erneuerbarer Energien im Betrachtungszeitraum 2015 und 2016. | 3 |
| Tabelle 2: | Darlehenszusagen, Darlehensvolumen und ausgelöstes Investitionsvolumen für Erneuerbare Energien nach Kreditprogramm für das Förderjahr 2015. | 4 |
| Tabelle 3: | Darlehenszusagen, Darlehensvolumen und ausgelöstes Investitionsvolumen für Erneuerbare Energien nach Kreditprogramm für das Förderjahr 2016. | 5 |
| Tabelle 4: | Mittelwerte der spezifischen Investitionskosten für die plausiblen Datensätze (eigene Berechnungen). | 6 |
| Tabelle 5: | Volumen der durch KfW-Kreditprogramme 2015 in Deutschland unterstützten Investitionen in Erneuerbare Energien nach Verwendungszweck. | 7 |
| Tabelle 6: | Volumen der durch KfW-Kreditprogramme 2016 in Deutschland unterstützten Investitionen in Erneuerbare Energien nach Verwendungszweck. | 8 |
| Tabelle 7: | Im Rahmen der KfW-Programme in Deutschland geförderte Investitionen in Erneuerbare Energien im Vergleich zu den Gesamtinvestitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland für das Förderjahr 2015. | 9 |
| Tabelle 8: | Im Rahmen der KfW-Programme in Deutschland geförderte Investitionen in Erneuerbare Energien im Vergleich zu den Gesamtinvestitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland für das Förderjahr 2016. | 10 |
| Tabelle 9: | In Deutschland geförderte elektrische und thermische Leistung der KfW-Programme im Förderjahrgang 2015 im Vergleich zu den 2015 insgesamt in Deutschland zugebauten Leistungen. | 12 |
| Tabelle 10: | in Deutschland geförderte elektrische und thermische Leistung der KfW-Programme im Förderjahrgang 2016 im Vergleich zu den 2016 insgesamt in Deutschland zugebauten Leistungen. | 13 |
| Tabelle 11: | 2015 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte elektrische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm. | 14 |
| Tabelle 12: | 2015 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte thermische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm. | 14 |
| Tabelle 13: | 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte elektrische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm. | 14 |
| Tabelle 14: | 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte thermische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm. | 15 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 15: Abschätzung der jährlichen Stromerzeugung der 2015 und 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderten Anlagen im Bereich der Erneuerbaren Energien nach Förderprogramm..... | 15 |
| Tabelle 16: Abschätzung der jährlich bereitgestellten Endenergie Wärme der 2015 und 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderten Anlagen im Bereich der Erneuerbaren Energien nach Förderprogramm. ... | 15 |
| Tabelle 17: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach KfW-Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 18 |
| Tabelle 18: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach KfW-Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 18 |
| Tabelle 19: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach Technologien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)..... | 19 |
| Tabelle 20: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach Technologien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)..... | 20 |
| Tabelle 21: Vermiedene jährliche Energieimporte und Kosten für fossile Brennstoffe für den Förderjahrgang 2015..... | 20 |
| Tabelle 22: Vermiedene jährliche Energieimporte und Kosten für fossile Brennstoffe für den Förderjahrgang 2016..... | 21 |
| Tabelle 23: Vermiedene jährliche Kosten für importierte fossile Brennstoffe nach Förderprogramm für den Förderjahrgang 2015. | 22 |
| Tabelle 24: Vermiedene jährliche Kosten für importierte fossile Brennstoffe nach Förderprogramm für den Förderjahrgang 2016. | 22 |
| Tabelle 25: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Kreditprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 25 |
| Tabelle 26: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Kreditprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 25 |
| Tabelle 27: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 26 |
| Tabelle 28: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 26 |
| Tabelle 29: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 28 |
| Tabelle 30: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 28 |
| Tabelle 31: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 29 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 32: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 29 |
| Tabelle 33: Verwendete Wertansätze zur Ermittlung der vermiedenen Schadenskosten..... | 31 |
| Tabelle 34: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Substanzen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)..... | 32 |
| Tabelle 35: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Substanzen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)..... | 32 |
| Tabelle 36: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 33 |
| Tabelle 37: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Förderprogrammen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 33 |
| Tabelle 38: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 34 |
| Tabelle 39: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Förderprogrammen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland). | 34 |
| Tabelle 40: Aus KfW-geförderten Anlagen resultierende im Inland wirksame Nachfrage durch Investitionen..... | 38 |
| Tabelle 41: Durch im Jahr 2015 KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland. | 39 |
| Tabelle 42: Durch im Jahr 2016 KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland. | 40 |
| Tabelle 43: Durch KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland nach Förderprogrammen. | 41 |
| Tabelle 44: Im Jahr 2015 durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ im Ausland gefördertes Investitionsvolumen und elektrische Leistung nach Verwendungszweck und Land..... | 44 |
| Tabelle 45: Im Jahr 2016 durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ im Ausland gefördertes Investitionsvolumen und elektrische Leistung nach Verwendungszweck und Land..... | 45 |
| Tabelle 46: Vermiedene CO ₂ -Emissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland nach Ländern und Verwendungszweck für das Förderjahr 2015. 46 | |
| Tabelle 47: Vermiedene CO ₂ -Emissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland nach Ländern und Verwendungszweck für das Förderjahr 2016. 47 | |

| | |
|--|----|
| Tabelle 48: Substitution konventioneller Energieträger durch die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien - Bezugsjahr 2016. | 52 |
| Tabelle 49: Primärenergiefaktoren zur Berechnung des Primärenergieverbrauchs für die Bereitstellung von Strom - Bezugsjahr 2016. | 53 |
| Tabelle 50: Substitution konventioneller Energieträger durch die Wärmeerzeugung mit Erneuerbaren Energien - Bezugsjahr 2016. | 53 |
| Tabelle 51: Primärenergiefaktoren zur Berechnung des Primärenergieverbrauchs für die Bereitstellung von Wärme – Bezugsjahr 2016. | 54 |
| Tabelle 52: Relatives Treibhauspotenzial von Treibhausgasen (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) bzw. Versauerungspotenzial (SO ₂ , NO _x) von Säurebildnern. | 55 |
| Tabelle 53: Einsparfaktoren zur Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Bezugsjahr 2016. | 56 |
| Tabelle 54: Einsparfaktoren zur Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen für die Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Bezugsjahr 2016. | 56 |
| Tabelle 55: CO ₂ -Emissionsfaktor des Strommixes für die betrachteten Länder, Bezugsjahr 2015 | 58 |
| Tabelle 56: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen bis 100 kW _p | 64 |
| Tabelle 57: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen von 101 bis 1.000 kW _p | 64 |
| Tabelle 58: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen über 1.000 kW _p | 64 |
| Tabelle 59: Parameter zur Berechnung der Windenergieanlagen (onshore). | 64 |
| Tabelle 60: Parameter zur Berechnung der Windenergieanlagen (offshore). | 64 |
| Tabelle 61: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizkraftwerke. | 64 |
| Tabelle 62: Parameter zur Berechnung der Biogasanlagen. | 65 |
| Tabelle 63: Parameter zur Berechnung der Wasserkraftanlagen. | 65 |
| Tabelle 64: Parameter zur Berechnung der solarthermischen Anlagen. | 65 |
| Tabelle 65: Parameter zur Berechnung der großen Wärmepumpen. | 65 |
| Tabelle 66: Parameter zur Berechnung der Biogasleitungen. | 65 |
| Tabelle 67: Parameter zur Berechnung der Wärmenetze mit Wärmeeinspeisung aus einem Holzheizwerk. | 65 |
| Tabelle 68: Parameter zur Berechnung der Wärmenetze mit Wärmeeinspeisung aus einer Biogasanlage. | 66 |
| Tabelle 69: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizwerke (ohne Nahwärmenetz). | 66 |
| Tabelle 70: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizwerke (mit Nahwärmenetz). | 66 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 71: Angesetzte Grenzübergangspreise (Importpreise) für fossile Energieträger | 67 |
| Tabelle 72: Übersicht über die angesetzten Energiepreise (Annuitäten) für die betrachteten Förderjahre 2015 und 2016 | 67 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------|--|
| a | Jahr |
| AGEE-Stat | Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik |
| BAFA | Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle |
| CH ₄ | Methan |
| CO | Kohlenmonoxid |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EE Premium | KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Premium“ |
| EE Speicher | KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Speicher“ |
| EE Standard | KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Standard“ |
| EEG | Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien – Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EJ | Exajoule (10 ¹⁸ Joule) |
| FJ | Förderjahr |
| GJ | Gigajoule (10 ⁹ Joule) |
| GW | Gigawatt (10 ⁹ Watt) |
| GWh | Gigawattstunde |
| h | Stunde |
| HW | Heizwerk |
| HKW | Heizkraftwerk |
| I ₀ | Investitionsvolumen |
| IEKP | Integriertes Energie- und Klimaprogramm |
| KfW | KfW Bankengruppe |
| KMU | kleine und mittlere Unternehmen |
| kW | Kilowatt (10 ³ Watt) |
| kWh | Kilowattstunde |
| kW _{el} / MW _{el} | elektrische Leistung |
| kWh _{Prim} | Primärenergie |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| kW _p / MW _p | Nennleistung einer Solaranlage unter Standardtestbedingungen |
| kW _{th} / MW _{th} | thermische Leistung |
| Mio. | Millionen |
| MW | Megawatt (10 ⁶ Watt) |
| MWh | Megawattstunde |

| | |
|------------------|--|
| N ₂ O | Distickstoffoxid (Lachgas) |
| NMVOOC | Non-methane volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen außer Methan) |
| NO _x | Stickoxide |
| PJ | Petajoule (10 ¹⁵ Joule) |
| PM ₁₀ | Feinstaub („particulate matter“) mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser kleiner als 10 µm |
| PV | Photovoltaik |
| SO ₂ | Schwefeldioxid |
| t | Tonnen |
| TJ | Terajoule (10 ¹² Joule) |
| TWh | Terrawattstunde |
| UBA | Umweltbundesamt |

| | |
|----------|--|
| Hinweis: | In den Tabellen des Berichts kann es zu scheinbaren Abweichungen von Summen, Prozentanteilen u.ä. kommen, da diese mit genauen Werten berechnet wurden, während Einzelwerte nur gerundet dargestellt werden. |
|----------|--|

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

In den Jahren 2015 und 2016 setzte sich der Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland weiter fort (vgl. [1]): Im Jahr 2015 stieg der EE-Anteil am deutschen Bruttostromverbrauch im Vergleich zu 2014 um 4,2 Prozentpunkte von 27,3 % auf 31,5 %. Im Jahr 2016 wuchs der EE-Anteil um weitere 0,2 Prozentpunkte auf 31,7 %. Inzwischen stammt mittlerweile annähernd jede dritte verbrauchte Kilowattstunde Strom aus erneuerbaren Quellen.

Die auf dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 sowie auf den Beschlüssen des Bundeskabinetts vom Juni 2011 basierende Zielarchitektur für die Energiewende in Deutschland sieht vor, bis 2050 mindestens 60 % des Bruttoendenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken, mit einem Anteil von mindestens 80 % bei der Stromversorgung. In Verbindung mit anspruchsvollen Energieeffizienzzielen soll es dadurch möglich sein, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um 80 bis 95 % zu mindern. Kurzfristig, d.h. bis zum Jahr 2020, sollen mindestens 18 % des Endenergieverbrauchs und mindestens 35 % des Stromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die Treibhausgasemissionen sollen um 40 % gesenkt werden.

Ein wichtiges Element, um die anspruchsvollen EE-Ausbauziele zu erreichen, sind die Förderaktivitäten der KfW Bankengruppe, die zinsgünstige Darlehen – teilweise auch in Verbindung mit Tilgungszuschüssen aus Bundesmitteln – für Investitionen in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Verfügung stellt. Um deren Bedeutung und Effektivität in den Förderjahrgängen 2015 und 2016 zu überprüfen, wurden in der vorliegenden Studie die von diesen Förderprogrammen ausgehenden Effekte in den Bereichen Treibhausgasminderung, Einsparung fossiler Energieträger und damit vermiedener Importe an fossilen Energieträgern, Beschäftigungseffekte sowie vermiedene externe Kosten durch die Reduktion von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen ermittelt. Auch wurden die im Ausland geförderten Anlagen in die Evaluierung einbezogen, für die das ausgelöste Investitionsvolumen, die geförderte Leistung sowie die vermiedenen Treibhausgasemissionen ermittelt wurden.

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung sind:

- Mittels KfW-Förderkrediten wurden in den Jahren 2015 und 2016 Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Höhe von 7,4 bzw. 7,6 Mrd. € angestoßen (davon 1,3 bzw. 1,1 Mrd. € durch Anlagen im Ausland). Rechnerisch wurden 42,6 % bzw. 40,1 % aller in Deutschland in den Jahren 2015 und 2016 getätigten Investitionen in den Ausbau Erneuerbarer Energien zur Strom- und Wärmezeugung durch KfW-Programme mitfinanziert (ohne Berücksichtigung von Windenergie auf See).

- Die Bedeutung der KfW-Programme für den Ausbau der Erneuerbaren Energien zeigt sich vor allem im Strombereich deutlich: 51 % bzw. 44 % der insgesamt in den Jahren 2015 und 2016 in Deutschland zugebauten elektrischen Leistung wurde durch die KfW gefördert (ohne Berücksichtigung von Windenergie auf See). Mit 62 % bzw. 51 % besonders hoch ist dabei der Anteil bei Windenergieanlagen an Land.
- Die KfW-Förderung führt nach Inbetriebnahme aller im Jahr 2015 und 2016 geförderten Anlagen zu vermiedenen Energieimporten in Deutschland im Gegenwert von insgesamt jährlich rund 550 Mio. €. Dies entspricht rund 11,0 Mrd. € über die gesamte Laufzeit der Anlagen von 20 Jahren.
- Als Folge der Substitution fossiler Energieträger ist mit der Nutzung der im Jahr 2015 und 2016 geförderten EE-Anlagen mit Standort in Deutschland eine jährliche Emissionsvermeidung von insgesamt rund 9,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten (davon 8,7 Mio. t CO₂) verbunden. Durch die im selben Zeitraum geförderten Anlagen mit Standort im Ausland werden jährlich weitere 0,3 Mio. t CO₂ vermieden.
- Durch eingesparte Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen können über die Nutzungsdauer aller im Jahr 2015 und 2016 in Deutschland geförderten EE-Anlagen externe Kosten in Höhe von zusammen jährlich rund 960 Mio. € vermieden werden. Rund 84 % der vermiedenen externen Kosten entfallen auf die vermiedenen Schäden des Klimawandels.
- Durch Produktion und Bau der im Jahr 2015 und 2016 geförderten und errichteten EE-Anlagen konnten insgesamt rund 89.000 Arbeitsplätze in Deutschland für ein Jahr gesichert bzw. neu geschaffen werden, durch Betrieb und Wartung dieser Anlagen finden 20 Jahre lang weitere rund 2.700 Personen jährlich Beschäftigung. Zusätzlich werden durch die Erstellung der geförderten Windenergieanlagen auf See in den Folgejahren rund 33.300 Arbeitsplätze für ein Jahr gesichert bzw. neu geschaffen, sowie nach deren Inbetriebnahme jährlich weitere 790 Arbeitsplätze.
- 52 % der durch Bau und Betrieb der in den Jahren 2015 und 2016 erstellten Anlagen gewonnenen Arbeitsplätze sind in kleinen und mittleren Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten entstanden.

Abstract for Political Decision Makers

In the years 2015 and 2016 renewable energy sources (RES) continued to increase their share in Germany's energy provision (cf. [1]): In 2015 the share of RES in electricity consumption saw a sharp rise from 27.3 % (2014) to 31.5 %. In 2016 this share further increased to 31.7 %. Thus every third kilowatt hour consumed in Germany originates from renewable sources.

The targets set for reaching the German Energiewende are based on the German Federal Government's long-term strategy for future energy supply, according to which at least 60 % of final energy consumption and 80 % of electricity consumption ought to be covered with renewable energies by the year 2050. In combination with challenging energy efficiency targets greenhouse gas emissions are to be cut by 80 to 95 % in relation to the base year 1990. By the year 2020 18 % of final energy consumption and at least 35 % of electricity consumption are to be covered with renewable energy sources. Greenhouse gas emissions ought to be cut by 40 % compared to the year 1990.

The national renewable energy promotional activities of KfW Bankengruppe represent an important building block for reaching the targets for renewable energy use described above. These activities comprise low-interest loans, partly in combination with repayment bonuses financed by the federal government. In order to review their effectiveness and significance within the years 2015 and 2016 the present study investigated the resulting reductions in emissions of greenhouse gases and air pollutants, external costs, fossil fuel consumption and associated fossil fuel imports. Furthermore, impacts on employment were quantified. In addition, plants built abroad were considered, covering investment volume, capacity installed and greenhouse gas emissions avoided.

The most important results at a glance:

- In the years 2015 and 2016 the KfW promotional programmes supported a total investment in the construction of plants for using renewable energies of € 7,400 million and € 7,600 million respectively (of which € 1,300 million and € 1,100 million in plants abroad). This represents shares of 42.6 % and 40.1 % respectively of the total investment in plants for power and heat production from renewable energy sources in Germany in 2015 and 2016 (without considering offshore wind energy plants).
- The KfW programmes considered are particularly important for renewable electricity production: In terms of electrical power 51 % and 44 % of the renewable plants installed in Germany in the years 2015 and 2016 were financed through KfW programmes (excluding offshore wind energy plants). With 62 % and 51 % respectively the share is remarkably high for onshore wind turbines.

- Promotional activities conducted in 2015 and 2016 reduce German energy imports by approximately € 550 million per annum. This cumulates to € 11,000 million over the plants' lifetime of 20 years.
- The plants built in Germany and financed by KfW in 2015 and 2016 lead to a reduction of approximately 9.5 million tonnes of CO₂ equivalent (of which 8.7 million tonnes CO₂) per annum. The plants with KfW-support built abroad reduce another 0.3 million tonnes of CO₂ annually.
- Avoiding greenhouse gas and air pollutant emissions in Germany reduces external costs by approx. € 960 million a year (for both years considered), 84 % of which refer to climate change effects.
- Manufacturing and construction of the plants built in 2015 and 2016 correspond to approx. 89,000 jobs created or preserved in Germany for one year. A further 2,700 jobs per annum result from the operation and maintenance of the plants for the assumed 20 years of operation. Offshore wind energy turbines, whose building stretches over a longer time period than other projects, contributes further 33,300 jobs during the construction phase and annually 790 jobs for plant operation.
- Small and medium-sized enterprises with less than 500 employees account for approx. 52 % of the jobs generated by the construction and operation of plants built in the years 2015 and 2016.

1 Einführung

In den Jahren 2015 und 2016 setzte sich der Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland weiter fort (vgl. [1]): Im Jahr 2015 stieg der EE-Anteil am deutschen Bruttostromverbrauch im Vergleich zu 2014 um 4,2 Prozentpunkte von 27,3 % auf 31,5 %. Im Jahr 2016 wuchs der EE-Anteil um weitere 0,2 Prozentpunkte auf 31,7 %. Grund für das geringe Wachstum im Jahr 2016 war ein witterungsbedingter Rückgang der Stromerzeugung, da das Jahr 2016 deutlich windschwächer war und weniger Sonnenstunden aufwies als das Jahr 2015. Daran konnte auch der kräftige Anlagenzubau im Jahr 2016 nichts ändern: Das dritte Jahr in Folge gab es einen sehr kräftigen Ausbau von Windenergieanlagen, die Leistung der zugebauten Photovoltaikanlagen übertraf zum ersten Mal seit drei Jahren den Vorjahreswert. Inzwischen stammt annähernd jede dritte verbrauchte Kilowattstunde Strom aus erneuerbaren Quellen und die erneuerbaren Energien bleiben wichtigster Energieträger im Strombereich.

Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch nahm 2015 leicht von 12,9 % (2014) auf 13,0 % zu und blieb im Jahr 2016 unverändert. Die durch erhebliche Kürzungen in der EEG-Förderung neuer Photovoltaik- und Biogasanlagen bereits in den Vorjahren zu beobachtende Verschiebung des Anlagenzubaus hin zu Anlagen zur Nutzung der Windenergie setzte sich 2016 fort. Durch den Übergang von festen Einspeisevergütungssätzen zu Ausschreibungen ab Anfang 2017 bestand ein erheblicher Anreiz, Windkraftanlagen noch im Jahr 2016 ans Netz zu bringen.

Die Zielarchitektur für die Energiewende der Bundesregierung basiert auf dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 sowie auf den Beschlüssen des Bundeskabinetts vom Juni 2011. Bis 2050 sollen mindestens 60 % des Bruttoendenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden, mit einem Anteil von mindestens 80 % bei der Stromversorgung. In Verbindung mit anspruchsvollen Energieeffizienzzielen soll es dadurch möglich sein, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um 80 bis 95 % zu mindern. Kurzfristig, d.h. bis zum Jahr 2020, sollen mindestens 18 % des Endenergieverbrauchs und mindestens 35 % des Stromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden. Bis 2025 soll der Anteil am Bruttostromverbrauch 40 bis 45 % erreichen, bis 2035 55 bis 60 %. Die Treibhausgasemissionen sollen bezogen auf das Jahr 1990 bis 2020 um mindestens 40 % gesenkt werden.

Ein wichtiges Element, um die anspruchsvollen EE-Ausbauziele zu erreichen, sind die Förderaktivitäten der KfW Bankengruppe, die zinsgünstige Darlehen – teilweise auch in Verbindung mit Tilgungszuschüssen aus Bundesmitteln – für Investitionen in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Verfügung stellt.

Gegenstand der in diesem Bericht dargestellten Arbeiten ist die umfassende Evaluierung der Förderaktivitäten der KfW Bankengruppe im Bereich der Erneuerbaren Energien

(Strom und Wärme) für die Förderjahrgänge 2015 und 2016. Hierfür werden die durch die geförderten Investitionen ausgelösten Effekte in den Bereichen Einsparung fossiler Energieträger und damit vermiedene Importe an fossilen Energieträgern, vermiedene Emissionen und dadurch vermiedene externe Kosten sowie Beschäftigungseffekte ermittelt. Im Einzelnen werden folgende Wirkungen berechnet:

- Einsparung fossiler Energieträger (jährliche Primärenergieeinsparung nach Energieträgern),
- vermiedene Importe an fossilen Energieträgern (Energimengen und Kosten),
- Minderung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: jährliche Vermeidung von Treibhausgasen (CO₂, CH₄, N₂O sowie das daraus ermittelte CO₂-Äquivalent), Säurebildnern (SO₂, NO_x sowie das daraus ermittelte SO₂-Äquivalent), Vorläuferstoffen für bodennahes Ozon (NMVOC) sowie Feinstaub,
- monetäre Bewertung der durch die Minderung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen vermiedenen externen Kosten: Verteilung nach Technologien und Schadenskategorien,
- Arbeitsplatzeffekte: Bruttobeschäftigungseffekte in Deutschland in den Sektoren Anlagenbau und Betrieb von Anlagen (pro Jahr und über die gesamte Lebensdauer der Anlage). Ausweisung der direkten und indirekten Beschäftigungseffekte sowie der Anteile Beschäftigter in kleinen und mittleren Unternehmen.

Das folgende Kapitel 2 gibt einen Überblick über die geförderten Vorhaben. In Kapitel 3 werden für geförderte Anlagen mit Standort in Deutschland das ausgelöste Investitionsvolumen und die geförderte Leistung ermittelt sowie die damit einhergehenden Wirkungen berechnet.

In Kapitel 4 werden die im Ausland geförderten Anlagen betrachtet. Dabei werden das durch den Bau dieser Anlagen ausgelöste Investitionsvolumen, die geförderte Leistung sowie die vermiedenen Treibhausgasemissionen betrachtet.

2 Überblick über die geförderten Vorhaben

2.1 Förderprogramme

In den betrachteten Jahren 2015 und 2016 förderte die KfW Investitionen in Erneuerbare Energien über die folgenden Programme, deren Fördergegenstände Tabelle 1 zeigt (in Klammern jeweils das in dieser Evaluierung verwendete Kürzel):

- KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Standard“ (EE Standard),
- KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Premium“ (EE Premium, Teil des Marktanzreizprogramms des Bundes),
- KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Speicher“ (EE Speicher),
- KfW-Programm Offshore-Windenergie (Offshore).

Tabelle 1: Übersicht über die KfW-Förderprogramme im Bereich Erneuerbarer Energien im Betrachtungszeitraum 2015 und 2016.

| | KfW-Programm Erneuerbare Energien | | | KfW-Programm Offshore-Windenergie |
|--------------------------------------|--|--|--|---|
| | Standard | Premium | Speicher | |
| Programmnummer | 270, 274 | 271, 272, 281, 282 | 275 | 273 |
| Hier berücksichtigte Fördermaßnahmen | Errichtung, Erweiterung oder Erwerb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeenerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sowie Maßnahmen zur Integration Erneuerbarer Energien in das Energiesystem | Nach den BMWi-Richtlinien förderfähige Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt: große Solarkollektoranlagen, Biomasseanlagen zur Verbrennung fester Biomasse für die thermische Nutzung, KWK-Biomasseanlagen, Wärmenetze, große Wärmespeicher, Biogasleitungen für unaufbereitetes Biogas, große effiziente Wärmepumpen, Anlagen zur Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie | Errichtung von stationären Batteriespeichersystemen in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage | Errichtung von bis zu 10 Offshore-Windparks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone oder der 12-Seemeilen-Zone der Nord- und Ostsee |
| Art der Förderung | Zinsgünstiges Darlehen | Zinsgünstiges Darlehen mit Tilgungszuschuss | Zinsgünstiges Darlehen mit Tilgungszuschuss | Konsortialdarlehen zu Marktkonditionen |
| Kredithöchstbetrag | maximal 50 Mio. € pro Vorhaben | i.d.R. maximal 10 Mio. € pro Vorhaben | bis zu 100 % der förderfähigen Nettoinvestitionskosten | maximal 800 Mio. € pro Projekt |
| Anmerkung zur Programmlaufzeit | Programmstart: 01.01.2009 | Programmstart: 01.01.2009 | Programmstart: 01.05.2013 | Programmstart: 08.06.2011 |

Im Programmteil „Standard“ des KfW-Programms Erneuerbare Energien wird die Nutzung Erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Strom bzw. Strom und Wärme gefördert, im Programmteil „Premium“ werden im Auftrag des Bundes bestimmte Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt unterstützt. Im Rahmen des im Mai 2013 gestarteten Programmteils „Speicher“ werden stationäre Batteriespeichersysteme in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage gefördert. Mit dem im Juni 2011 gestarteten KfW-Programm „Offshore-Windenergie“ sollen insgesamt bis zu 10 Offshore-Windparks mit Krediten bis jeweils maximal 800 Mio. € gefördert werden.

Tabelle 2 und Tabelle 3 geben einen Überblick über den Umfang der erteilten Kreditzusagen zur Finanzierung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in den betrachteten Programmen in den Jahren 2015 und 2016. Im Rahmen des Programmteils „Standard“ wurden neben Anlagen im Inland auch Anlagen im Ausland gefördert. Genauere Angaben zu diesen Anlagen finden sich in Kapitel 4.

Insgesamt wurden im Förderjahr 2016 rund 11.080 Darlehen mit einem Darlehensvolumen von 5,1 Mrd. € gewährt. Damit sank die Anzahl der Zusagen im Vergleich zum Jahr 2015 (ca. 13.200 Zusagen) deutlich. Für diesen Rückgang ist weitgehend die rückläufige Anzahl der Zusagen im Programmteil EE Speicher verantwortlich (2015: 8.796, 2016: 6.465), während die Zusagen im Programmteil EE Standard etwas anstiegen und im Programmteil EE Premium leicht zurückgingen.

Der Anstieg des insgesamt von der KfW zugesagten Darlehensvolumens von 5,0 Mrd. € im Jahr 2015 auf 5,1 Mrd. € im Jahr 2016 ist auf das gewachsene Darlehensvolumen im Programm EE Standard (+6 %) zurückzuführen, welches Rückgänge in den anderen Programmen mehr als ausgleichen konnte. Das geförderte Investitionsvolumen wuchs im Jahresvergleich von 7,4 auf 7,6 Mrd. €.

Tabelle 2: Darlehenszusagen, Darlehensvolumen und ausgelöstes Investitionsvolumen für Erneuerbare Energien nach Kreditprogramm für das Förderjahr 2015.

| Förderjahr 2015 | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore | Alle Programme |
|---|-----------------------|------------|-------------|----------|-----------------------------|
| Darlehenszusagen | 2.887 | 1.521 | 8.796 | 2 | 13.206 |
| Darlehensvolumen (Mio. €) | 4.266,4 ²⁾ | 137,4 | 131,6 | 428,0 | 4.963,3²⁾ |
| Investitionsvolumen (Mio. €)¹⁾ | 5.420,8 ³⁾ | 190,1 | 185,8 | 1.648,0 | 7.444,7³⁾ |
| Mittleres Investitionsvolumen je Darlehen (€)¹⁾ | 1.877.657 | 124.965 | 21.128 | 824 Mio. | 563.737 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ exkl. Mehrwertsteuer.

²⁾ Davon Anlagen im Ausland 1.088,1 Mio. € - vgl. auch Kapitel 4.1.

³⁾ Davon Anlagen im Ausland 1.336,0 Mio. € - vgl. auch Kapitel 4.1.

Verglichen mit dem Vorjahr sank das mittlere geförderte Investitionsvolumen je Darlehen im Programmteil EE Standard im Jahr 2016 um knapp 4 %. In diesem Programmteil ver-

fügen weiterhin große Vorhaben im Bereich der PV-Freiflächenanlagen und Windkraftanlagen an Land über ein großes Gewicht, während die in der Vergangenheit dominierenden kleinen PV-Dachanlagen an Bedeutung verloren haben.

Tabelle 3: Darlehenszusagen, Darlehensvolumen und ausgelöstes Investitionsvolumen für Erneuerbare Energien nach Kreditprogramm für das Förderjahr 2016.

| Förderjahr 2016 | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore | Alle Programme |
|--|-----------------------|------------|-------------|----------|-----------------------------|
| Darlehenszusagen | 3.138 | 1.476 | 6.465 | 2 | 11.081 |
| Darlehensvolumen (Mio. €) | 4.515,5 ²⁾ | 105,1 | 104,5 | 362,5 | 5.087,6²⁾ |
| Investitionsvolumen (Mio. €¹⁾ | 5.669,9 ³⁾ | 168,0 | 138,3 | 1.630,0 | 7.606,2³⁾ |
| Mittleres Investitionsvolumen je Darlehen (€¹⁾ | 1.806.860 | 113.813 | 21.385 | 815 Mio. | 686.415 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ exkl. Mehrwertsteuer.

²⁾ Davon Anlagen im Ausland 825,6 Mio. € - vgl. auch Kapitel 4.1.

³⁾ Davon Anlagen im Ausland 1.112,2 Mio. € - vgl. auch Kapitel 4.1.

Die insgesamt im Jahr 2015 (2016) ausgelösten Investitionen in Höhe von 7,4 Mrd. € (7,6 Mrd. €) wurden zu 72,8 % (74,5 %) über den Programmteil Standard des KfW-Programms Erneuerbare Energien mitfinanziert, in dem rund 5,4 Mrd. € (5,7 Mrd. €) Investitionen zu verzeichnen waren. Mit dem Programm „EE Premium“ wurden rund 190 Mio. € (170 Mio. €), mit „EE Speicher“ ca. 186 Mio. € (140 Mio. €) Investitionen angestoßen, was einem Anteil von 2,6 % (2,2%) bzw. 2,5 % (1,8 %) des gesamten geförderten Investitionsvolumens entspricht. Auf die im Programm „Offshore“ geförderten Anlagen entfielen 22,1 % (21,4 %) der ausgelösten Investitionen.

2.2 Datengrundlage Förderjahrgänge 2015 und 2016

Für die Förderjahrgänge 2015 und 2016 stellte die KfW für jeden Kreditantrag aus den genannten Förderprogrammen folgende Informationen zur Verfügung:

- Verwendungszweck (Technologie, z.B. Solarthermie, Windkraft),
- Darlehensbetrag aufgeschlüsselt auf die einzelnen Programme,
- konsolidiertes Investitionsvolumen nach Förderprogramm,
- Rechtsform des Antragstellers und
- Bundesland, in dem das Investitionsvorhaben angemeldet wurde.

Für die Technologien Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft, Solarthermie, feste Biomasse, Biogas, Tiefe Geothermie und Große Wärmepumpe liegen zusätzlich Angaben zur installierten Leistung, für Wärmenetze und Biogasleitungen die Trassenlänge und für Wärmespeicher das Volumen vor. Alle vorhandenen Anlagendaten der verschiedenen

Technologien wurden hinsichtlich der Plausibilität der angegebenen Leistungen bzw. sonstiger technischer Angaben und Investitionskosten geprüft.

Auf Grund fehlender Daten zu Kapazität oder Leistung konnte für die geförderten PV-Stromspeicher nur eine sehr eingeschränkte Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden. Weiterhin ergab sich die Schwierigkeit, dass für den Verwendungszweck „Neue PV-Anlage mit PV-Speicher“ keine Aufteilung der Investitionssumme auf PV-Anlage und Speicher vorlag. Um eine Zuordnung der Investitionen zu PV-Anlagen und Speichern vornehmen zu können, wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber für die PV-Anlagen geschätzte spezifische Investitionskosten in Höhe von 1.600 €/kW_p angesetzt. Die auf den Speicher entfallende Investitionssumme wurde als Differenz aus gesamter Investitionssumme abzüglich des Produkts aus installierter elektrischer Leistung und geschätzten spezifischen Investitionskosten der PV-Anlage ermittelt.

Tabelle 4: Mittelwerte der spezifischen Investitionskosten für die plausiblen Datensätze (eigene Berechnungen).

| Technologie | Gerundete durchschnittliche spezifische Investitionskosten in €/kW _{el} (Strom) bzw. €/kW _{th} (Wärme) - exkl. MwSt | | |
|--------------|---|--------------------|--------------------|
| | FJ 2015 | FJ 2016 | |
| Strom | Biogas (Stromerzeugung) | 1.370 | 2.170 |
| | Biomasse Heizkraftwerk | 4.150 | - |
| | Photovoltaik | 1.070 | 1.050 |
| | Wasserkraft | 2.490 | 4.750 |
| | Windenergie an Land | 1.630 | 1.720 |
| Wärme | Solarthermie | 1.140 | 890 |
| | Biomasse | 510 | 470 |
| | Wärmenetze ¹⁾ | 260 €/Trassenmeter | 260 €/Trassenmeter |

¹⁾ Die spezifischen Investitionskosten können auf Grund sehr unterschiedlicher Netzlängen, des eingesetzten Leitungsmaterials und des Untergrunds stark variieren.

Im Mittel ergeben sich für die einzelnen Förderjahre die in Tabelle 4 aufgeführten spezifischen Investitionskosten für die einzelnen Technologien. Wegen der geringen Anzahl geförderter Anlagen in den Bereichen tiefe Geothermie, große Wärmepumpe und Windkraft auf See werden aus Datenschutzgründen keine Mittelwerte ausgewiesen.

Unterschiede zwischen den Förderjahren ergeben sich vor allem durch die mit den Jahren schwankenden mittleren Anlagengrößen sowie Anlagenpreisen. Letztere ergeben sich etwa durch unterschiedliche Anlagencharakteristika (insbesondere bei Wasserkraftanlagen) oder eingesetzte Komponenten (z.B. Kollektortyp bei Solarthermieanlagen). Verstärkt werden Schwankungen zwischen den Jahren durch geringe Anlagenzahlen. So sind die großen Differenzen bei Biogas- und Wasserkraftanlagen auf stark unterschiedliche Größen der zugebauten Anlagen bei geringer Anlagenzahl zurückzuführen.

3 Wirkungen durch geförderte Anlagen in Deutschland

3.1 Investitionsvolumen und geförderte Leistung

3.1.1 Ausgelöstes Investitionsvolumen

Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen das Volumen der durch KfW-Kreditprogramme in den Jahren 2015 und 2016 unterstützten Investitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland. Auf Anlagen zur Stromerzeugung aus Windenergie an Land entfielen 61 % bzw. 63 %, auf Windkraftanlagen auf See 27 % bzw. 25 % des im jeweiligen Jahr geförderten Investitionsvolumens. Mit deutlichem Abstand folgten mit 6,7 % bzw. 7,5 % Photovoltaikanlagen, die bis 2012 die geförderten Investitionen klar dominiert hatten. Dieser signifikante Rückgang ging im Wesentlichen auf die Änderungen des EEG zurück. Durch die Reduzierung der Einspeisevergütung war der Anlagenzubau insbesondere im Bereich der Freiflächenanlagen, in welchem die KfW in den Vorjahren mit ihren Finanzierungen stark engagiert war, erheblich zurückgegangen. Allerdings konnten die von der KfW im Jahr 2016 geförderten Photovoltaikinvestitionen im Vorjahresvergleich um 20 % zulegen, nachdem schon von 2014 auf 2015 ein Zuwachs um 18 % zu verzeichnen gewesen war. Ursachen hierfür waren Aufwärtstrends bei Freiflächenanlagen sowie der Anlagenzubau im Rahmen des Speicherprogramms.

Tabelle 5: Volumen der durch KfW-Kreditprogramme 2015 in Deutschland unterstützten Investitionen in Erneuerbare Energien nach Verwendungszweck.

| Förderjahr 2015 (exkl. MwSt) | EE Standard | | EE Premium | | EE Speicher | | Offshore | | Summe | |
|---------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % |
| Biogas | 18,7 | 0,5 | - | - | - | - | - | - | 18,7 | 0,3 |
| Feste Biomasse | 2,5 | 0,1 | 50,5 | 26,6 | - | - | - | - | 53,1 | 0,9 |
| Geothermie (tief) | - | - | 18,1 | 9,5 | - | - | - | - | 18,1 | 0,3 |
| Große Wärmepumpe | - | - | 0,2 | 0,1 | - | - | - | - | 0,2 | 0,0 |
| Photovoltaik | 314,2 | 7,7 | - | - | 92,5 | 49,8 | - | - | 406,7 | 6,7 |
| Solarthermie | 0,05 | 0,0 | 5,0 | 2,6 | - | - | - | - | 5,1 | 0,1 |
| Wärmenetz | 1,3 | 0,0 | 109,8 | 57,8 | - | - | - | - | 111,1 | 1,8 |
| Wärmespeicher | 0,04 | 0,0 | 6,5 | 3,4 | - | - | - | - | 6,5 | 0,1 |
| Wasserkraft | 19,8 | 0,5 | - | - | - | - | - | - | 19,8 | 0,3 |
| Windenergie an Land | 3.728,2 | 91,3 | - | - | - | - | - | - | 3.728,2 | 61,0 |
| Windenergie auf See | - | - | - | - | - | - | 1.648,0 | 100,0 | 1.648,0 | 27,0 |
| Stromspeicher | - | - | - | - | 93,3 | 50,2 | - | - | 93,3 | 1,5 |
| Summe | 4.084,8 | 100,0 | 190,1 | 100,0 | 185,8 | 100,0 | 1.648,0 | 100,0 | 6.108,7 | 100,0 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 6: Volumen der durch KfW-Kreditprogramme 2016 in Deutschland unterstützten Investitionen in Erneuerbare Energien nach Verwendungszweck.

| Förderjahr 2016 (exkl. MwSt) | EE Standard | | EE Premium | | EE Speicher | | Offshore | | Summe | |
|---------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % | Mio. € | % |
| Biogas¹⁾ | 1,9 | 0,04 | 1,2 | 0,7 | - | - | - | - | 3,1 | 0,05 |
| Feste Biomasse | 1,9 | 0,04 | 38,2 | 22,7 | - | - | - | - | 40,1 | 0,6 |
| Geothermie (tief) | - | - | 1,0 | 0,6 | - | - | - | - | 1,0 | 0,02 |
| Große Wärmepumpe | - | - | 2,3 | 1,3 | - | - | - | - | 2,3 | 0,03 |
| Photovoltaik | 417,5 | 9,2 | - | - | 71,5 | 51,7 | - | - | 489,0 | 7,5 |
| Solarthermie | 0,01 | 0,00 | 2,6 | 1,5 | - | - | - | - | 2,6 | 0,04 |
| Wärmenetz | 1,0 | 0,02 | 117,4 | 69,9 | - | - | - | - | 118,4 | 1,8 |
| Wärmespeicher | - | - | 5,4 | 3,2 | - | - | - | - | 5,4 | 0,1 |
| Wasserkraft | 8,2 | 0,2 | - | - | - | - | - | - | 8,2 | 0,1 |
| Windenergie an Land | 4.081,5 | 89,6 | - | - | - | - | - | - | 4.081,5 | 62,9 |
| Windenergie auf See | - | - | - | - | - | - | 1.630,0 | 100,0 | 1.630,0 | 25,1 |
| Stromspeicher | 45,8 | 1,0 | - | - | 66,7 | 48,3 | - | - | 112,5 | 1,7 |
| Summe | 4.557,7 | 100,0 | 168,0 | 100,0 | 138,3 | 100,0 | 1.630,0 | 100,0 | 6.494,0 | 100,0 |

¹⁾ Stromerzeugung mit Biogas und Biogasleitungen.

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Die geförderten Investitionen in Windkraftanlagen an Land stiegen im Vergleich zu 2015 um 9,5 %. Die Investitionen in Stromspeicher legten von 2015 auf 2016 um 20,6 % zu, nachdem sie im Jahr zuvor um 46 % gestiegen waren. Auf Grund geringer Anlagenzahlen schwanken die Investitionen in tiefe Geothermie, große Wärmepumpen sowie Windkraftanlagen auf See zwischen verschiedenen Jahren stark, so dass ein Vorjahresvergleich meist geringe Aussagekraft besitzt. Die geförderten Investitionen in Solarthermie sanken 2016 wie bereits im Vorjahr um rund die Hälfte, die in Anlagen zur Nutzung fester Biomasse um rund 25 % und die in Wärmespeicher um 17 %. Dagegen stiegen die geförderten Investitionen in Wärmenetze im Vergleich zu 2015 um knapp 7 %. Die Rückgänge im Wärmebereich dürften zu einem großen Teil auf eine verschlechterte Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu fossilen Anlagen in Folge des anhaltend niedrigen Ölpreises zurückzuführen sein.

Die geförderten Investitionen in Biogasanlagen verzeichneten nach einer leichten Erholung 2015 im Jahr 2016 mit -83 % wieder einen Einbruch. Das geförderte Investitionsvolumen von Wasserkraftanlagen sank im Vorjahresvergleich um 59 %.

Im Jahr 2015 (2016) wurden in Deutschland insgesamt 14,0 (15,1) Mrd. € in den Ausbau der Erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmebereitstellung investiert (vgl. [1]). Mit den Förderkrediten der KfW wurden 2015 (2016) Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in Höhe von insgesamt 6,1 (6,5) Mrd. € ange-

stoßen. Verglichen mit den Gesamtinvestitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland in den jeweiligen Betrachtungsjahren hat die KfW damit im Jahr 2015 rechnerisch 43,1 % und im Jahr 2016 42,2 % aller in Deutschland getätigten Investitionen in den Ausbau der regenerativen Energien gefördert. Nimmt man die Investitionen in Windenergieanlagen auf See von der Berechnung aus, weil zwischen Darlehenszusage der KfW und der Inbetriebnahme der Anlagen mehrere Jahre liegen können und die damit verbundenen Investitionen größtenteils erst in den Folgejahren in der öffentlichen Zubaustatistik Berücksichtigung finden, so beträgt der KfW-Anteil im Jahr 2015 42,6 % und im Jahr 2016 40,1 % (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8).

Tabelle 7: Im Rahmen der KfW-Programme in Deutschland geförderte Investitionen in Erneuerbare Energien im Vergleich zu den Gesamtinvestitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland (vgl. [1]) für das Förderjahr 2015.

| Förderjahr 2015 | KfW-geförderte Investitionen in Mio. € | Gesamtinvestitionen Deutschland in Mio. € | Anteil KfW-Förderung in % |
|--|--|---|---------------------------|
| Biomasse (Strom) | 21,0 | 170 | 12,4 |
| Biomasse (Wärme) | 50,8 | 1.270 | 4,0 |
| Geothermie (tief) | 18,1 | 1.020 ¹⁾ | 1,8 |
| Große Wärmepumpe | 0,2 | In Wert für Geothermie enthalten | k.A. |
| Photovoltaik | 406,7 | 1.620 | 25,1 |
| Solarthermie | 5,1 | 800 | 0,6 |
| Wasserkraft | 19,8 | 60 | 33,0 |
| Windenergie an Land | 3.728,2 | 5.370 | 69,4 |
| Wärmenetz | 111,1 | k.A. | k.A. |
| Wärmespeicher | 6,5 | k.A. | k.A. |
| Stromspeicher | 93,3 | 170 ²⁾ | 54,9 |
| Summe (ohne Windenergie auf See)³⁾ | 4.460,7 | 10.480 | 42,6⁴⁾ |
| Nachrichtlich: Windenergie auf See | 1.648,0 | 3.680 | k.A.³⁾ |

¹⁾ Einschließlich Wärmepumpen.

²⁾ Abschätzung für Solarstromspeicher auf Basis der Angaben in [28].

³⁾ Der überwiegende Teil der von der KfW geförderten Windenergieanlagen auf See wird erst in den Folgejahren investitionswirksam und wird daher nicht in der Bundesstatistik der im Jahr 2015 getätigten Investitionen berücksichtigt. Aufgrund der großen zeitlichen Differenz zwischen Förderzusage und Inbetriebnahme der geförderten Anlagen wird hier von der Berücksichtigung des KfW-Anteils abgesehen.

⁴⁾ Bei Berücksichtigung von Windenergie auf See 43,1 %.

Tabelle 8: Im Rahmen der KfW-Programme in Deutschland geförderte Investitionen in Erneuerbare Energien im Vergleich zu den Gesamtinvestitionen in Erneuerbare Energien in Deutschland (vgl. [1]) für das Förderjahr 2016.

| Förderjahr 2016 | KfW-geförderte Investitionen in Mio. € | Gesamtinvestitionen Deutschland in Mio. € | Anteil KfW-Förderung in % |
|--|--|---|---------------------------|
| Biomasse (Strom) | 3,1 | 260 | 1,2 |
| Biomasse (Wärme) | 40,1 | 1.200 | 3,3 |
| Geothermie (tief) | 1,0 | 1.190 ¹⁾ | 0,1 |
| Große Wärmepumpe | 2,3 | In Wert für Geothermie enthalten | k.A. |
| Photovoltaik | 489,0 | 1.640 | 29,8 |
| Solarthermie | 2,6 | 690 | 0,4 |
| Wasserkraft | 8,2 | 30 | 27,2 |
| Windenergie an Land | 4.081,5 | 6.810 | 59,9 |
| Wärmenetz | 118,4 | k.A. | k.A. |
| Wärmespeicher | 5,4 | k.A. | k.A. |
| Stromspeicher | 66,7 ²⁾ | 200 ³⁾ | 33,4 |
| Summe (ohne Windenergie auf See und große Batteriespeicher) ⁴⁾ | 4.818,2 | 12.020 | 40,1⁵⁾ |
| Nachrichtlich: Windenergie auf See | 1.630,0 | 3.260 | k.A. ⁴⁾ |
| Nachrichtlich: Große Batteriespeicher ²⁾ | 45,8 | k.A. | k.A. |

¹⁾ Einschließlich Wärmepumpen.

²⁾ Die im Rahmen des Programmteils EE Standard geförderten Investitionen in große Batteriespeicher werden nachrichtlich ausgewiesen, da diese nicht ausschließlich Strom aus erneuerbaren Quellen nutzen.

³⁾ Abschätzung für Solarstromspeicher auf Basis der Angaben in [28].

⁴⁾ Der überwiegende Teil der von der KfW geförderten Windenergie auf See wird erst in den Folgejahren investitionswirksam und wird daher nicht in der Bundesstatistik der im Jahr 2016 getätigten Investitionen berücksichtigt. Aufgrund der großen zeitlichen Differenz zwischen Förderzusage und Inbetriebnahme der geförderten Anlagen wird hier von einer Berücksichtigung des KfW-Anteils abgesehen.

⁵⁾ **Bei Berücksichtigung von Windenergie auf See 42,2 %.**

Im Vergleich zum Vorjahr sank im Förderjahrgang 2016 der Anteil KfW-geförderter Investitionen – ohne Berücksichtigung der Windenergie auf See – um 2,5 Prozentpunkte. Dieser Rückgang geht insbesondere auf den von 69,4 % auf 59,9 % gesunkenen Anteil bei den Windkraftanlagen an Land zurück: Die Investitionen in diesem Bereich stiegen auf Bundesebene stärker als das Volumen KfW-geförderter Investitionen. Bei Stromspeichern¹ ging der Anteil von 54,9 % auf 33,4 %, bei Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse von 12,4 % auf 1,2 % und bei Wasserkraftanlagen von 33,0 % auf 27,2 % zurück. Im Bereich der Photovoltaik konnte der KfW-Anteil im Vorjahresvergleich von 25,1 % auf 29,8 % zulegen. Bei den übrigen Verwendungszwecken bewegten sich die KfW-

¹ Nur Solarstromspeicher berücksichtigt.

Förderanteile an den jeweiligen Investitionen 2015 und 2016, soweit sie hier erfasst werden können, zwischen 0,1 % und 4 %. Der geringe Anteil der KfW-Förderung im Wärmebereich (Biomasse und Solarthermie) ist darauf zurückzuführen, dass die Förderung im Wesentlichen über den BAFA-Teil des Marktanzreizprogramms des Bundes (kleine Solaranlagen, Biomasseheizungen und Wärmepumpen) erfolgt. Im Bereich der Biomasse werden zudem viele Anlagen auch ohne eine Förderung bzw. Fördernotwendigkeit errichtet (beispielsweise Kaminöfen). Detaillierte Angaben zu den Investitionen in Wärmenetze und Wärmespeicher sind auf Bundesebene nicht verfügbar. Es kann jedoch angesetzt werden, dass die in [1] ausgewiesenen Investitionen in Anlagen zur Wärmebereitstellung sowohl Wärmenetze als auch Wärmespeicher enthalten.

3.1.2 Geförderte Leistung

Die bereits im Hinblick auf die Investitionen beobachteten Anteile der KfW-Förderung im Bereich Erneuerbare Energien (vgl. Tabelle 7, Tabelle 8) finden sich in etwa auch beim Blick auf die geförderten Anlagenleistungen im Vergleich zur neu installierten Leistung in Deutschland (vgl. Tabelle 9, Tabelle 10).

Im Jahr 2015 (2016) wurden rechnerisch 51 % (44 %) der insgesamt in Deutschland zu gebauten elektrischen Leistung (ohne Windenergie auf See) über die KfW gefördert. Der Rückgang um 7 Prozentpunkte ist vor allem auf den gesunkenen Anteil bei den geförderten Windkraftanlagen an Land zurückzuführen. In beiden betrachteten Förderjahren wird mit 62 % bzw. 51 % im Bereich der Onshore-Windenergie der höchste KfW-Förderanteil erreicht. Bei der Interpretation der ermittelten Anteile ist zu berücksichtigen, dass beim Bau von Windkraftanlagen ein zeitlicher Verzug zwischen Förderzusage und Inbetriebnahme nicht ungewöhnlich ist, wodurch die zeitliche Zuordnung unpräzise werden kann (im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2016 betrug der KfW-Förderanteil bei Windenergie an Land 65 %). Bei Photovoltaikanlagen wurde 2015 (2016) ein KfW-Anteil von 24 % (29 %) an der installierten elektrischen Leistung erreicht. Bei Wasserkraft belief sich der KfW-Förderanteil auf 85 % (20 %), bei Anlagen zur Stromerzeugung aus fester Biomasse auf 46 % (0 %) und bei Biogasanlagen auf 13 % (0,5 %).

Tabelle 9: In Deutschland geförderte elektrische und thermische Leistung der KfW-Programme im Förderjahrgang 2015 im Vergleich zu den 2015 insgesamt in Deutschland zugebauten Leistungen (vgl. [1], [3], [4]).

| Förderjahr 2015 | Verwendungszweck | Geförderte Leistung in MW _{el} bzw. MW _{th} | In Deutschland zugebaute Leistung in MW _{el} bzw. MW _{th} | Anteil der KfW-geförderten Anlagen am Zubau in Deutschland in % |
|----------------------------------|--|---|---|---|
| Strom | Windenergie an Land | 2.285,8 | 3.700 | 62 |
| | Photovoltaik | 354,9 | 1.450 | 24 |
| | Wasserkraft | 8,0 | 9,4 | 85 |
| | Biogas ¹⁾ | 13,7 | 104 | 13 |
| | Feste Biomasse | 0,6 | 1,2 | 46 |
| | Summe (ohne Winden. auf See)²⁾ | 2.663,0 | 5.265 | 51³⁾ |
| | Nachr.: Windenergie auf See | 402 | 1.189 | k.A. ²⁾ |
| Wärme⁴⁾ | Solarthermie ⁵⁾ | 4,4 | 564 | 0,8 |
| | Feste Biomasse | 99,9 | k.A. | k.A. |
| | Geothermie (tief) | 16,0 | k.A. | k.A. |
| | Große Wärmepumpe | 0,5 | k.A. | k.A. |
| | Summe | 120,8 | k.A. | k.A. |
| Wärmenetze (Trassenlänge) | | 429,1 km | k.A. | k.A. |

Anmerkung: Nicht in der Datenbank vorliegende elektrische bzw. thermische Leistungen wurden anhand der spezifischen Investitionskosten der vollständigen Datensätze hochgerechnet.

¹⁾ Stromerzeugung.

²⁾ Von der KfW geförderte Windenergieanlagen auf See werden erst in den Folgejahren errichtet und sind damit nicht in der bundesweiten Zubaustatistik für 2015 erfasst. Aufgrund der großen zeitlichen Differenz zwischen Förderzusage und Inbetriebnahme der Anlagen wird hier von der Berücksichtigung des KfW-Anteils abgesehen.

³⁾ **Bei Berücksichtigung von Windenergie auf See 47 %.**

⁴⁾ Ohne den thermischen Leistungsanteil der KWK-Anlagen aus dem Strombereich.

⁵⁾ Der geringe Anteil der von der KfW geförderten solarthermischen Anlagen am Zubau in Deutschland ist dadurch zu erklären, dass solarthermische Anlagen zu über 95 % kleiner als 20 m² bzw. 14 kW sind und über den BAFA-Teil des Marktanzreizprogramms des Bundes mit Investitionskostenzuschüssen gefördert werden.

Im Wärmesektor bzw. bei der Förderung von Wärmenetzen und Biogasleitungen wird die Einordnung der KfW-Förderung dadurch erschwert, dass außer zur Solarthermie keine Angaben zur installierten Leistung bzw. (Trassen-)Länge auf Bundesebene verfügbar sind. Als Größenordnung im Bereich der Wärmeherzeugung aus Biomasse kann jedoch der Anteil der Investitionen aus Tabelle 7 und Tabelle 8 näherungsweise herangezogen werden. Bezogen auf die installierte Leistung zur Wärmebereitstellung aus Biomasse ist allerdings anzunehmen, dass der KfW-Anteil leicht höher liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von der KfW große Biomasseanlagen gefördert werden, die geringere spezifische Kosten aufweisen und damit leistungsbezogen einen größeren Marktanteil einnehmen.

Tabelle 11 bis Tabelle 14 zeigen für die Förderjahrgänge 2015 und 2016 die Aufteilung der geförderten elektrischen bzw. thermischen Leistung auf die einzelnen Förderprogramme der KfW.

Tabelle 10: in Deutschland geförderte elektrische und thermische Leistung der KfW-Programme im Förderjahrgang 2016 im Vergleich zu den 2016 insgesamt in Deutschland zugebauten Leistungen (vgl. [1], [5], [6]).

| Förderjahr 2016 | Verwendungszweck | Geförderte Leistung in MW _{el} bzw. MW _{th} | In Deutschland zugebaute Leistung in MW _{el} bzw. MW _{th} | Anteil der KfW-geförderten Anlagen am Zubau in Deutschland in % |
|----------------------------------|--|---|---|---|
| Strom | Windenergie an Land | 2.368,8 | 4.642 | 51 |
| | Photovoltaik | 442,8 | 1.534 | 29 |
| | Wasserkraft | 1,7 | 8,7 | 20 |
| | Biogas ¹⁾ | 0,9 | 199,6 | 0,5 |
| | Feste Biomasse | - | 9,6 | 0 |
| | Summe (ohne Windenergie auf See)²⁾ | 2.814,2 | 6.394 | 44³⁾ |
| | Nachr.: Windenergie auf See | 396,0 | 695 | k.A. ²⁾ |
| Wärme | Solarthermie ⁴⁾ | 2,9 | 521 | 0,6 |
| | Feste Biomasse | 86,1 | k.A. | k.A. |
| | Geothermie (tief) | 4,0 | k.A. | k.A. |
| | Große Wärmepumpe | 6,3 | k.A. | k.A. |
| | Summe | 99,3 | k.A. | k.A. |
| Wärmenetze (Trassenlänge) | | 449,2 km | k.A. | k.A. |
| Biogasleitungen (Länge) | | 3,5 km | k.A. | k.A. |

Anmerkung: Nicht in der Datenbank vorliegende elektrische bzw. thermische Leistungen wurden anhand der spezifischen Investitionskosten der vollständigen Datensätze hochgerechnet.

¹⁾ Stromerzeugung.

²⁾ Von der KfW geförderte Windenergieanlagen auf See werden erst in den Folgejahren errichtet und sind damit nicht in der bundesweiten Zubaustatistik für 2016 erfasst. Aufgrund der großen zeitlichen Differenz zwischen Förderzusage und Inbetriebnahme der Anlagen wird hier von der Berücksichtigung des KfW-Anteils abgesehen.

³⁾ **Bei Berücksichtigung von Windenergie auf See 45 %.**

⁴⁾ Der geringe Anteil der von der KfW geförderten solarthermischen Anlagen am Zubau in Deutschland ist dadurch zu erklären, dass solarthermische Anlagen zu über 95 % kleiner als 20 m² bzw. 14 kW sind und über den BAFA-Teil des Marktanzreizprogramms des Bundes mit Investitionskostenzuschüssen gefördert werden.

Tabelle 11: 2015 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte elektrische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm.

| Förderjahr 2015 | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore | Summe |
|----------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| MW_{el} | | | | | |
| Windenergie an Land | 2.285,8 | - | - | - | 2.285,8 |
| Windenergie auf See | - | - | - | 402,0 | 402,0 |
| Photovoltaik | 294,9 | - | 60,1 | - | 354,9 |
| Wasserkraft | 8,0 | - | - | - | 8,0 |
| Biogas ¹⁾ | 13,7 | - | - | - | 13,7 |
| Feste Biomasse | 0,5 | 0,05 | - | - | 0,6 |
| Summe | 2.602,9 | 0,05 | 60,1 | 402,0 | 3.065,0 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Stromerzeugung.

Tabelle 12: 2015 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte thermische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm.

| Förderjahr 2015 | EE Standard | EE Premium | Summe |
|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| MW_{th} | | | |
| Solarthermie | 0,06 | 4,4 | 4,4 |
| Feste Biomasse | 0,9 | 98,9 | 99,9 |
| Geothermie (tief) | - | 16,0 | 16,0 |
| Große Wärmepumpe | - | 0,5 | 0,5 |
| Summe | 1,0 | 119,8 | 120,8 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 13: 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte elektrische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm.

| Förderjahr 2016 | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore | Summe |
|----------------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| MW_{el} | | | | | |
| Windenergie an Land | 2.368,8 | - | - | - | 2.368,8 |
| Windenergie auf See | - | - | - | 396,0 | 396,0 |
| Photovoltaik | 397,8 | - | 45,0 | - | 442,8 |
| Wasserkraft | 1,7 | - | - | - | 1,7 |
| Biogas ¹⁾ | 0,9 | 0,03 | - | - | 0,9 |
| Summe | 2.769,2 | 0,03 | 45,0 | 396,0 | 3.210,2 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Stromerzeugung.

Tabelle 14: 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderte thermische Leistung im Bereich der Erneuerbaren Energien, nach Verwendungszweck und Förderprogramm.

| Förderjahr 2016 | EE Standard | EE Premium | Summe |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| MW_{th} | | | |
| Solarthermie | 0,05 | 2,9 | 2,9 |
| Feste Biomasse | 2,4 | 83,7 | 86,1 |
| Geothermie (tief) | - | 4,0 | 4,0 |
| Große Wärmepumpe | - | 6,3 | 6,3 |
| Summe | 2,5 | 96,8 | 99,3 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Anhand der installierten Leistungen wurde mittels Referenzanlagen (vgl. Anhang A.5) die Strommenge bzw. im Wärmebereich der Beitrag zur Endenergiebereitstellung abgeschätzt. Insgesamt produzieren die von der KfW im Jahr 2015 (2016) geförderten EE-Anlagen im Stromsektor eine jährliche Strommenge von ca. 6,8 (6,9) TWh (vgl. Tabelle 15 und Tabelle 16). Rund 75 % (77 %) des produzierten Stroms der von der KfW geförderten EE-Anlagen entfallen auf Windenergieanlagen an Land sowie auf Photovoltaikanlagen. Die im Jahr 2015 (2016) von der KfW geförderten EE-Anlagen im Wärmesektor stellen jährlich Endenergie in Höhe von rund 0,6 (0,5) TWh zur Verfügung. Davon entfallen 95 % (98 %) auf Anlagen, die durch den Programmteil EE Premium gefördert wurden.

Tabelle 15: Abschätzung der jährlichen Stromerzeugung der 2015 und 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderten Anlagen im Bereich der Erneuerbaren Energien nach Förderprogramm.

| TWh | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore | Summe |
|------------------------|-------------|------------|-------------|----------|------------|
| Förderjahr 2015 | 5,2 | - | 0,05 | 1,5 | 6,8 |
| Förderjahr 2016 | 5,4 | - | 0,04 | 1,5 | 6,9 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 16: Abschätzung der jährlich bereitgestellten Endenergie Wärme der 2015 und 2016 durch KfW-Kreditprogramme in Deutschland geförderten Anlagen im Bereich der Erneuerbaren Energien nach Förderprogramm.

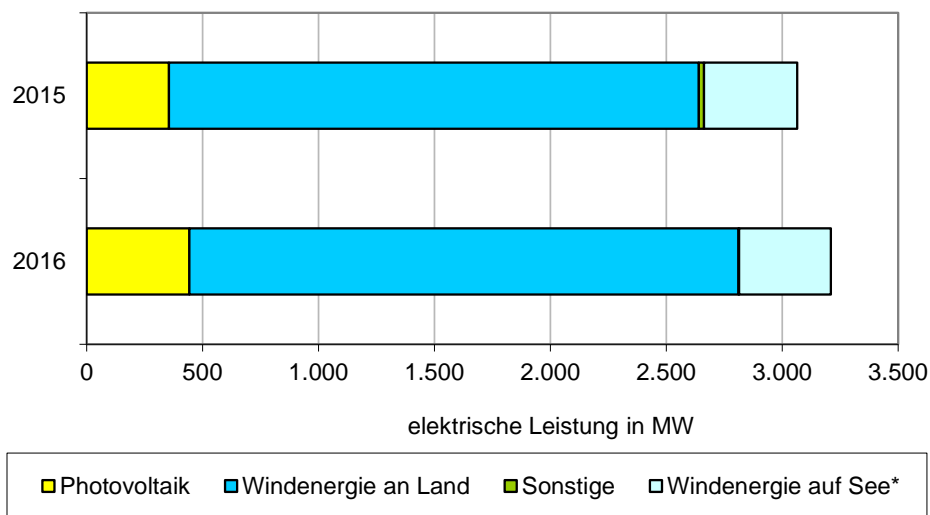
| TWh | EE Standard | EE Premium | Summe |
|------------------------|-------------|------------|------------|
| Förderjahr 2015 | 0,03 | 0,5 | 0,6 |
| Förderjahr 2016 | 0,01 | 0,5 | 0,5 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

3.1.3 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der von der KfW in Deutschland geförderten elektrischen Leistung für die Jahre 2015 und 2016. Die leichte Zunahme von insgesamt 3,1 GW 2015 auf 3,2 GW 2016 spiegelt direkt die in diesem Zeitraum zu verzeichnende Zunahme

des geförderten Investitionsvolumens in Anlagen zur Stromerzeugung wider. Sowohl für Photovoltaikanlagen als auch für Windenergieanlagen an Land wuchs die geförderte installierte Leistung, während für Windkraftanlagen auf See ein leichter Rückgang zu verzeichnen war. Die sonstigen geförderten EE-Anlagen zur Stromerzeugung (Biogas, Wasserkraft und feste Biomasse) spielen mengenmäßig eine zu vernachlässigende Rolle.



* Nach vollständiger Inbetriebnahme der geförderten Anlagen

Abbildung 1: Von der KfW in Deutschland geförderte elektrische Leistung nach Technologien.

3.2 Einsparung fossiler Energieträger

3.2.1 Einsparung fossiler Energieträger und vermiedene Energieimporte

Der Energiebedarf Deutschlands wird trotz des gestiegenen Anteils erneuerbarer Energien nach wie vor zu einem großen Teil aus fossilen Rohstoffen gedeckt. Der Anteil der fossilen Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt im Jahr 2016 weiterhin nahezu unverändert bei rund 80 %, weiterhin wird 7 % des Primärenergieverbrauchs durch Kernenergie gedeckt. Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch beträgt knapp 13 % (vgl. Abbildung 2).

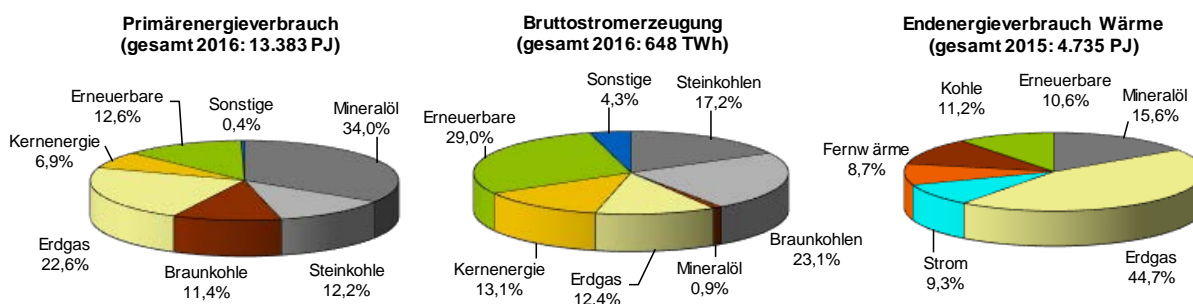


Abbildung 2: Struktur des Primärenergieverbrauchs, der Bruttostromerzeugung² sowie des Endenergieverbrauchs zur Wärmebereitstellung³ in Deutschland [7, 8].

Mit Blick auf die Stromerzeugung war in den vergangenen Jahren ein deutliches Wachstum der erneuerbaren Energien zu verzeichnen, die mittlerweile fast 30 % zur Bruttostromerzeugung beitragen. Der Kernenergieanteil ist weiterhin rückläufig, der Anteil der fossilen Energien beträgt weiterhin rund 54 %. Im Bereich der Wärmebereitstellung beträgt der direkte Anteil der fossilen Energien gut 70 % des Endenergieverbrauchs, wobei zu berücksichtigen ist, dass Fernwärme und Strom zu einem großen Teil auch aus fossilen Energieträgern stammen. Erneuerbare Energien standen im Jahr 2015 für knapp 11 % des Endenergieverbrauchs zur Wärmebereitstellung.

Die deutsche Energieversorgung ist im Hinblick auf fossile Energieträger durch eine hohe Importabhängigkeit gekennzeichnet. Die Nettoimportquote der deutschen Energieversorgung beträgt derzeit knapp 70 % und ist in den vergangenen Jahren nur mäßig rückläufig (in den Jahren 2000 - 2006 pendelte die Nettoimportquote zwischen 72 und 74 %). Die Importquoten 2015 betragen bei Mineralöl 99 %, bei Erdgas 88 % und bei Steinkohle 88 % [7]. Die durch die KfW-Förderprogramme induzierte Einsparung fossiler Energieträger leistet einen Beitrag zur Verminderung der Importe fossiler Energieträger und damit zur Erhöhung der Versorgungssicherheit.

² Der in der Einleitung genannte Anteil der Erneuerbaren Energien von 31,7 % bezieht sich auf den Stromverbrauch. Die in Abbildung 2 angeführten Zahlen beziehen sich auf die Stromerzeugung. Da die Stromerzeugung in Deutschland leicht höher als der Stromverbrauch liegt, ergibt sich ein geringerer EE-Anteil beim Bezug auf die Stromerzeugung.

³ Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen zum Endenergieverbrauch für die Wärmebereitstellung nach Energieträgern keine aktuelleren Angaben als für das Jahr 2015 vor.

Die von der KfW geförderten EE-Anlagen verdrängen zu unterschiedlichen Anteilen fossile Energieträger. Zur Ermittlung der pro Betriebsjahr zu erwartenden Einsparung fossiler Energieträger wird auf die Berechnungsmethode zurückgegriffen, die von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) im Rahmen der Berichterstattung des Bundeswirtschaftsministeriums verwendet wird. Für die detaillierte Beschreibung der Berechnungsmethodik, der angesetzten Berechnungsparameter sowie der Ansätze zur Monetarisierung der eingesparten Brennstoffe bzw. Energieimporte wird auf die Erläuterungen in den Anhängen A.1 bis A.6 verwiesen. Für die Preispfade wurden die Annahmen des Projektionsberichts 2017 [9] herangezogen.

Die jährliche Einsparung fossiler Energieträger nach Programmen ist für die beiden Förderjahrgänge in Tabelle 15 und 16 dargestellt.

Tabelle 17: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach KfW-Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| GWh/a | Steinkohle | Erdgas | Braunkohle | Mineralöl | Summe | Anteil |
|--------------------|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------|
| EE Standard | 7.696 | 3.736 | 2 | 17 | 11.450 | 71,9% |
| EE Speicher | 69 | 35 | 0 | 0 | 103 | 0,6% |
| EE Premium | 263 | 508 | 92 | 93 | 956 | 6,0% |
| Offshore | 2.305 | 1.116 | 0 | 0 | 3.420 | 21,5% |
| Summe | 10.332 | 5.394 | 94 | 110 | 15.930 | 100,0% |
| Anteil | 64,9% | 33,9% | 0,6% | 0,7% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 18: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach KfW-Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| GWh/a | Steinkohle | Erdgas | Braunkohle | Mineralöl | Summe | Anteil |
|--------------------|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------|
| EE Standard | 7.919 | 3.849 | 1 | 1 | 11.770 | 73,5% |
| EE Speicher | 52 | 26 | 0 | 0 | 78 | 0,5% |
| EE Premium | 193 | 409 | 67 | 124 | 793 | 5,0% |
| Offshore | 2.270 | 1.099 | 0 | 0 | 3.369 | 21,0% |
| Summe | 10.433 | 5.383 | 68 | 126 | 16.011 | 100,0% |
| Anteil | 65,2% | 33,6% | 0,4% | 0,8% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 19 und Tabelle 20 zeigen die jährliche Einsparung fossiler Energieträger nach geförderten Technologien für die Förderjahrgänge 2015 und 2016. Diese liegt für das Förderjahr 2015 in Summe bei 15,9 TWh (57 PJ) pro Jahr, für das Förderjahr 2016 beläuft sie sich auf 16,0 TWh (58 PJ) jährlich. Mit 88 % 2015 und 90 % 2016 entfiel in beiden Jahren der weit überwiegende Anteil der fossilen Primärenergieeinsparung auf Anlagen zur Nutzung der Windenergie an Land und auf See.

Tabelle 19: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach Technologien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| GWh/a | Steinkohle | Erdgas | Braunkohle | Mineralöl | Summe | Anteil |
|---|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------|
| Windenergie an Land | 7.148 | 3.460 | 0 | 0 | 10.608 | 66,6% |
| Windenergie auf See | 2.305 | 1.116 | 0 | 0 | 3.420 | 21,5% |
| Biogas (Strom)¹⁾ | 117 | 57 | 0 | 17 | 191 | 1,2% |
| Photovoltaik | 361 | 183 | 0 | 0 | 544 | 3,4% |
| Stromspeicher (einschl. PV²⁾) | 69 | 35 | 0 | 0 | 103 | 0,6% |
| Biomasse HW, HKW | 185 | 310 | 64 | 0 | 559 | 3,5% |
| Biogasleitungen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0% |
| Wasserkraft | 62 | 26 | 0 | 0 | 88 | 0,6% |
| Wärmenetze | 26 | 105 | 8 | 92 | 232 | 1,5% |
| Solarthermie | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 0,6 | 1,4 | 0,01% |
| Geothermie (tief) | 59 | 101 | 21 | 0 | 182 | 1,1% |
| Große Wärmepumpen | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 1 | 0,0% |
| Summe | 10.332 | 5.394 | 94 | 110 | 15.930 | 100,0% |
| Anteil | 64,9% | 33,9% | 0,6% | 0,7% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Einschließlich Einsparung fossiler Energieträger durch Wärmenutzung.

²⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Neben der Umwelt- und Klimaverträglichkeit als eine wesentliche Anforderung an die Energieversorgung ist auch die Versorgungssicherheit von großer Wichtigkeit. Die Vorkommen an fossiler Energie sind in Deutschland gering: Dem Primärenergieverbrauch von rund 13,4 EJ im Jahr 2016 steht eine Primärenergiegewinnung im Inland von 4,0 EJ gegenüber. Davon entfallen 40 % auf die heimische Braunkohle. Die Erneuerbaren Energien als heimische Energiequellen leisten bereits einen ähnlich großen Beitrag wie die Braunkohle. Insgesamt mussten wie in den Vorjahren rund 70 % der in Deutschland im Jahr 2016 verbrauchten Primärenergieträger importiert werden. Die Nutzung erneuerbarer Energieträger mindert nicht nur den Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern, sondern trägt auch zur Steigerung der Unabhängigkeit von Energieimporten bei.

Tabelle 20: Jährliche Einsparung fossiler Energieträger (Primärenergie) durch die Nutzung Erneuerbarer Energien nach Technologien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| GWh/a | Steinkohle | Erdgas | Braunkohle | Mineralöl | Summe | Anteil |
|---|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------|
| Windenergie an Land | 7.407 | 3.585 | 0 | 0 | 10.993 | 68,7% |
| Windenergie auf See | 2.270 | 1.099 | 0 | 0 | 3.369 | 21,0% |
| Biogas (Strom)¹⁾ | 8 | 4 | 0 | 1 | 13 | 0,1% |
| Photovoltaik | 486 | 247 | 0 | 0 | 734 | 4,6% |
| Stromspeicher (einschl. PV²⁾) | 52 | 26 | 0 | 0 | 78 | 0,5% |
| Biomasse HW, HKW | 149 | 254 | 53 | 0 | 456 | 2,8% |
| Biogasleitungen | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0,0% |
| Wasserkraft | 13 | 6 | 0 | 0 | 19 | 0,1% |
| Wärmenetze | 34 | 136 | 11 | 120 | 300 | 1,9% |
| Solarthermie | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,4 | 0,9 | 0,01% |
| Geothermie (tief) | 12 | 21 | 4 | 0 | 38 | 0,2% |
| Große Wärmepumpen | 1 | 4 | 0 | 3 | 8 | 0,1% |
| Summe | 10.433 | 5.383 | 68 | 126 | 16.011 | 100,0% |
| Anteil | 65,2% | 33,6% | 0,4% | 0,8% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

^{1) 2)} siehe Tabelle 19

Tabelle 21: Vermiedene jährliche Energieimporte und Kosten für fossile Brennstoffe für den Förderjahrgang 2015.

| Förderjahr 2015 | Eingesparte Energiemengen p.a. | | Importquote ¹⁾ | Vermiedene Energieimporte p.a. | | Einfuhrpreise ²⁾ | Vermiedene Kosten für importierte Energieträger in Mio. € _{2014/a} | |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|---|------------|
| Braunkohle | 36 | 1.000 t/a | 0% | 0 | 1.000 t/a | k.A. | - | - |
| Steinkohle | 1.378 | 1.000 t/a | 100% | 1.378 | 1.000 t/a | 10.818 €/GWh | | 112 |
| Erdgas | 552 | Mio. m ³ /a | 100% | 552 | Mio. m ³ /a | 28.553 €/GWh | | 154 |
| Mineralöl | 11 | Mio. l/a | 100% | 11 | Mio. l/a | 50.074 €/GWh | | 6 |
| Summe | | | | | | | | 271 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Es wird unterstellt, dass in Deutschland geförderte Energie nicht verdrängt wird, sondern dass die Einsparung durch den Einsatz Erneuerbarer Energien vollständig den Importen zuzurechnen ist. Da keine Braunkohle nach Deutschland importiert wird, wird in diesem Fall die Importquote zu Null gesetzt. Die tatsächlichen Importquoten 2015 betragen (nachrichtlich): Braunkohle -3 % (d.h. Export); Steinkohle 88 %, Erdgas 88 %, Mineralöl 99 % [7].

²⁾ Vgl. auch Anhang A.6. Es wurden Energiepreise aus dem Projektionsbericht 2017 [9] ohne CO₂-Aufschläge angesetzt, für 2015/2016 wurden aktuelle Werte verwendet [7]. Mit der Annuitätenmethode wurden die jährlich unterschiedlichen Brennstoffpreise mittels des Kalkulationszinssatzes über die Anlagenlebensdauer in eine reale Annuität, d.h. preisbereinigte jährlich konstante Werte, umgerechnet.

Bei der folgenden Berechnung wird unterstellt, dass – abgesehen von der Braunkohle – die Einsparung fossiler Energieträger vollständig zu einer Minderung der Energieimporte führt. Heimische Energieträger (Braunkohle) werden damit im Rahmen dieser Methodik nicht durch die Nutzung der geförderten Anlagen verdrängt. Demnach wird nach vollständiger Inbetriebnahme der durch die mit den Programmen der KfW in den Jahren 2015 (2016) geförderten Erneuerbaren Energien die Einfuhr von jährlich rund 1,4 (1,4) Mio. t Steinkohle, 552 (551) Mio. m³ Erdgas und rund 11 (12) Mio. Liter Mineralöl bzw. entsprechende Rohölimporte vermieden (vgl. Tabelle 21 und Tabelle 22).

Tabelle 22: Vermiedene jährliche Energieimporte und Kosten für fossile Brennstoffe für den Förderjahrgang 2016.

| Förderjahr 2016 | Eingesparte Energiemengen p.a. | | Importquote ¹⁾ | Vermiedene Energieimporte p.a. | | Einfuhrpreise ²⁾ | | Vermiedene Kosten für importierte Energieträger in Mio. € _{2014/a} |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------|---|
| Braunkohle | 25 | 1.000 t/a | 0% | 0 | 1.000 t/a | k.A. | - | - |
| Steinkohle | 1.391 | 1.000 t/a | 100% | 1.391 | 1.000 t/a | 11.093 | €/GWh | 116 |
| Erdgas | 551 | Mio. m ³ /a | 100% | 551 | Mio. m ³ /a | 29.666 | €/GWh | 160 |
| Mineralöl | 12 | Mio. l/a | 100% | 12 | Mio. l/a | 52.233 | €/GWh | 7 |
| Summe | | | | | | | | 282 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

1) 2) siehe Tabelle 21

In den obigen Tabellen sind die vermiedenen Energieimporte auf Grundlage der Einfuhrpreise monetär bewertet worden. Da die korrespondierenden Beträge nicht aus der deutschen Volkswirtschaft abfließen, können durch die im Jahr 2015 und 2016 von der KfW-geförderte Energiebereitstellung aus Erneuerbaren Energien Energieimporte in einer Größenordnung von rund 271 bzw. 282 Mio. €/a vermieden werden. Über die angenommene Lebensdauer der Maßnahmen von 20 Jahren summieren sich die Einsparungen auf rund 5,4 Mrd. € (Förderjahrgang 2015) und 5,6 Mrd. € (Förderjahrgang 2016). Tabelle 23 und Tabelle 24 zeigen die Aufteilung der vermiedenen jährlichen Kosten für importierte fossile Brennstoffe auf die einzelnen Förderprogramme.

Tabelle 23: Vermiedene jährliche Kosten für importierte fossile Brennstoffe nach Förderprogramm für den Förderjahrgang 2015.

| Mio. € _{2014/a} | Steinkohle | Erdgas | Mineralöl | Summe | Anteil |
|--------------------------|------------|------------|-----------|------------|--------|
| EE Standard | 83 | 107 | 1 | 191 | 70,3% |
| EE Speicher | 1 | 1 | 0 | 2 | 0,6% |
| EE Premium | 3 | 15 | 5 | 22 | 8,1% |
| Offshore | 25 | 32 | 0 | 57 | 20,9% |
| Summe | 112 | 154 | 6 | 271 | 100,0% |
| Anteil | 41,2% | 56,8% | 2,0% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 24: Vermiedene jährliche Kosten für importierte fossile Brennstoffe nach Förderprogramm für den Förderjahrgang 2016.

| Mio. € _{2014/a} | Steinkohle | Erdgas | Mineralöl | Summe | Anteil |
|--------------------------|------------|------------|-----------|------------|--------|
| EE Standard | 88 | 114 | 0 | 202 | 71,7% |
| EE Speicher | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,5% |
| EE Premium | 2 | 12 | 6 | 21 | 7,4% |
| Offshore | 25 | 33 | 0 | 58 | 20,5% |
| Summe | 116 | 160 | 7 | 282 | 100,0% |
| Anteil | 41,0% | 56,6% | 2,3% | 100,0% | |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

3.2.2 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016

Zur Einordnung der Wirkungen wird die Einsparung fossiler Energieträger für die beiden betrachteten Förderjahre gegenübergestellt. Abbildung 3 zeigt die Einsparung nach fossilen Energieträgern gruppiert nach geförderten Technologien und Jahren.

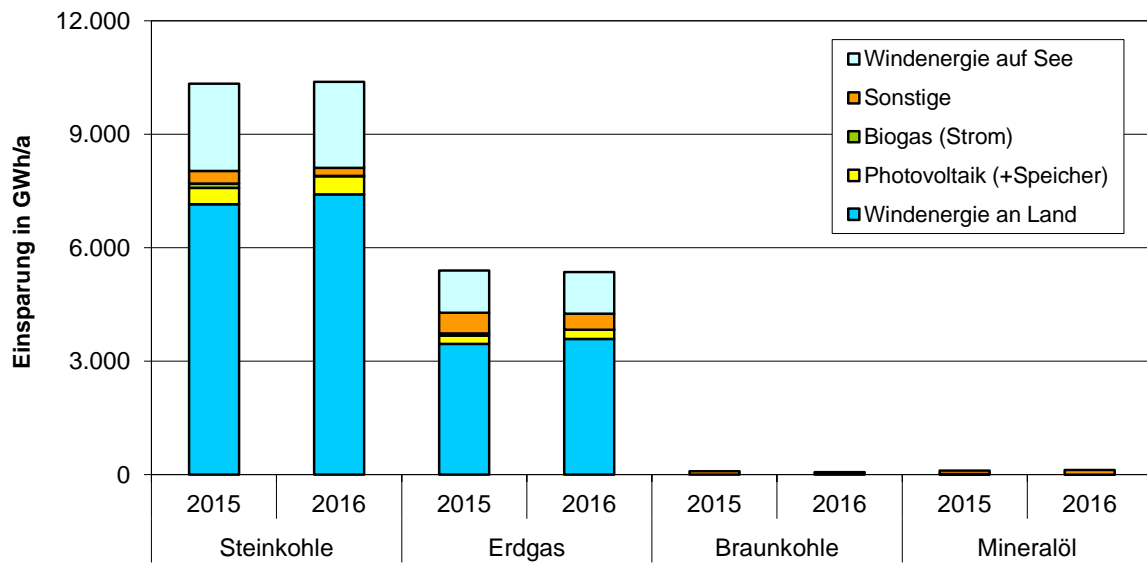


Abbildung 3: Jährliche Einsparung fossiler Brennstoffe (Primärenergie) der von der KfW geförderten Vorhaben 2015 und 2016 nach Technologien (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

In beiden Förderjahrgängen dominiert die Einsparung durch die geförderten Windenergieanlagen, die hauptsächlich Steinkohle und in geringerem Umfang Erdgas einsparen. Die Einsparung von Mineralöl ist zum Großteil den im Wärmesektor geförderten Vorhaben im Programmteil „Premium“ zuzurechnen.

3.3 Vermiedene Emissionen und vermiedene externe Kosten

Die im vorigen Kapitel betrachtete Einsparung fossiler Energien ist nicht allein vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit von Bedeutung, sondern auch unter dem Aspekt vermiedener Emissionen von Treibhausgasen und klassischen Luftschadstoffen (SO_2 , NO_x , Feinstaub sowie NMVOC). Damit kommt der Nutzung Erneuerbarer Energien auch für den Umwelt- und Klimaschutz eine zentrale Bedeutung zu. Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen ist Gegenstand des folgenden Abschnitts 3.3.1. Die Auswirkungen der KfW-Förderung im Bereich Erneuerbarer Energien auf die Emission von Luftschadstoffen wird in Abschnitt 3.3.2 analysiert.

Die Bilanzierung der Emissionsvermeidung folgt der Methodik zur Einsparung fossiler Energieträger. Unterschiede zu den eingesparten fossilen Energieträgern ergeben sich daraus, dass sich die CO_2 -Faktoren und Schadstoffemissionen der substituierten Energieträger deutlich voneinander unterscheiden. So entsteht beispielsweise bei der Verbrennung von Kohle etwa doppelt so viel CO_2 wie bei der Verbrennung von Erdgas, weil bei Erdgas entsprechend der chemischen Zusammensetzung der enthaltene Wasserstoff einen hohen Anteil am Heizwert hat. CO_2 -Emissionen sind auch mit der Nutzung von Bioenergien verbunden, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass diese Prozesse insgesamt weitgehend CO_2 -neutral sind, weil das freigesetzte CO_2 zuvor während des Pflanzenwachstums aus der Atmosphäre aufgenommen wurde.

Nachfolgend werden die Treibhausgase CO_2 (Kohlendioxid), CH_4 (Methan) und N_2O (Lachgas) sowie die Luftschadstoffe SO_2 (Schwefeldioxid), NO_x (Stickoxide), Feinstaub sowie NMVOC (Non-methane volatile organic compounds) betrachtet. Diese stellen die schädlichsten und quantitativ wichtigsten Stoffe dar, weshalb für sie auch die Datenverfügbarkeit am besten ist. Die detaillierte Methodik zur Ermittlung der vermiedenen Emissionen von Treibhausgasen sowie Luftschadstoffen ist in Anhang A.2 dargestellt.

Luftschadstoffe beeinträchtigen die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen und wirken zerstörerisch auf Bauwerke und andere Sachgüter. Treibhausgase tragen zur globalen Klimaänderung bei und führen so ebenfalls zu Schäden. Diese Schäden führen bei den Betroffenen oder der Allgemeinheit zu Kosten, welche nicht vom Verursacher getragen werden, man spricht von „externen“ Kosten. Eine Minderung der Emissionen durch die Nutzung Erneuerbarer Energien und die damit verbundenen Schäden stellt einen gesellschaftlichen Nutzen dar. Dieser Nutzen wird in Abschnitt 3.3.3 mittels gängiger Wertansätze in monetären Größen abgeschätzt.

3.3.1 Vermiedene Treibhausgasemissionen

Als Folge der Substitution fossiler Energieträger ist durch die Nutzung der im Jahr 2015 und 2016 geförderten Erneuerbaren Energien von einer jährlichen CO_2 -Vermeidung in Höhe von 4,3 bzw. 4,4 Mio. t auszugehen. Werden die treibhausrelevanteren Gase Methan

und Lachgas einbezogen, erhöht sich die Einsparung auf 4,7 bzw. 4,8 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr (vgl. Tabelle 25 und Tabelle 26).

Tabelle 25: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Kreditprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. t/a | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore-Windenergie | Summe |
|-----------------------------------|-------------|------------|-------------|----------------------|---------------|
| CO₂ | 3,21 | 0,13 | 0,03 | 0,96 | 4,33 |
| Anteil | 74,1% | 3,0% | 0,7% | 22,3% | 100,0% |
| CO₂-Äquivalente | 3,51 | 0,12 | 0,03 | 1,06 | 4,72 |
| Anteil | 74,2% | 2,6% | 0,7% | 22,5% | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 26: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Kreditprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. t/a | EE Standard | EE Premium | EE Speicher | Offshore-Windenergie | Summe |
|-----------------------------------|-------------|------------|-------------|----------------------|---------------|
| CO₂ | 3,29 | 0,11 | 0,02 | 0,95 | 4,38 |
| Anteil | 75,2% | 2,6% | 0,5% | 21,7% | 100,0% |
| CO₂-Äquivalente | 3,62 | 0,10 | 0,02 | 1,04 | 4,79 |
| Anteil | 75,6% | 2,1% | 0,5% | 21,8% | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Wie auch in den Vorjahren entfällt ein großer Teil der Treibhausgasreduzierungen auf die geförderten Windenergieanlagen. Diese stehen für jeweils gut 90 % der vermiedenen Treibhausgaseinsparungen der beiden Förderjahre 2015 und 2016. Der Beitrag der geförderten Photovoltaikanlagen zur Treibhausgasvermeidung ist in den vergangenen Jahren deutlich gesunken und liegt mittlerweile im einstelligen Prozentbereich (vgl. Tabelle 27 und Tabelle 28).

Tabelle 27: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| 1.000 t/a | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ -Äquivalente | Anteil CO ₂ -Äquiv. |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Windenergie an Land | 2.968 | 11,4 | 0,046 | 3.267 | 69,2% |
| Windenergie auf See | 963 | 3,7 | 0,015 | 1.060 | 22,5% |
| Biogas (Strom) | 57 | -0,5 | -0,017 | 39 | 0,8% |
| Photovoltaik | 154 | 0,6 | 0,002 | 170 | 3,6% |
| Stromspeicher (einschl. PV ¹⁾) | 29 | 0,1 | 0,000 | 32 | 0,7% |
| Biomasse HW, HKW | 59 | 0,2 | -0,002 | 64 | 1,3% |
| Biogasleitungen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Wasserkraft | 25 | 0,1 | 0,0004 | 27 | 0,6% |
| Wärmenetze | 45 | -0,37 | -0,012 | 32 | 0,7% |
| Solarthermie | 0,3 | 0,000 | 0,000 | 0,3 | 0,01% |
| Geothermie (tief) | 28 | 0,1 | 0,001 | 31 | 0,7% |
| Große Wärmepumpen | 0,2 | 0,0002 | -0,00001 | 0,2 | 0,003% |
| Summe | 4.328 | 15,4 | 0,034 | 4.723 | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Tabelle 28: Vermiedene Treibhausgasemissionen pro Jahr nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| 1.000 t/a | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ -Äquivalente | Anteil CO ₂ -Äquiv. |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Windenergie an Land | 3.076 | 11,8 | 0,048 | 3.386 | 70,6% |
| Windenergie auf See | 949 | 3,6 | 0,01 | 1.045 | 21,8% |
| Biogas (Strom) | 4 | 0,0 | -0,001 | 3 | 0,1% |
| Photovoltaik | 207 | 0,8 | 0,003 | 229 | 4,8% |
| Stromspeicher (einschl. PV ¹⁾) | 22 | 0,1 | 0,0003 | 24 | 0,5% |
| Biomasse HW, HKW | 47 | 0,2 | -0,001 | 51 | 1,1% |
| Biogasleitungen | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0% |
| Wasserkraft | 5 | 0,02 | 0,0 | 6 | 0,1% |
| Wärmenetze | 58 | -0,48 | -0,015 | 41 | 0,9% |
| Solarthermie | 0,2 | 0,0003 | 0,0 | 0,2 | 0,00% |
| Geothermie (tief) | 6 | 0,0 | 0,0 | 7 | 0,1% |
| Große Wärmepumpen | 2,0 | 0,003 | -0,0001 | 2 | 0,04% |
| Summe | 4.377 | 16,1 | 0,048 | 4.793 | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die durch die untersuchten KfW-Programme induzierte Einsparung fossiler Energieträger und die Reduktion der Treibhausgasemissionen längerfristig wirken, denn die Nutzungsdauern der Regenerativanlagen betragen in der Regel mindestens 20 Jahre, insbesondere bei Wasserkraftanlagen auch deutlich länger. Eine Projektion ist jedoch mit vielen Unsicherheiten behaftet, denn der Brennstoffmix und die Wirkungsgrade von fossilen Anlagen werden sich ebenso im Zeitablauf verändern wie die Zusammensetzung, Durchdringung und Betriebsweise der Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien. Die hier gewählte statische Betrachtungsweise dient deshalb primär der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Vernachlässigt man allerdings die zeitliche Dynamik der Bilanzierungsparameter, so wird deutlich, dass die Effekte der KfW-Förderinstrumente beträchtlich sind. Die jährliche THG-Minderungsleistung der in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Anlagen in Höhe von rund 9,5 Mio. t/a kumuliert sich über eine angenommene Nutzungsdauer dieser Anlagen von 20 Jahre auf rund 190 Mio. t CO₂-Äquivalente.

3.3.2 Vermiedene Luftschadstoffemissionen

Durch die Substitution fossiler Brennstoffe werden nicht nur Treibhausgase vermieden, sondern auch Luftschadstoffe. Allerdings verursachen auch Anlagen, deren Betrieb weitgehend emissionsfrei ist (also z.B. Windkraft- und PV-Anlagen), Emissionen durch ihre Herstellung. Die Berücksichtigung von Vorketten (d.h. Emissionen durch die Anlagenherstellung) sowie der Emissionen aus dem Anlagenbetrieb führt für bestimmte Technologien bzw. Schadstoffe zu einer negativen Einsparung, d.h. zu einem Mehrausstoß, der den Erneuerbaren Energien zuzurechnen ist. Dies ist insbesondere dort der Fall, wo biogene Brennstoffe genutzt werden, d.h. im Bereich der Nutzung von Biomasse in Biogasanlagen oder Heiz(kraft)werken (vgl. Tabelle 29 bis Tabelle 32).

Tabelle 29: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| t/a | SO ₂ | NO _x | SO ₂ -Äquivalente ¹⁾ | NM VOC | Feinstaub |
|--|-----------------|-----------------|--|-----------|------------|
| Windenergie an Land | 1.230 | 2.206 | 2.766 | 118 | 76 |
| Windenergie auf See | 407 | 729 | 914 | 40 | 31 |
| Biogas (Strom) | -31 | -121 | -116 | -16 | -2 |
| Photovoltaik | 54 | 108 | 129 | 6 | -2 |
| Stromspeicher (einschl. PV ²⁾) | 10 | 21 | 25 | 1,1 | 0 |
| Biomasse HW, HKW | 34 | -84 | -25 | -82 | 1 |
| Wasserkraft | 10 | 18 | 23 | 1,0 | 0,6 |
| Wärmenetze | -20 | -65 | -65 | -65 | -1 |
| Solarthermie | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,00 |
| Geothermie (tief) | 22 | 33 | 45 | 33,2 | 7,4 |
| Große Wärmepumpen | 0,0 | 0,04 | 0,0 | 0,04 | 0,00 |
| Summe | 1.716 | 2.845 | 3.697 | 35 | 110 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ SO₂-Äquivalente bieten einen Anhaltspunkt für das Versauerungspotenzial durch SO₂ und NO_x. Diese Größe wird im Folgenden nicht weiter verwendet, da sich die Wertansätze in Abschnitt 3.3.3 auf SO₂ und NO_x direkt beziehen.

²⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Tabelle 30: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| t/a | SO ₂ | NO _x | SO ₂ -Äquivalente ¹⁾ | NM VOC | Feinstaub |
|--------------|-----------------|-----------------|--|-----------|------------|
| EE Standard | 1.264 | 2.208 | 2.801 | 106 | 72 |
| EE Speicher | 10 | 21 | 25 | 1 | 0 |
| EE Premium | 35 | -112 | -43 | -112 | 8 |
| Offshore | 407 | 729 | 914 | 40 | 31 |
| Summe | 1.716 | 2.845 | 3.697 | 35 | 110 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ vgl. Tabelle 29.

Tabelle 31: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Technologiebereichen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| t/a | SO ₂ | NO _x | SO ₂ -Äquivalente ¹⁾ | NMVOC | Feinstaub |
|---|-----------------|-----------------|--|-----------|------------|
| Windenergie an Land | 1.275 | 2.286 | 2.866 | 123 | 78 |
| Windenergie auf See | 401 | 718 | 900 | 39 | 31 |
| Biogas (Strom) | -2 | -8 | -8 | -1 | 0 |
| Photovoltaik | 73 | 146 | 175 | 8 | -3 |
| Stromspeicher (einschl. PV ²) | 8 | 16 | 19 | 0,8 | 0 |
| Biomasse HW, HKW | 28 | -68 | -19 | -68 | 1 |
| Biogasleitungen | -0,2 | -0,5 | -1 | -0,6 | 0,0 |
| Wasserkraft | 2 | 4 | 5 | 0,2 | 0,1 |
| Wärmenetze | -25 | -84 | -84 | -84 | -1 |
| Solarthermie | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,00 |
| Geothermie (tief) | 5 | 7 | 9 | 6,9 | 1,6 |
| Große Wärmepumpen | -0,6 | 0,53 | -0,2 | 0,53 | 0,00 |
| Summe | 1.763 | 3.017 | 3.862 | 24 | 107 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

^{1) 2)} vgl. Tabelle 29.

Über alle geförderten Technologien ist festzustellen, dass die in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Anlagen insgesamt zu einer Minderung an SO₂, NO_x, NMVOC sowie Feinstaub beitragen. Im Bereich der Biomasse sowie der mit Wärme aus Biomasseanlagen gespeisten Wärmenetze sind jedoch Mehremissionen bei SO₂, NO_x, NMVOC sowie Feinstaub zu verzeichnen. Den überwiegend positiven Umwelteigenschaften der Nutzung Erneuerbarer Energien, insbesondere der Treibhausgaseinsparung, stehen somit auch Nachteile gegenüber. Die Bewertung der Vor- und Nachteile der mit der Nutzung Erneuerbarer Energien verbundenen Umweltwirkungen im folgenden Kapitel anhand der monetären Bewertung der vermiedenen externen Kosten wird allerdings zeigen, dass die Vorteile deutlich überwiegen.

Tabelle 32: Jährliche Vermeidung von Luftschadstoffen nach Förderprogrammen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| t/a | SO ₂ | NO _x | SO ₂ -Äquivalente ¹⁾ | NMVOC | Feinstaub |
|--------------|-----------------|-----------------|--|-----------|------------|
| EE Standard | 1.349 | 2.427 | 3.038 | 128 | 75 |
| EE Speicher | 8 | 16 | 19 | 1 | 0 |
| EE Premium | 5 | -143 | -94 | -143 | 2 |
| Offshore | 401 | 718 | 900 | 39 | 31 |
| Summe | 1.763 | 3.017 | 3.862 | 24 | 107 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ vgl. Tabelle 29.

3.3.3 Vermiedene externe Kosten

Die vermiedenen Umweltschäden und die damit vermiedenen externen Kosten stellen einen der wesentlichen Aspekte der Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien dar. Zur Bewertung der vermiedenen Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen wird auf etablierte Wertansätze zur Monetarisierung der vermiedenen Schadenskosten zurückgegriffen (vgl. Tabelle 33 bzw. Anhang A.4). Im Rahmen des NEEDS-Projekts (New Energy Externalities Development for Sustainability) im Auftrag der Generaldirektion Forschung und Innovation der Europäischen Kommission wurden die gesamten (d.h. internen und externen) Kosten und Nutzen verschiedener aktueller und zukünftiger Energieversorgungsoptionen ermittelt. Die in NEEDS ermittelten Sätze für externe Kosten durch Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen (vgl. [10]) dienen dem Umweltbundesamt als Grundlage seiner überarbeiteten Empfehlungen zu Best-Practice-Kostensätzen zur Bewertung von Umweltschäden (vgl. [27]). Die dort empfohlenen Wertansätze für Luftschadstoffemissionen und Treibhausgasemissionen werden auch im Rahmen von Arbeiten zur Bewertung der Nutzung Erneuerbarer Energien im Auftrag des Bundesumweltministeriums bzw. des Bundeswirtschaftsministeriums genutzt⁴, so dass die hier ermittelten Werte konsistent zur Berichterstattung der beiden Ministerien sind. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Vorjahren wurden für die Bewertung die in der Evaluierung der Förderjahrgänge 2013/2014 verwendeten Wertansätze übernommen, welche den auf das Preisniveau 2014 umgerechneten Wertansätzen aus [27] entsprechen.

Die Wertansätze in Tabelle 33 basieren auf modellgestützten Berechnungen der durch die Emission von Treibhausgasen oder Luftschadstoffen verursachten Schäden. Die gesamten ermittelten Schadenskosten werden auf die Emission einer Tonne des Schadstoffs bezogen, so dass die in Abschnitt 3.3.1 und 3.3.2 berechneten vermiedenen Emissionen direkt bewertet werden können. Mit anderen Worten: Die Emission einer Tonne CO₂ verursacht weltweit quantifizierbare Schäden in Höhe von rund 84 €, die Emission einer Tonne N₂O (in Folge einer höheren Klimawirksamkeit) von ca. 25.180 €. Diese Werte berücksichtigen eine Zeitpräferenzrate von 1 %. Damit wird eine Präferenz für einen gegenwärtigen Konsum gegenüber einem Konsum in der Zukunft abgebildet. Mit dem zugrunde gelegten equity weighting mit westeuropäischem Pro-Kopf-Einkommen wird berücksichtigt, dass der Grenznutzen der Schadensvermeidung für unterschiedlich hohe Pro-Kopf-Einkommen unterschiedlich bewertet wird.

Die Bewertung der Luftschadstoffe SO₂, NO_x, NMVOC und Feinstaub berücksichtigt quantifizierbare Schäden an menschlicher Gesundheit, Ernteverluste, Materialschäden und Beeinträchtigung der Biodiversität. Negative Schadenskosten entsprechen einem positiven Effekt durch die jeweilige Emission, ausgelöst etwa durch verminderten Dün-

⁴ Zu nennen sind insbesondere: [2], [11], [12] sowie [13].

gerbedarf in der Landwirtschaft. Allerdings zeigt sich, dass solche positiven Auswirkungen deutlich geringer sind als die insgesamt verursachten Schäden.

Tabelle 33: Verwendete Wertansätze zur Ermittlung der vermiedenen Schadenskosten.

| € ₂₀₁₄ /t | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | NMVOC | PM ₁₀ ¹⁾ |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------------------------|
| Klimawandel | 84 | 2.110 | 25.180 | - | - | - | - |
| Gesundheitsschäden | - | - | - | 12.600 | 13.310 | 1.740 | 42.000 |
| Ernteverluste | - | - | - | -150 | 570 | 350 | - |
| Materialschäden | - | - | - | 550 | 120 | - | - |
| Biodiversität | - | - | - | 890 | 2.300 | -310 | - |
| Summe | 84 | 2.110 | 25.180 | 13.890 | 16.300 | 1.780 | 42.000 |

Werte nach [27], umgerechnet auf Preisbasis 2014 und gerundet.

¹⁾ PM₁₀ bezeichnet Feinstaub („particulate matter“) mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser kleiner als 10 µm.

Für die einzelnen von der KfW im Jahr 2015 und 2016 geförderten EE-Technologien ergeben sich die in Tabelle 34 und Tabelle 35 dargestellten vermiedenen externen Kosten nach den einzelnen Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Insgesamt werden durch die von der KfW im Jahr 2015 geförderten EE-Anlagen und die dadurch induzierte Treibhausgas- und Luftschadstoffminderung 474 Mio. € sowie durch die im Jahr 2016 unterstützten Investitionen rund 483 Mio. € Schadenskosten pro Jahr vermieden. Mit 77 % entfällt der Großteil davon auf die vermiedenen CO₂-Emissionen. Etwa 5 bzw. 10 % der vermiedenen externen Kosten sind der Emissionsminderung von SO₂ und NO_x zuzurechnen. Für verschiedene Verwendungszwecke ergibt sich bei einzelnen Schadstoffen ein Mehrausstoß im Vergleich zu den ersetzten konventionellen Anlagen und damit höhere externe Kosten (vgl. negative Werte in Tabelle 34 bis Tabelle 39). Allerdings werden in allen Fällen die zusätzlichen Schadenskosten durch vermiedene CO₂-Kosten übertroffen.

In den beiden Förderjahren 2015 und 2016 entfallen 93 % der vermiedenen externen Kosten auf die geförderten Windenergieanlagen, auf Photovoltaikanlagen entfallen rund 4 % bzw. 5 %. Daran hat die Einsparung von CO₂ den größten Anteil.

Tabelle 34: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Substanzen für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | NM VOC | PM ₁₀ | Summe |
|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------|------------------|--------------|
| Windenergie an Land | 250,8 | 24,1 | 1,2 | 17,1 | 36,0 | 0,2 | 3,2 | 332,5 |
| Windenergie auf See | 81,4 | 7,8 | 0,4 | 5,7 | 11,9 | 0,07 | 1,3 | 108,5 |
| Biogas (Strom) | 4,8 | -1,07 | -0,4 | -0,4 | -2,0 | -0,03 | -0,1 | 0,8 |
| Photovoltaik | 13,0 | 1,3 | 0,1 | 0,8 | 1,8 | 0,01 | -0,09 | 16,8 |
| Stromspeicher (einschl. PV¹⁾) | 2,5 | 0,2 | 0,01 | 0,1 | 0,3 | 0,002 | -0,02 | 3,2 |
| Biomasse HW, HKW | 5,0 | 0,5 | -0,04 | 0,5 | -1,4 | -0,1 | 0,05 | 4,4 |
| Wasserkraft | 2,1 | 0,2 | 0,01 | 0,1 | 0,3 | 0,002 | 0,03 | 2,8 |
| Wärmenetze | 3,8 | -0,8 | -0,3 | -0,3 | -1,1 | -0,1 | -0,04 | 1,2 |
| Solarthermie | 0,02 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,003 | 0,0004 | -0,0002 | 0,03 |
| Geothermie (tief) | 2,4 | 0,2 | 0,02 | 0,3 | 0,5 | 0,06 | 0,3 | 3,9 |
| Große Wärmepumpen | 0,01 | 0,0005 | -0,0002 | -0,001 | 0,001 | 0,0001 | -0,000003 | 0,01 |
| Summe | 365,7 | 32,5 | 0,9 | 23,8 | 46,4 | 0,1 | 4,6 | 474,0 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Tabelle 35: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Substanzen für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | SO ₂ | NO _x | NM VOC | PM ₁₀ | Summe |
|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------|------------------|--------------|
| Windenergie an Land | 259,9 | 25,0 | 1,2 | 17,7 | 37,3 | 0,2 | 3,3 | 344,5 |
| Windenergie auf See | 80,2 | 7,7 | 0,4 | 5,6 | 11,7 | 0,07 | 1,3 | 106,9 |
| Biogas (Strom) | 0,3 | -0,07 | -0,03 | -0,03 | -0,1 | -0,002 | -0,01 | 0,1 |
| Photovoltaik | 17,5 | 1,7 | 0,1 | 1,0 | 2,4 | 0,01 | -0,1 | 22,6 |
| Stromspeicher (einschl. PV¹⁾) | 1,9 | 0,2 | 0,008 | 0,11 | 0,3 | 0,001 | -0,01 | 2,4 |
| Biomasse HW, HKW | 4,0 | 0,4 | -0,03 | 0,4 | -1,1 | -0,1 | 0,05 | 3,5 |
| Biogasleitungen | 0,03 | -0,008 | 0,003 | -0,003 | -0,008 | -0,001 | -0,0004 | 0,01 |
| Wasserkraft | 0,4 | 0,04 | 0,002 | 0,03 | 0,1 | 0,0004 | 0,006 | 0,6 |
| Wärmenetze | 4,9 | -1,0 | -0,38 | -0,4 | -1,4 | -0,15 | -0,05 | 1,6 |
| Solarthermie | 0,02 | 0,001 | 0,0001 | 0,0004 | 0,002 | 0,0002 | -0,0001 | 0,02 |
| Geothermie (tief) | 0,5 | 0,05 | 0,004 | 0,1 | 0,1 | 0,01 | 0,07 | 0,8 |
| Große Wärmepumpen | 0,2 | 0,006 | -0,002 | -0,008 | 0,009 | 0,001 | -0,00004 | 0,18 |
| Summe | 369,8 | 34,0 | 1,2 | 24,5 | 49,2 | 0,04 | 4,5 | 483,2 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Bereits aus Tabelle 34 und Tabelle 35 lässt sich auf Grund der hohen Anteile der Schäden durch CO₂ schließen, dass insgesamt betrachtet die vermiedenen externen Kosten der Schadenskategorie Klimawandel den weitaus größten Anteil an den vermiedenen externen Kosten einnehmen. Tabelle 36 bis Tabelle 39 bestätigen, dass in beiden Förderjahren rund 84 % der quantifizierten vermiedenen Schäden auf Klimawandel entfallen. Die im Jahr 2015 (2016) geförderten Anlagen vermeiden darüber hinaus pro Jahr externe Kosten durch Gesundheitsschäden in Höhe von 64 (67) Mio. €.

Tabelle 36: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | Klimawandel | Gesundheitsschäden | Ernteverluste | Materialschäden | Biodiversität | Summe |
|---|--------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|
| Windenergie an Land | 276,0 | 48,3 | 1,1 | 0,9 | 6,1 | 332,5 |
| Windenergie auf See | 89,6 | 16,2 | 0,4 | 0,3 | 2,0 | 108,5 |
| Biogas (Strom) | 3,3 | -2,1 | -0,1 | -0,03 | -0,3 | 0,8 |
| Photovoltaik | 14,3 | 2,0 | 0,1 | 0,04 | 0,3 | 16,8 |
| Stromspeicher (einschl. PV¹⁾) | 2,7 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,1 | 3,2 |
| Biomasse HW, HKW | 5,4 | -0,8 | -0,1 | 0,009 | -0,1 | 4,4 |
| Wasserkraft | 2,3 | 0,4 | 0,01 | 0,008 | 0,05 | 2,8 |
| Wärmenetze | 2,7 | -1,3 | -0,06 | -0,02 | -0,1 | 1,2 |
| Solarthermie | 0,02 | 0,004 | 0,0002 | 0,00005 | 0,0005 | 0,03 |
| Geothermie (tief) | 2,6 | 1,1 | 0,03 | 0,02 | 0,09 | 3,9 |
| Große Wärmepumpen | 0,01 | 0,00002 | 0,00005 | -0,00002 | 0,00004 | 0,01 |
| Summe | 399,1 | 64,2 | 1,4 | 1,3 | 8,1 | 474,0 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Tabelle 37: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Förderprogrammen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2015 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | Klimawandel | Gesundheitsschäden | Ernteverluste | Materialschäden | Biodiversität | Summe | Anteil |
|--------------------------|--------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| EE Standard | 296,2 | 48,5 | 1,1 | 1,0 | 6,2 | 353,0 | 74,5% |
| EE Speicher | 2,7 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,1 | 3,2 | 0,7% |
| EE Premium | 10,5 | -0,9 | -0,1 | 0,01 | -0,2 | 9,3 | 2,0% |
| Offshore | 89,6 | 16,2 | 0,4 | 0,3 | 2,0 | 108,5 | 22,9% |
| Summe | 399,1 | 64,2 | 1,4 | 1,3 | 8,1 | 474,0 | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 38: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Technologiebereichen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | Klimawandel | Gesundheitsschäden | Ernteverluste | Materialschäden | Biodiversität | Summe |
|---|--------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|
| Windenergie an Land | 286,0 | 50,0 | 1,2 | 1,0 | 6,4 | 344,5 |
| Windenergie auf See | 88,3 | 16,0 | 0,4 | 0,3 | 2,0 | 106,9 |
| Biogas (Strom) | 0,2 | -0,1 | -0,005 | -0,002 | -0,02 | 0,1 |
| Photovoltaik | 19,3 | 2,8 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 22,6 |
| Stromspeicher (einschl. PV¹⁾) | 2,1 | 0,3 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 2,4 |
| Biomasse HW, HKW | 4,3 | -0,6 | -0,1 | 0,007 | -0,1 | 3,5 |
| Biogasleitungen | 0,02 | -0,01 | -0,0005 | -0,0002 | -0,001 | 0,01 |
| Wasserkraft | 0,5 | 0,1 | 0,002 | 0,002 | 0,01 | 0,6 |
| Wärmenetze | 3,5 | -1,6 | -0,07 | -0,02 | -0,2 | 1,6 |
| Solarthermie | 0,02 | 0,002 | 0,0001 | 0,00003 | 0,0003 | 0,02 |
| Geothermie (tief) | 0,6 | 0,2 | 0,01 | 0,003 | 0,02 | 0,8 |
| Große Wärmepumpen | 0,17 | 0,0003 | 0,0006 | -0,0003 | 0,0005 | 0,18 |
| Summe | 405,0 | 66,9 | 1,5 | 1,3 | 8,5 | 483,2 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

¹⁾ Geförderte PV-Neuanlagen im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Speicher“.

Tabelle 39: Jährlich vermiedene externe Kosten nach Förderprogrammen und Schadenskategorien für den Förderjahrgang 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland).

| Mio. € _{2014/a} | Klimawandel | Gesundheitsschäden | Ernteverluste | Materialschäden | Biodiversität | Summe | Anteil |
|--------------------------|--------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| EE Standard | 306,2 | 52,7 | 1,2 | 1,0 | 6,7 | 367,9 | 76,1% |
| EE Speicher | 2,1 | 0,3 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 2,4 | 0,5% |
| EE Premium | 8,5 | -2,0 | -0,1 | -0,01 | -0,3 | 6,0 | 1,2% |
| Offshore | 88,3 | 16,0 | 0,4 | 0,3 | 2,0 | 106,9 | 22,1% |
| Summe | 405,0 | 66,9 | 1,5 | 1,3 | 8,5 | 483,2 | 100,0% |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

3.3.4 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016

Abbildung 4 stellt die jährlichen CO₂- und Treibhausgaseinsparungen, Abbildung 5 die jährlichen vermiedenen externen Kosten der Förderjahrgänge 2015 und 2016 gegenüber. Da in den beiden Förderjahrgängen weitgehend ähnlich hohe Volumina von Windenergieanlagen an Land und auf See gefördert wurden, liegen die vermiedenen CO₂- bzw. Treibhausgaseinsparungen auf nahezu demselben Niveau. Erkennbar ist weiterhin der höhere Beitrag der Photovoltaik im Förderjahrgang 2016.

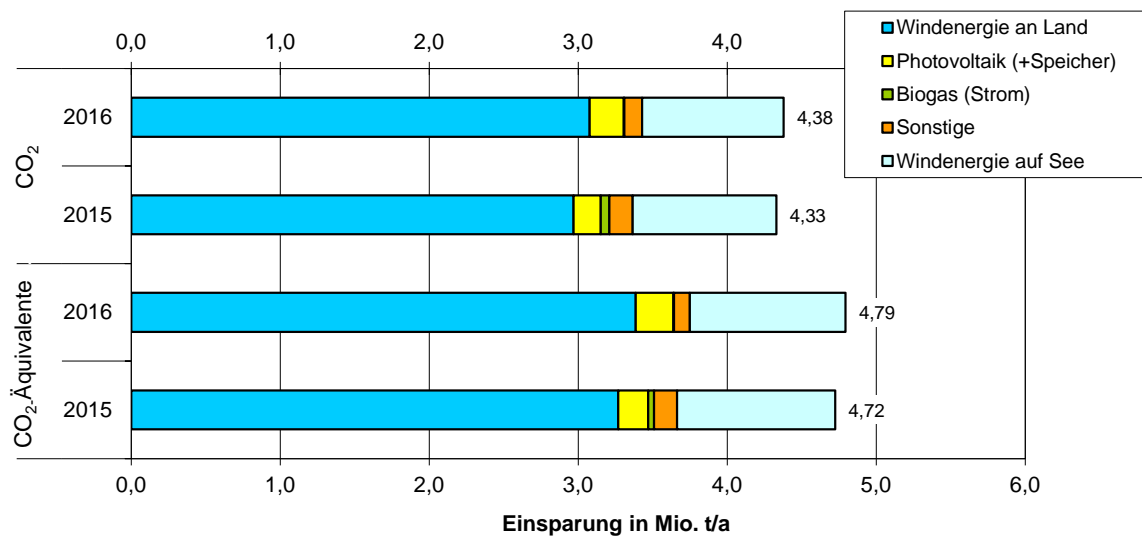


Abbildung 4: Vergleich der CO₂- und Treibhausgaseinsparung der Förderjahrgänge 2015 und 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)

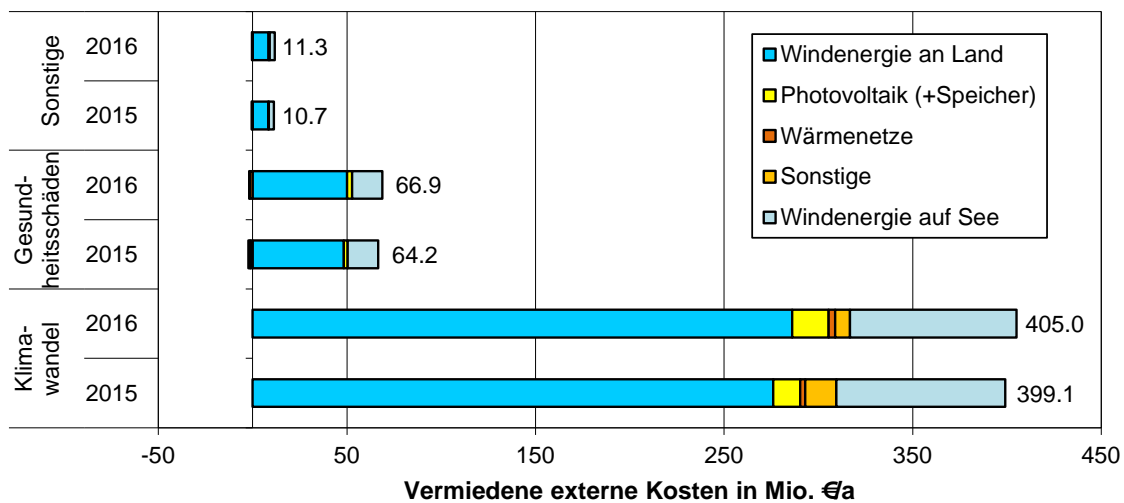


Abbildung 5: Vergleich der jährlich vermiedenen externen Kosten der Förderjahrgänge 2015 und 2016 (ohne geförderte Anlagen im Ausland)

3.4 Bruttobeschäftigungseffekte in Deutschland

Beschäftigungswirkungen ergeben sich aus den Investitionen in und dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien. Darüber hinaus ist zwischen direkten Effekten bei Anlagenherstellern, -errichtern, -betreibern sowie Wartungsfirmen auf der einen Seite und den indirekten Effekten aus Vorleistungen wie Lieferungen von Vorprodukten auf der anderen Seite zu unterscheiden.

Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien sind das Ergebnis von Entscheidungen privatwirtschaftlicher Akteure. Einen wichtigen Einflussfaktor stellen dabei unterschiedliche Fördermaßnahmen des Staates (insbes. das EEG) oder von Förderträgern dar, welche die erwartete Rentabilität und damit das privatwirtschaftliche Investitionskalkül beeinflussen. In diesem Sinne wird hier von „durch Fördermaßnahmen ausgelöster Bruttobeschäftigung“ gesprochen, wenn die zugrunde liegenden Investitionen durch Fördermaßnahmen der KfW mitfinanziert wurden.

Die Schätzung der durch die Fördermaßnahmen der KfW im Bereich der Erneuerbaren Energien ausgelösten Bruttobeschäftigung basiert auf einem nachfrageorientierten Ansatz, der als Ausgangspunkt die durch die unterschiedlichen Förderprogramme mit ausgelöste Nachfrage nach Gütern hat. Als wesentliche Komponenten der in die Untersuchung einbezogenen Nachfrage werden die Investitionen in neu installierte Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien sowie die damit über die gesamte unterstellte Lebensdauer der Anlagen verbundenen laufenden Aufwendungen zum Betrieb und zur Wartung berücksichtigt.

Die modellgestützte Berechnung der Bruttobeschäftigung basiert methodisch auf der Input-Output-Analyse. Mit diesem Schätzansatz werden nicht nur die (direkten) Beschäftigten ermittelt, die in den Unternehmen arbeiten, die selbst die nachgefragten Güter wie Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien produzieren, sondern es werden auch die Beschäftigten erfasst, die in jenen Unternehmen arbeiten, die Vorprodukte zur Herstellung der gefertigten Anlagen bereitstellen. Es werden mit dieser Methode also auch jene Beschäftigungsanteile abgeschätzt, die indirekt in den Vorleistungen zur Erstellung von nachgefragten Anlagen enthalten sind. Falls beispielsweise ein Mitarbeiter in einem Stahlwerk Stahl produziert, welcher später beim Bau einer Windkraftanlage Verwendung findet, wird genau der entsprechende Anteil des Arbeitsvolumens des Mitarbeiters modellmäßig der hier betrachteten Beschäftigung zugerechnet, obwohl dem Mitarbeiter selbst der Zusammenhang seiner Tätigkeit mit Erneuerbaren Energien unbekannt ist.

Vorgehensweise und Rahmendaten sind, wie auch in den Vorjahren, konsistent mit den im Rahmen von Arbeiten für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (vgl. z.B. [14] und [15]) verwendeten. Mehr Informationen zum Analyserahmen finden sich in Anhang A.7.

3.4.1 Eingangsdaten

Hinsichtlich der Beschäftigungswirkung ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob die geförderten Investitionen vollumfänglich im Förderjahr zu Beschäftigung führen oder ob sie über mehrere Jahre verteilt beschäftigungswirksam werden. Bei der Mehrzahl der betrachteten Investitionen kann die Wirksamkeit im Förderjahr unterstellt werden. Einzige Ausnahme bei den bisher durchgeführten Evaluierungen sind Offshore-Windenergieprojekte, deren Umsetzung sich auf Grund ihres großen Umfangs über mehrere Jahre hinziehen. So erfolgt der größte Teil der Investitionen bei den in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Offshore-Windkraftanlagen nicht im Jahr der Förderzusage, sondern erst in den Folgejahren, so dass auch erst in diesen Jahren nennenswerte Beschäftigungswirkungen ausgelöst werden. Um dennoch eine Abschätzung der Beschäftigungseffekte dieser Investitionen durchführen zu können, werden vereinfachend die Parameter (Arbeitsproduktivitäten, Importanteile etc.) des Jahres 2015 bzw. 2016 verwendet und die so ermittelten Beschäftigungseffekte nur nachrichtlich ausgewiesen. Die übrigen in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Investitionen können als im jeweiligen Berichtsjahr beschäftigungswirksam angenommen werden. Die Beschäftigung durch den Betrieb der geförderten Anlagen wurde in allen Technologiebereichen für die auf die Errichtung folgenden 20 Jahre abgeschätzt.

Ausgehend von in den Jahren 2015 und 2016 wirksamen geförderten Investitionsvolumina aus den KfW-Förderprogrammen von 4,2 Mrd. € bzw. 4,6 Mrd. € ergeben sich unter Berücksichtigung der für die einzelnen Bereiche der Erneuerbaren Energien ermittelten Importquoten⁵ für neue Anlagen und Anlagenkomponenten im Inland wirksame geförderte Investitionsnachfragen von 4,1 Mrd. € 2015 und 4,4 Mrd. € 2016 (vgl. Tabelle 40).

Der durchschnittliche jährliche fiktive Aufwand für den Betrieb der in Deutschland in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Anlagen wird auf Basis der Referenzanlagen (vgl. Anhang A.5) bei einer unterstellten Lebensdauer von 20 Jahren auf insgesamt 164 Mio. € bzw. 166 Mio. € jährlich geschätzt. Hierfür wurden die jährlichen Betriebskosten der einzelnen Technologien (unter Berücksichtigung der über den Zeitraum 2015 bis 2034 bzw. 2016 bis 2035 angenommenen Preissteigerungen) auf Basis der installierten elektrischen bzw. thermischen Leistung auf die in den Jahren 2015 und 2016 von der KfW unterstützten, neu gebauten Anlagen hochgerechnet.

Auf Basis methodischer Weiterentwicklungen konnten für die Förderjahre 2015 und 2016 erstmals Beschäftigungseffekte aus Investitionen in Wärmenetze, Wärmespeicher und kleine Batteriespeicher abgeschätzt werden. Diese Schätzungen sind allerdings weniger belastbar als die bereits seit Jahren etablierten Berechnungen und werden deshalb eben-

⁵ Zur Vorgehensweise der Ermittlung der Importquoten vgl. [15], insbesondere Kapitel 2. Auf Grund fehlender Informationen wurden die Importrelationen aus 2015 auch für das Jahr 2016 verwendet, weshalb die in der Tabelle genannten Quoten für beide Jahre übereinstimmen.

falls nur nachrichtlich ausgewiesen. Für eine Abschätzung der Beschäftigungseffekte aus dem Betrieb der genannten Anlagen fehlen noch die Grundlagen.

Tabelle 40: Aus KfW-geförderten Anlagen resultierende im Inland wirksame Nachfrage durch Investitionen.

| Mio. € exkl. MwSt. | KfW-geförderte Anlagen: Investitionen insgesamt | | davon im Inland wirksame Nachfrage | | | |
|---|--|----------------|------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | FJ 2015 | FJ 2016 | FJ 2015 | | FJ 2016 | |
| Windenergie an Land | 3.728,2 | 4.081,5 | 3.682,6 | (98,8 %) | 4.031,6 | (98,8 %) |
| Photovoltaik | 406,7 | 489,0 | 276,5 | (68,0 %) | 332,5 | (68,0 %) |
| Solarthermie | 5,1 | 2,6 | 4,2 | (81,9 %) | 2,1 | (81,9 %) |
| Wasserkraft | 19,8 | 8,2 | 19,8 | (100,0 %) | 8,2 | (100,0 %) |
| Feste Biomasse | 53,1 | 40,1 | 34,2 | (64,5 %) | 25,8 | (64,5 %) |
| Biogas¹⁾ | 18,7 | 2,0 | 17,3 | (92,5 %) | 1,8 | (92,5 %) |
| Geothermie (tief) | 18,1 | 1,0 | 18,1 | (100,0 %) | 1,0 | (100,0 %) |
| Große Wärmepumpen | 0,2 | 2,3 | 0,2 | (79,9 %) | 1,8 | (79,9 %) |
| Summe | 4.249,8 | 4.626,5 | 4.052,8 | (95,4 %) | 4.404,8 | (95,2 %) |
| Nachrichtlich: | | | | | | |
| Windenergie auf See²⁾ | 1.648,0 | 1.630,0 | 1.648,0 | (100,0 %) | 1.630,0 | (100,0 %) |
| Wärmenetze | 111,1 | 118,4 | 108,2 | (97,4 %) | 115,3 | (97,4 %) |
| Wärmespeicher | 6,5 | 5,4 | 6,5 | (100,0 %) | 5,4 | (100,0 %) |
| Kleine Batteriespeicher³⁾ | 93,3 | 66,7 | 55,5 | (59,5 %) | 39,7 | (59,5 %) |

¹⁾ Stromerzeugung mit Biogas. Biogasleitungen werden hier aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt.

²⁾ Der überwiegende Teil der Investitionen wird erst in den Folgejahren beschäftigungswirksam.

³⁾ Im Förderjahr 2016 wurden zusätzlich Investitionen in große Batteriespeicher gefördert, die hier aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt werden.

3.4.2 Ergebnisse

Durch die in den Jahren 2015 und 2016 geförderten und beschäftigungswirksamen Investitionen konnten rund 42.700 bzw. 45.800 Arbeitsplätze (Personenjahre) in Deutschland für ein Jahr gesichert bzw. neu geschaffen werden (vgl. Tabelle 41 und Tabelle 42). Davon fielen 2015 und 2016 17.040 (39,9 %) bzw. 18.340 (40,0 %) direkt in den Branchen an, die Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien produzieren (sog. direkte Effekte), und 25.660 (60,1 %) bzw. 27.470 (60,0 %) in den zuliefernden vorgelagerten Branchen der Volkswirtschaft (sog. indirekte Effekte). Abschätzungen der investitionsbedingten Beschäftigungseffekte der Erneuerbaren Energien in Deutschland belaufen sich für das Jahr 2015 auf 182.800 (vgl. [14])⁶⁾. Allerdings beinhalten diese Werte auch den Export von Anlagen, Komponenten und Dienstleistungen, weshalb die Zahlen nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

⁶⁾ Für das Jahr 2016 waren zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch keine Daten veröffentlicht.

Tabelle 41: Durch im Jahr 2015 KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland.

| Personenjahre (gerundet) | Investitionen | | Betrieb (20 Jahre) | | Summe ²⁾ | |
|---|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|---------------|
| | Direkt | Indirekt | Direkt | Indirekt | | |
| Windenergie an Land | 15.320 | 22.490 | 10.940 | 13.410 | 62.170 | 89,0% |
| Photovoltaik | 1.210 | 2.630 | 480 | 990 | 5.310 | 7,6% |
| Solarthermie | 20 | 30 | 10 | 10 | 60 | 0,1% |
| Wasserkraft | 80 | 110 | 60 | 90 | 330 | 0,5% |
| Feste Biomasse | 210 | 170 | 290 | 410 | 1.080 | 1,5% |
| Biogas¹⁾ | 80 | 110 | 140 | 180 | 510 | 0,7% |
| Geothermie (tief) | 110 | 120 | 60 | 100 | 390 | 0,6% |
| Große Wärmepumpe | 1 | 1 | 1 | 4 | 8 | 0,0% |
| Summe²⁾ | 17.040 | 25.660 | 11.970 | 15.190 | 69.860 | 100,0% |
| | 24,4% | 36,7% | 17,1% | 21,7% | 100,0% | |
| Nachrichtlich: | | | | | | |
| Windenergie auf See³⁾ | 5.960 | 10.890 | 3.760 | 4.280 | 24.890 | |
| Wärmenetze | 820 | 690 | - | - | 1.510 | |
| Wärmespeicher | 50 | 40 | - | - | 90 | |
| Kleine Batteriespeicher | 410 | 300 | - | - | 710 | |

¹⁾ Stromerzeugung mit Biogas.

²⁾ Abweichungen durch Rundung möglich.

³⁾ Der überwiegende Teil der Investitionen wird erst in den Folgejahren beschäftigungswirksam.

Im Jahr 2015 wurden rund 37.800 Personen durch den Bau KfW-geförderter Onshore-Windkraftanlagen beschäftigt (entspricht 89 % der gesamten durch die Investitionen ausgelöste Beschäftigung), ca. 3.800 durch Photovoltaikanlagen. Die übrigen Technologien spielten hinsichtlich der Beschäftigungswirkung nur eine untergeordnete Rolle. Produktion und Bau der geförderten Offshore-Windkraftanlagen weisen einen zusätzlichen Beschäftigungseffekt (für die Dauer eines Jahres) in Höhe von rund 16.850 Personen auf, der sich allerdings rechnerisch überwiegend auf die Folgejahre, in denen die Anlagen errichtet werden, verteilt.

Im Jahr 2016 stieg die Beschäftigung durch Onshore-Windenergieanlagen auf 40.880 Personen bei einem gleichbleibenden Anteil von 89 % der gesamten durch den Bau KfW-geförderter Projekte geschaffenen Beschäftigung, da auch die Photovoltaikanlagen mit knapp 4.500 Personen zulegten. Anlagen zur Nutzung von Offshore-Windkraft trugen zusätzliche 16.430 Personen bei.

Tabelle 42: Durch im Jahr 2016 KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland.

| Personenjahre (gerundet) | Investitionen | | Betrieb (20 Jahre) | | Summe ²⁾ | |
|---|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|---------------|
| | Direkt | Indirekt | Direkt | Indirekt | | |
| Windenergie an Land | 16.730 | 24.150 | 11.240 | 13.630 | 65.750 | 89,8% |
| Photovoltaik | 1.390 | 3.100 | 640 | 1.160 | 6.290 | 8,6% |
| Solarthermie | 10 | 20 | 3 | 3 | 30 | 0,0% |
| Wasserkraft | 30 | 40 | 20 | 40 | 130 | 0,2% |
| Feste Biomasse | 160 | 130 | 200 | 290 | 780 | 1,1% |
| Biogas¹⁾ | 10 | 10 | 30 | 40 | 90 | 0,1% |
| Geothermie (tief) | 10 | 10 | 30 | 50 | 90 | 0,1% |
| Große Wärmepumpe | 10 | 10 | 20 | 50 | 90 | 0,1% |
| Summe²⁾ | 18.340 | 27.470 | 12.190 | 15.260 | 73.250 | 100,0% |
| | 25,0% | 37,5% | 16,6% | 20,8% | 100,0% | |
| Nachrichtlich: | | | | | | |
| Windenergie auf See³⁾ | 5.870 | 10.560 | 3.650 | 4.130 | 24.220 | |
| Wärmenetze | 860 | 720 | - | - | 1.580 | |
| Wärmespeicher | 40 | 30 | - | - | 80 | |
| Kleine Batteriespeicher | 280 | 210 | - | - | 490 | |

¹⁾ Stromerzeugung mit Biogas.

²⁾ Abweichungen durch Rundung möglich.

³⁾ Der überwiegende Teil der Investitionen wird erst in den Folgejahren beschäftigungswirksam.

Die geschätzten Beschäftigungseffekte durch geförderte Wärmenetze, Wärmespeicher und kleine Batteriespeicher illustrieren den Beitrag dieser Verwendungszwecke zu den von der gesamten Förderung ausgelösten Beschäftigungseffekten. In beiden Berichtsjahren belegen bei Betrachtung der Investitionseffekte die Wärmenetze und die Batterie-

speicher den vierten und fünften Rang mit deutlichem Abstand zu den übrigen geförderten Anlagenarten.

Die Abschätzungen zu den Beschäftigungswirkungen, die durch den Betrieb der geförderten Anlagen ausgelöst werden, haben stärker den Charakter von Modellrechnungen. Es wird eine Lebensdauer der geförderten Anlagen von 20 Jahren und eine über diesen Zeitraum gleiche zeitliche Verteilung der Betriebskosten unterstellt. Bei zu treffenden Annahmen über die Entwicklung der Arbeitsproduktivität in diesem Zeitraum und der Annahme einer sich nicht ändernden Verflechtungsstruktur der Wirtschaftssektoren ergibt sich dann über den gesamten Zeitraum ein induziertes Beschäftigungsvolumen von 27.160 Personenjahren für die im Jahr 2015 geförderten Anlagen und 27.450 Personenjahren für die im Jahr 2016 unterstützten Anlagen. Dies entspricht rund 1.360 bzw. 1.370 Personen jährlich. Wie Tabelle 41 und Tabelle 42 zeigen, entfällt der größte Teil der betriebsbedingten Beschäftigung 2015 und 2016 mit 1.220 bzw. 1.240 Personen pro Jahr (oder 24.350 bzw. 24.870 Personenjahren über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren) auf Onshore-Windkraftanlagen. Photovoltaik liegt 2015 mit ca. 73 Personen pro Jahr (1.470 Personenjahren über 20 Jahre) mit deutlichem Abstand auf dem zweiten Platz und legt im Jahr 2016 auf 90 Personen pro Jahr (1.800 Personenjahre über 20 Jahre) zu. Nach Inbetriebnahme der in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Offshore-Windkraftanlagen wird deren Betrieb über 20 Jahre jeweils 402 bzw. 389 Personen beschäftigen, was in Summe 8.040 bzw. 7.780 Personenjahren entspricht.

Tabelle 43: Durch KfW-geförderte Investitionen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland nach Förderprogrammen.

| Personenjahre (gerundet) | FJ 2015 | | | FJ 2016 | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| | Investition | Betrieb | Summe | Investition | Betrieb | Summe |
| EE Standard | 41.170 | 25.990 | 67.160 | 44.810 | 26.540 | 71.340 |
| EE Speicher | 870 ¹⁾ | 330 | 1.210 | 660 ¹⁾ | 260 | 920 |
| EE Premium | 650 ²⁾ | 840 | 1.490 | 340 ²⁾ | 650 | 990 |
| Summe³⁾ | 42.690 | 27.160 | 69.860 | 45.810 | 27.450 | 73.250 |
| Nachrichtlich: Offshore | 16.850 | 8.040 | 24.890 | 16.440 | 7.780 | 24.220 |

¹⁾ zzgl. kleine Batteriespeicher: 710 (2015), 490 (2016).

²⁾ zzgl. Wärmenetze und Wärmespeicher: 1.600 (2015), 1.660 (2016).

³⁾ Abweichungen durch Rundung möglich. Zuzüglich Batteriespeicher, Wärmenetze und Wärmespeicher.

Eine Abschätzung der mit dem Brennstoffeinsatz verbundenen Beschäftigungswirkungen über die gesamte Nutzungsdauer der Anlagen (20 Jahre) ist derzeit nicht möglich. So fehlen beispielsweise belastbare Daten zur typischen Substratzusammensetzung von Biogasanlagen. Darüber hinaus sind sowohl Preisentwicklung als auch zukünftige regionale Herkunft (Inland, Ausland) der Brennstoffe nur sehr schwer absehbar.

Tabelle 43 zeigt die Aufteilung der in Deutschland ausgelösten Beschäftigung auf die verschiedenen Förderprogramme.

Fasst man das durch die Förderung in den Jahren 2015 und 2016 wirksame induzierte Nachfragevolumen (Investitionen und Betrieb) zusammen, ergibt sich über einen Zeitraum von 20 Jahren ein Beschäftigungsvolumen von rund 70.000 bzw. 73.000 Personenjahren (ohne Windenergie auf See, Wärmenetze, Wärmespeicher, Batteriespeicher). Hiervon fallen 2015 rund 61 %, 2016 rund 63 % als Investitionseffekt im selben Jahr an, der Rest als Betriebseffekt verteilt über 20 Jahre mit jährlichen Volumina von rund 1.360 bzw. 1.370 Personenjahren.

Nach Definition des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM) ist ein Unternehmen ein kleines oder mittleres Unternehmen (KMU) wenn es weniger als 500 Beschäftigte hat und der jährliche Umsatz unter 50 Millionen € liegt (vgl. [16]). Zur Ermittlung des Anteils der auf KMU entfallenden Arbeitsplätze wurde anhand aktueller Daten des IfM (vgl. [17]) für jeden Wirtschaftssektor der KMU-Anteil an den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten ermittelt. Mit Hilfe dieser relativen Anteile lässt sich die Zahl der indirekt Beschäftigten in KMU aus den mit der Input-Output-Tabelle berechneten (indirekten) Beschäftigten in den „traditionellen“ Wirtschaftssektoren (z. B. Baugewerbe) berechnen. Schwierig gestaltet sich dagegen die Abschätzung der direkt Beschäftigten in KMU, da für die „neuen“ Sektoren keine Daten zur Beschäftigung nach Unternehmensgröße vorliegen. Für die verschiedenen EE-Sparten lässt sich der Mittelstandsanteil deshalb nur grob abschätzen; hierfür wurde der relative Anteil für den Sektor „Verarbeitendes Gewerbe“ angenommen.

Von den in den Jahren 2015 und 2016 insgesamt 69.860 bzw. 73.250 für die Dauer eines Jahres gesicherten bzw. neu geschaffenen Arbeitsplätzen entfallen 52,5 % bzw. 52,4 % auf kleine und mittlere Unternehmen.

3.4.3 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016

Die Entwicklung der ermittelten Beschäftigungswirkungen spiegelt die Tendenzen im Fördergeschehen wider: Sowohl 2015 als auch 2016 dominieren Onshore-Windkraftanlagen die Beschäftigungseffekte, sowohl bei den Investitions- als auch bei den Betriebseffekten.

Abbildung 6 und Abbildung 7 verdeutlichen, dass neben den Windkraftanlagen die Photovoltaikanlagen bei den Beschäftigungseffekten eine hervorgehobene Rolle spielen und ebenso wie diese im Vergleich der beiden Jahre zulegen. Bei den durch Investitionen ausgelösten Effekten bewegen sich die übrigen Verwendungszwecke alle auf vergleichbar niedrigem Niveau. Bei den ausgelösten Betriebseffekten heben sich feste Biomasse, Biogas sowie Geothermie auf Grund der höheren Betriebsaufwendungen leicht von den verbleibenden Anlagen ab.

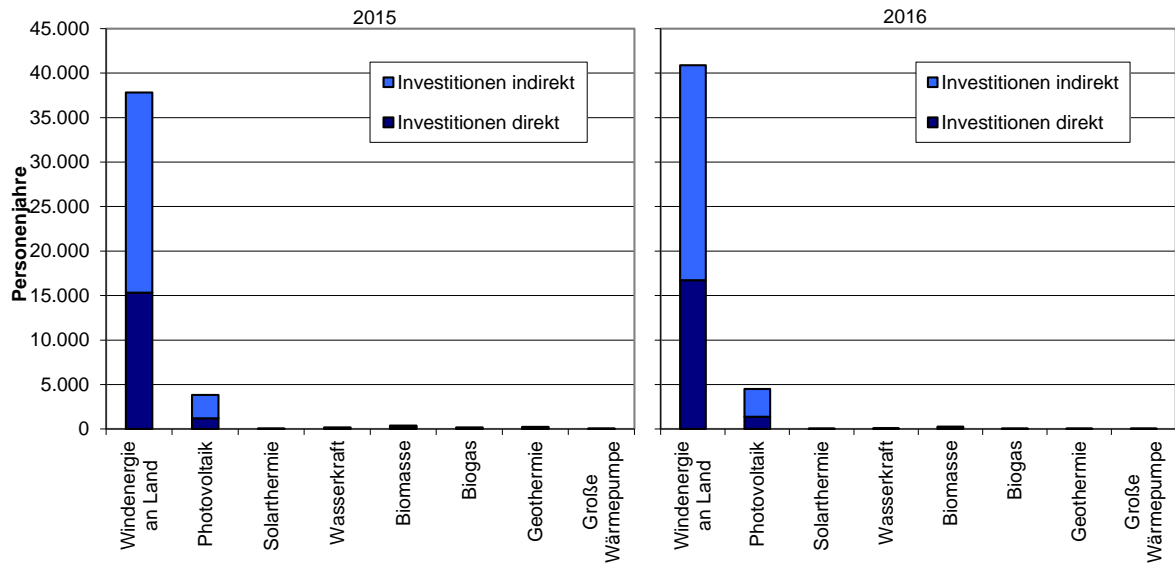


Abbildung 6: Durch die 2015 und 2016 getätigten Investitionen in KfW-geförderte Anlagen ausgelöste Beschäftigung in Deutschland.

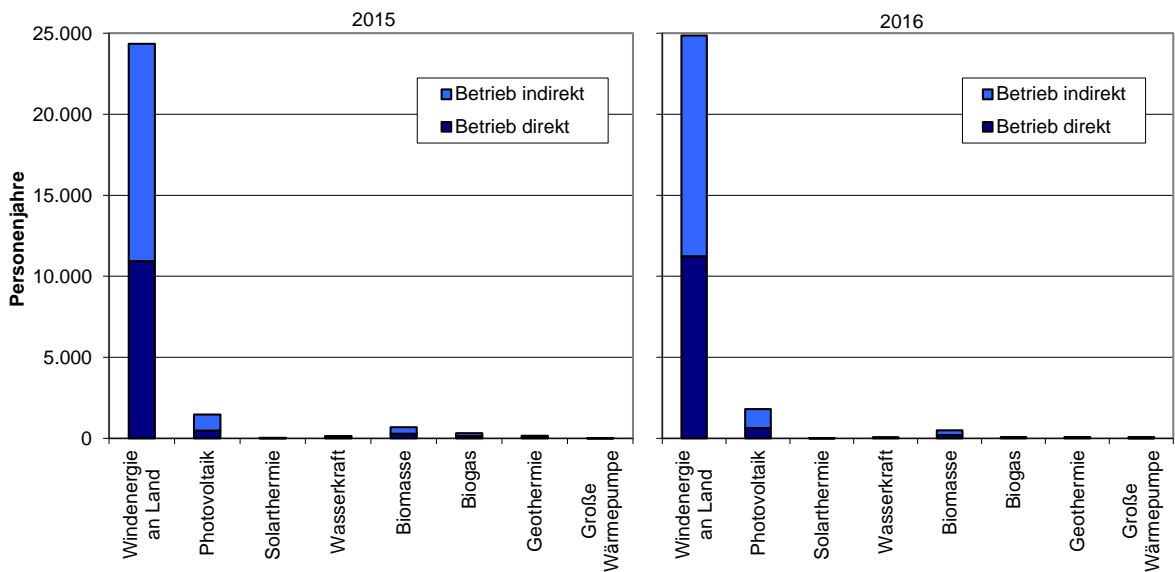


Abbildung 7: Durch den Betrieb von im Jahr 2015 und 2016 KfW-geförderten Anlagen in Deutschland ausgelöste Beschäftigung über einen Zeitraum von 20 Jahren.

4 Wirkungen durch geförderte Anlagen im Ausland

4.1 Investitionsvolumen und geförderte Leistung

4.1.1 Ausgelöstes Investitionsvolumen und geförderte Leistung

Im Rahmen des Programms „EE Standard“ werden auch Anlagen im Ausland gefördert. Im Jahr 2015 wurden in diesem Rahmen 93 Darlehen mit einem Darlehensvolumen von 1.088 Mio. € gewährt und ein Investitionsvolumen von 1.336 Mio. € mitfinanziert. Im Jahr 2016 wurden 81 Darlehen für Vorhaben im Ausland bereitgestellt. Das Darlehensvolumen betrug hier 826 Mio. €, womit Investition in Höhe von insgesamt 1.112 Mio. € mitfinanziert wurden. Tabelle 44 und Tabelle 45 zeigen für die jeweiligen Förderjahre das geförderte Investitionsvolumen sowie die geförderte elektrische Leistung nach Verwendungszweck und Land.

Tabelle 44: Im Jahr 2015 durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ im Ausland gefördertes Investitionsvolumen und elektrische Leistung nach Verwendungszweck und Land.

| Förderjahr 2015 (exkl. MwSt) | Photovoltaik | | Wasserkraft | | Windenergie an Land | | Summe | |
|----------------------------------|--------------|------------------|-------------|------------------|---------------------|------------------|----------------|------------------|
| | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} |
| Dänemark | 136,9 | 141,8 | - | - | - | - | 136,9 | 141,8 |
| Finnland | - | - | - | - | 216,2 | 135,0 | 216,2 | 135,0 |
| Frankreich | 61,9 | 64,0 | - | - | 637,3 | 462,9 | 699,2 | 526,9 |
| Großbritannien | 97,2 | 59,8 | - | - | 20,9 | 14,1 | 118,0 | 73,9 |
| Irland | - | - | - | - | 14,9 | 9,2 | 14,9 | 9,2 |
| Italien | - | - | - | - | 112,8 | 88,5 | 112,8 | 88,5 |
| Kanada | - | - | - | - | 12,3 | 4,1 | 12,3 | 4,1 |
| Österreich | 0,2 | 0,2 | 1,8 | 0,3 | 23,7 | 16,3 | 25,7 | 16,7 |
| Summe | 296,2 | 265,7 | 1,8 | 0,3 | 1.038,0 | 730,1 | 1.336,0 | 996,0 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Tabelle 45: Im Jahr 2016 durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ im Ausland gefördertes Investitionsvolumen und elektrische Leistung nach Verwendungszweck und Land.

| Förderjahr 2016 (exkl. MwSt) | Photovoltaik | | Wasserkraft | | Windenergie an Land | | Summe | |
|----------------------------------|--------------|------------------|-------------|------------------|---------------------|------------------|----------------|------------------|
| | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} | Mio. € | MW _{el} |
| Dänemark | 49,4 | 62,9 | - | - | - | - | 49,4 | 62,9 |
| Finnland | - | - | - | - | 62,7 | 20,4 | 62,7 | 20,4 |
| Frankreich | 14,5 | 12,3 | - | - | 457,6 | 321,7 | 472,2 | 334,0 |
| Großbritannien | 36,7 | 24,4 | - | - | - | - | 36,7 | 24,4 |
| Irland | - | - | - | - | 16,2 | 9,2 | 16,2 | 9,2 |
| Italien | - | - | - | - | 33,0 | 20,0 | 33,0 | 20,0 |
| Japan | 28,8 | 10,3 | - | - | - | - | 28,8 | 10,3 |
| Kanada | - | - | - | - | 29,1 | 10,3 | 29,1 | 10,3 |
| Kroatien | - | - | - | - | 39,7 | 34,2 | 39,7 | 34,2 |
| Niederlande | 33,3 | 30,8 | - | - | - | - | 33,3 | 30,8 |
| Österreich | - | - | 0,5 | 0,08 | 27,3 | 18,3 | 27,8 | 18,4 |
| Schweden | - | - | - | - | 283,5 | 212,4 | 283,5 | 212,4 |
| Summe | 162,7 | 140,7 | 0,5 | 0,08 | 949,0 | 646,4 | 1.112,2 | 787,2 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

4.1.2 Vergleich der Förderjahrgänge 2015 und 2016

Abbildung 8 illustriert, dass im Jahresvergleich die KfW-geförderten Auslandsinvestitionen in allen drei Sparten gesunken sind. Während bei den Windkraftanlagen an Land nur ein leichter Rückgang zu verzeichnen war, sanken die Investitionen im Photovoltaikbereich und bei Wasserkraftanlagen deutlich.

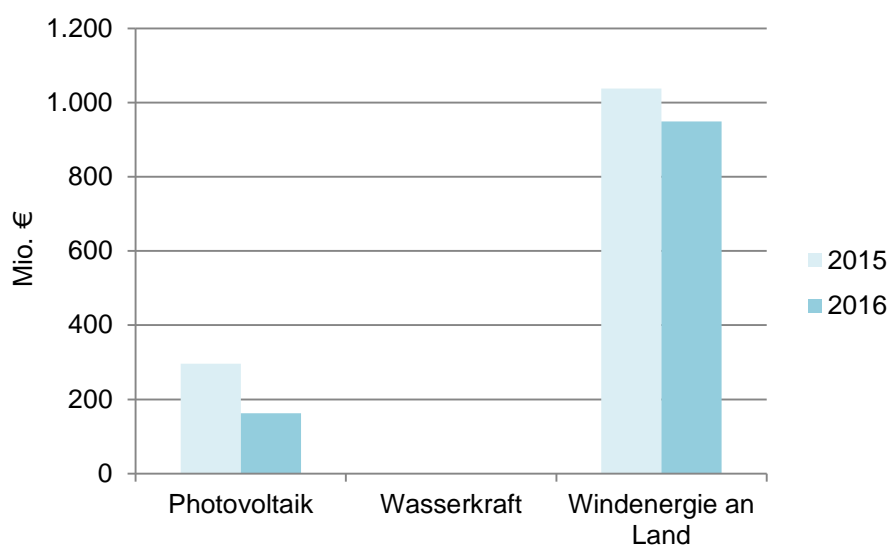


Abbildung 8: In den Jahren 2015 und 2016 im Ausland durch das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ gefördertes Investitionsvolumen.

4.2 Vermiedene Treibhausgasemissionen

In Kapitel 3.3 wurde für die von der KfW in Deutschland geförderten EE-Anlagen die Vermeidung von Emissionen und Luftschadstoffen ermittelt. Die zugrundeliegenden Parameter sind das Ergebnis umfangreicher und bereits langjährig etablierter Vorstudien (vgl. [18], [19]). Im Hinblick auf die primär im europäischen Ausland von der KfW geförderten EE-Vorhaben muss festgehalten werden, dass eine vergleichbare und konsistente Methodik für die Länder der EU nicht vorliegt. Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens wurde deshalb eine Herangehensweise gewählt, mit der die CO₂-Einspareffekte näherungsweise abgebildet werden können. Für weitere Details zur Methodik wird auf den Anhang A.3 verwiesen.

Die im Jahr 2015 geförderten Anlagen mit Standort im Ausland vermeiden pro Jahr rund 0,2 Mio. t CO₂ (vgl. Tabelle 46). Davon entfallen drei Viertel auf Windenergieanlagen.

Tabelle 46: Vermiedene CO₂-Emissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland nach Ländern und Verwendungszweck für das Förderjahr 2015.

| 1.000 t/a | Photovoltaik | Wasserkraft | Windenergie an Land | Summe |
|----------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|
| Dänemark | 20,2 | - | - | 20,2 |
| Finnland | - | - | 29,7 | 29,7 |
| Frankreich | 3,2 | - | 34,6 | 37,8 |
| Großbritannien | 19,8 | - | 14,5 | 34,3 |
| Irland | - | - | 9,5 | 9,5 |
| Italien | - | - | 49,4 | 49,4 |
| Kanada | - | - | 0,7 | 0,7 |
| Österreich | 0,0 | 0,1 | 3,5 | 3,6 |
| Summe | 43,3 | 0,1 | 141,8 | 185,3 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Für die im Jahr 2016 geförderten Anlagen mit Standort im Ausland ist pro Jahr mit einer Einsparung von 0,1 Mio. t CO₂ zu rechnen. Davon entfallen rund 70 % auf die geförderten Windenergieanlagen (vgl. Tabelle 47).

Tabelle 47: Vermiedene CO₂-Emissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland nach Ländern und Verwendungszweck für das Förderjahr 2016.

| 1.000 t/a | Photovoltaik | Wasserkraft | Windenergie an Land | Summe |
|-----------------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|
| Dänemark | 9,0 | - | - | 9,0 |
| Finnland | - | - | 4,5 | 4,5 |
| Frankreich | 0,6 | - | 24,1 | 24,7 |
| Großbritannien | 8,1 | - | - | 8,1 |
| Irland | - | - | 9,5 | 9,5 |
| Italien | - | - | 11,2 | 11,2 |
| Japan | 5,7 | - | - | 5,7 |
| Kanada | - | - | 1,7 | 1,7 |
| Kroatien | - | - | 12,9 | 12,9 |
| Niederlande | 10,0 | - | - | 10,0 |
| Österreich | - | 0,03 | 3,9 | 3,9 |
| Schweden | - | - | 8,6 | 8,6 |
| Summe | 33,5 | 0,0 | 76,2 | 109,7 |

Abweichungen in Summen durch Rundung möglich.

Literaturverzeichnis

1. BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI) - HRSG. *Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2016*. Berlin, 2017.
2. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) - HRSG. *Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung*. Berlin, 2013.
3. DEWI UL INTERNATIONAL GMBH. *Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2015*. 2016.
4. BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT E.V. (BSW-SOLAR). *Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie)*. 2016.
5. DEWI UL INTERNATIONAL GMBH. *Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2016*. 2017.
6. BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT E.V. (BSW-SOLAR). *Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie)*. 2017.
7. BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI). *Zahlen und Fakten Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung* [online]. 2017. Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/energie-daten-gesamt,property=blob,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.xls>
8. AG ENERGIEBILANZEN. *Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2015* [online]. Oktober 2016. [Zugriff am: 15. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_bericht_anwendungsbilanzen_2013-2015_hjz_2016-11-29.pdf
9. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB). *Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013* [online]. 2017. [Zugriff am: 27. Juli 2017]. Verfügbar unter: http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-_final.pdf
10. NEW ENERGY EXTERNALITIES DEVELOPMENTS FOR SUSTAINABILITY (NEEDS). *Deliverable no 6.1 – RS1a: External Costs from emerging electricity generation technologies*. 2009.
11. BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI) - HRSG. *Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2013*. Berlin, 2014.
12. BREITSCHOPF, Barbara, KLOBASA, Marian, STEINBACH, J., SENSFUSS, Frank, DIEKMANN, Jochen, LEHR, Ulrike und HORST, Juri. *Monitoring der Kosten und Nutzenwirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien im Strom- und Wärmebereich im Jahr 2011. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*. 2012.
13. BREITSCHOPF, Barbara und MEMMLER, MICHAEL. *Ermittlung vermiedener Umweltschäden - Hintergrundpapier zur Methodik - im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien“*. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2012.

14. O'SULLIVAN, Marlene, EDLER, Dietmar und LEHR, Ulrike. *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz*. 2016.
15. LEHR, Ulrike, ULRICH, Philip, LUTZ, Christian, THOBE, Ines, EDLER, Dietmar, O'SULLIVAN, Marlene, SIMON, Sonja, NAEGLER, Tobias, PFENNING, Uwe, PETER, Frank, SAKOWSKI, Fabian und BICKEL, Peter. *Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*. 2015.
16. INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG (IFM). *Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Betrieben 2010 nach Wirtschaftszweigen gemäß WZ 2008 laut Bundesagentur für Arbeit*. Bonn, 2012.
17. INSTITUT FÜR MITTELSTANDSFORSCHUNG (IFM). *Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen laut Unternehmensregister 2011-2015*. Bonn, 2017.
18. KLOBASA, Marian und SENSFUSS, Frank. *CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien in den Jahren 2012 und 2013* [online]. Februar 2016. [Zugriff am: 16. August 2017]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_11_2016_co2_minderung_im_stromsektor_durch_den_einsatz_erneuerbarer_energien_0.pdf
19. UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger*. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Dessau-Roßlau, 2017.
20. E3M LAB und NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS. *EU 28: Reference scenario (REF 2016) - Summary report* [online]. 2016. [Zugriff am: 25. Juli 2017]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/AppendixRefSc.xls>
21. THE FEDERATION OF ELECTRIC POWER COMPANIES OF JAPAN. *Electricity Review Japan* [online]. 2016. [Zugriff am: 15. August 2017]. Verfügbar unter: http://www.fepec.or.jp/english/library/electricity_eview_japan/_icsFiles/afieldfile/2016/08/24/2016E RJ_full.pdf
22. GOVERNMENT OF CANADA, Statistics Canada. *Supply and disposition of electric power, electric utilities and industry*. [online]. 30. Mai 2017. [Zugriff am: 15. August 2017]. Verfügbar unter: <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&id=1270008>
23. GOVERNMENT OF CANADA, Environment and Climate Change Canada. *Greenhouse Gas Emissions by Canadian Economic Sector*. [online]. 13. April 2017. [Zugriff am: 15. August 2017]. Verfügbar unter: <https://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=en&n=F60DB708-1>
24. FÜRSCH, Michaela, HAGSPIEL, Simeon, GLOTZBACH, Lukas und TRÖSTER, Eckehard. *Roadmap 2050 – a closer look. Cost-efficient RES-E penetration and the role of grid extensions* [online]. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, 2011. Verfügbar unter: http://www.ewi-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2011/Roadmap_2050_komplett_Endbericht_Web.pdf
25. HOEFNAGELS, Ric, JUNGINGER, Martin und PANZER, Christian. *Long term potentials and costs of RES. Pt.I: Potentials, diffusion and technological learning*. Brussels : European Commission, 2011. The RE-Shaping project.
26. UMWELTBUNDESAMT (UBA). *Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten*. Dessau-Roßlau, 2012.

27. UMWELTBUNDESAMT (UBA), INFRAS und IER UNIVERSITÄT STUTTGART. *Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten Anhang B: Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung* [online]. 2014. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_anhang_b_0.pdf
28. FIGGENER, Jan, HABERSCHUSZ, David, KAI-PHILIPP KAIRIES, WESSELS, Oliver, TEPE, Benedikt, EBBERT, Markus, HERZOG, Reiner und SAUER, Dirk Uwe. *Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher. Jahresbericht 2.0 2017*. ISEA, RWTH Aachen, 2017.
29. STATISTISCHES BUNDESAMT. *Input-Output-Rechnung 2012 (Revision 2014), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Fachserie 18, Reihe 2, Artikel-nummer: 2180200127005*. Wiesbaden, 2016.
30. STATISTISCHES BUNDESAMT. *Input-Output-Rechnung 2013 (Revision 2014), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Fachserie 18, Reihe 2, Artikel-nummer: 2180200137005*. Wiesbaden, 2017.

Anhang

A.1 Ermittlung der Einsparung fossiler Energieträger durch geförderte Anlagen mit Standort in Deutschland

Zur Quantifizierung der eingesparten fossilen Energieträger (Primärenergieeinsparung) und daraus resultierenden Effekte ist der durch die jeweiligen Technologien der Erneuerbaren Energien substituierte Mix fossiler Quellen zu bestimmen. Hierbei spielen zahlreiche Einflussfaktoren eine Rolle, insbesondere die

- zeitliche Struktur der Energiebereitstellung aus Erneuerbaren Energien (speziell Strommarkt),
- geographische Verteilung von regenerativen Erzeugungssystemen (speziell Wärmemarkt),
- Wirkungsgrade der regenerativen und der fossilen Energiebereitstellung und im Anlagenbetrieb tatsächlich erreichbare Nutzungsgrade,
- dem Anlagenbetrieb vor- (Anlagenerstellung), parallel- (z. B. Brennstoffaufbereitung und -bereitstellung) und nachgelagerte (Anlagenbeseitigung/Recycling) energetische Prozesse,
- längerfristige Veränderbarkeit der Bilanzierungsparameter aus technischer (z. B. Brennstoffmix sowie Wirkungsgrade unter Einbeziehung neuer Technologiepfade wie CO₂-Abtrennungs- und Speichertechnologien im Kraftwerksbereich) und ökonomischer Sicht (speziell Preise für fossile Energieträger).⁷

Die zeitliche Struktur der Energiebereitstellung ist speziell für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien von Bedeutung. Dies ergibt sich einerseits aus der nach Tageszeit, Wochentag oder Jahreszeit unterschiedlichen Höhe der Stromnachfrage, die zu einer entsprechenden Erzeugungsstruktur im konventionellen Stromerzeugungssystem führt (Grund-, Mittel-, Spitzenlast) und damit zu unterschiedlichen Strommengen aus Kernenergie, Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und ggf. Mineralöl. Dem stehen andererseits die spezifischen Erzeugungscharakteristika der regenerativen Quellen gegenüber.

Die Frage, in welchem Umfang konventionelle Energieträger durch diese Quellen substituiert werden, lässt sich somit nur anhand von Zeitschrittsimulationen (z. B. in stündlicher Auflösung) durchführen, indem der Kraftwerkseinsatz zur Deckung der Stromnachfrage zunächst ohne und anschließend unter Berücksichtigung der Nutzung Erneuerbarer Energien betrachtet wird. Mit anderen Worten: Die Strombereitstellung wird für die 8.760 Stunden eines Jahres einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung fluktuierender Er-

⁷ Für die Berechnungen wurde der ersetzte Brennstoffmix über den Betrachtungszeitraum konstant gehalten. Die angenommene Energiepreisentwicklung ist in Anhang A.6 dargestellt.

neuerbarer Energien simuliert. Die Differenz der beiden Brennstoffbilanzen stellt dann das Substitutionspotenzial dar.

Die daraus resultierenden Substitutionseffekte konventioneller Energieträger durch die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland sind ausführlich im Rahmen eines Gutachtens für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) untersucht worden, das vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung erstellt wurde [18] und auf dessen fortlaufende Aktualisierung im Rahmen der Emissionsbilanzierung des Umweltbundesamtes sich die weiteren Ausführungen beziehen. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung liegen aktuelle Substitutionsfaktoren für das Bezugsjahr 2016 vor [19]. Damit werden einheitlich die Wirkungen der beiden Förderjahre 2015 und 2016 ermittelt. Die für die einzelnen Technologien zur erneuerbaren Stromerzeugung angesetzten Substitutionsbeziehungen können Tabelle 48 entnommen werden:

Tabelle 48: Substitution konventioneller Energieträger durch die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien - Bezugsjahr 2016 [19].

| | Substitution | | | | |
|----------------------------|--------------|------------|------------|--------|-----------|
| | Kernenergie | Braunkohle | Steinkohle | Erdgas | Mineralöl |
| Windenergie an Land | 0,0% | 0,0% | 61,0% | 39,0% | 0,0% |
| Windenergie auf See | 0,0% | 0,0% | 61,0% | 39,0% | 0,0% |
| Wasserkraft | 0,0% | 0,0% | 64,0% | 36,0% | 0,0% |
| Feste Biomasse | 0,0% | 0,0% | 65,0% | 35,0% | 0,0% |
| Photovoltaik | 0,0% | 0,0% | 59,0% | 41,0% | 0,0% |
| Biogas | 0,0% | 0,0% | 65,0% | 35,0% | 0,0% |
| Geothermie | 0,0% | 0,0% | 65,0% | 35,0% | 0,0% |

Um von den substituierten Strommengen auf die eingesparten fossilen Energieträger zu schließen, werden Primärenergiefaktoren verwendet (vgl. Tabelle 49). Die Primärenergiefaktoren geben an, wie viele Einheiten fossile Primärenergie (einschließlich der Vorketten) eingesetzt werden müssen, um eine Einheit Strom bereitzustellen. In die Primärenergiefaktoren gehen zum Großteil die Wirkungsgrade der direkten Energieumwandlung im Kraftwerk ein.

Neben den direkten Effekten ist methodisch auch die energetische Bilanzierung indirekter Effekte von Bedeutung und mit in die Primärenergiefaktoren einbezogen. Darunter sind vor-, parallel- und nachgelagerte Prozesse zu verstehen, die in Lebenszyklusanalysen einfließen und sämtliche Energiebedarfe für die Erstellung der Anlagen, die Aufbereitung und Bereitstellung von Brennstoffen sowie Abriss, Recycling und Entsorgung von Altanlagen berücksichtigen (siehe z. B. GEMIS). Im Bereich der fossilen Energien handelt es sich im Wesentlichen um den Energieaufwand für die Aufbereitung und Bereitstellung von Brennstoffen, seitens der Erneuerbaren Energien ist es die Herstellung von Anlagen, weil hier – mit Ausnahme von Bioenergien – ein Brennstoffkreislauf entfällt. Darüber hin-

aus gibt es eine Reihe von Sekundäreffekten. Zu nennen ist beispielsweise der energetische Aufwand bei der Einbindung fluktuierender Energieträger, wie z. B. Wind, in elektrische Netze, weil hier im konventionellen Erzeugungssystem ein erhöhter Bedarf an sog. Regenergie bzw. -leistung besteht, der zu einem zusätzlichen energetischen Aufwand durch das An- und Abfahren von Kraftwerken und Teillastbetrieb führt. Gegebenenfalls müssen auch Windenergieanlagen zur Gewährleistung der Netzstabilität abgeregelt werden.

Tabelle 49: Primärenergiefaktoren zur Berechnung des Primärenergieverbrauchs für die Bereitstellung von Strom - Bezugsjahr 2016 [19].

| Energieträger | Primärenergieverbrauch (fossil) in kWh _{Prim} /kWh _{el} |
|---------------------|---|
| Braunkohle | 2,56 |
| Steinkohle | 2,47 |
| Erdgas | 1,88 |
| Mineralöl | 2,82 |
| Wasserkraft | 0,04 |
| Windenergie an Land | 0,03 |
| Windenergie auf See | 0,03 |
| Photovoltaik | 0,26 |
| Geothermie | 0,74 |
| Feste Biomasse | 0,21 |
| Biogas | 0,30 |

Anmerkung: Für Kernenergie liegen keine Primärenergiefaktoren vor; die eingesparten Brennstoffkosten sind auf Grund der geringen für den Betrieb von Kernkraftwerken erforderlichen Mengen vernachlässigbar.

Mit der vorliegenden Substitutionsmethodik wird auch für die einzelnen erneuerbaren Energieträger im Wärmesektor differenziert ermittelt, welche fossilen Energieträger eingespart werden. Die für die einzelnen Technologien zur erneuerbaren Wärmebereitstellung angesetzten Substitutionsbeziehungen sind in Tabelle 50 dargestellt:

Tabelle 50: Substitution konventioneller Energieträger durch die Wärmeerzeugung mit Erneuerbaren Energien - Bezugsjahr 2016 [19].

| | Heizöl | Erdgas | Steinkohle | Braunkohle | Fernwärme | Strom |
|-------------------------------------|--------|--------|------------|------------|-----------|-------|
| Solarthermie | 44,9% | 50,6% | 0,0% | 0,0% | 1,6% | 2,9% |
| Wärmepumpen | 42,9% | 47,7% | 0,5% | 1,4% | 4,4% | 3,2% |
| Biogas | 56,3% | 42,4% | 1,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Feste Biomasse in Heiz(kraft)werken | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% |
| Geothermie | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% |

Die Substitution von Fernwärme und Heizstrom als Sekundärenergieträger zur Wärmebereitstellung wird zur Ermittlung der eingesparten fossilen Energieträger auf die Energie-

träger Erdgas, Steinkohle und Braunkohle umgerechnet. Für Strom wird angesetzt, dass sich dieser zu jeweils 50 % aus den Primärenergieträgern Steinkohle und Erdgas zusammensetzt. Für Fernwärme wird anhand von [7] eine Verteilung von 56 % Erdgas, 33 % Steinkohle sowie 12 % Braunkohle angesetzt (ohne Substitution von Müll und Erneuerbaren Energien).

Analog zum Vorgehen im Stromsektor werden zur Berechnung der fossilen Primärenergieeinsparung im Wärmesektor Primärenergiefaktoren verwendet. Die Faktoren geben an, wie viele Einheiten fossile Primärenergie (einschl. Vorketten) zur Bereitstellung einer Einheit Endenergie zur Wärmebereitstellung einzusetzen sind (vgl. Tabelle 51).

Tabelle 51: Primärenergiefaktoren zur Berechnung des Primärenergieverbrauchs für die Bereitstellung von Wärme – Bezugsjahr 2016 [19].

| Energieträger | Primärenergieverbrauch (fossil) in kWh _{Prim} /kWh _{End} |
|---|---|
| Erdgas | 1,29 |
| Heizöl | 1,38 |
| Braunkohle | 1,53 |
| Steinkohle | 1,76 |
| Fernwärme (einschließlich Netzverluste) | 2,15 |
| Strom | 1,62 |
| Solarthermie | 0,14 |
| Wärmepumpen | 0,70 |
| Biogas | 0,07 |
| Feste Biomasse | 0,05 |
| Geothermie | 0,25 |

Die in der vorliegenden Evaluierung dargestellten Ergebnisse basieren auf einer Berechnung der Netto-Einsparung. Von den durch die Nutzung Erneuerbarer Energien eingesparten fossilen Energiemengen werden jene fossile Energiemengen abgezogen, die im Zusammenhang mit der Nutzung der Erneuerbaren Energien entstehen.

Die in Tabelle 48 und Tabelle 50 angeführten Substitutionsfaktoren werden für die folgenden Berechnungen über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren als konstant angesetzt. Änderungen in der Struktur der substituierten fossilen Energieträger werden somit nicht betrachtet. Analog dazu erfolgt die Abschätzung der vermiedenen Treibhausgasemissionen über einen statischen Ansatz, d.h. mittels über den Betrachtungszeitraum konstanten Parametern.

A.2 Ermittlung vermiedener Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen für geförderte Anlagen mit Standort in Deutschland

Die Methodik zur Ermittlung der vermiedenen Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen baut auf den Berechnungen zu den eingesparten fossilen Energieträgern auf (vgl. Anhang A.1) und verwendet die von [19] ermittelten Emissionsfaktoren. Die Berechnungen des UBA konzentrieren sich vor allem aus Gründen der Datenlage und methodischen Unsicherheiten auf eine Auswahl der wichtigsten Treibhausgase und Luftschadstoffe. Diese werden auch für die vorliegende Evaluierung betrachtet. Im Einzelnen sind dies:

- Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O sowie das daraus ermittelte CO₂-Äquivalent)
- Säurebildner (SO₂, NO_x sowie das daraus ermittelte SO₂-Äquivalent)
- Vorläuferstoffe für bodennahes Ozon (NMVOC) und
- Feinstaub.

Zur Ermittlung der CO₂- bzw. SO₂-Äquivalente wurden folgende Treibhausgas- bzw. Versauerungspotenziale zugrunde gelegt:

Tabelle 52: Relatives Treibhauspotenzial von Treibhausgasen (CO₂, CH₄, N₂O) bzw. Versauerungspotenzial (SO₂, NO_x) von Säurebildnern.

| Gas | | Relatives Treibhauspotenzial ⁸ bzw. Versauerungspotenzial ⁹ |
|------------------|------------------|--|
| CO ₂ | Kohlendioxid | 1 |
| CH ₄ | Methan | 21 |
| N ₂ O | Distickstoffoxid | 310 |
| SO ₂ | Schwefeldioxid | 1 |
| NO _x | Stickoxide | 0,7 |

Die Einsparfaktoren gehen auf die in Anhang A.1 dargestellten Substitutionsfaktoren zurück (vgl. Tabelle 48 und Tabelle 50). Je nachdem zu welchen Anteilen fossile Energieträger substituiert werden, ergeben sich für die erneuerbaren Energieträger unterschiedlich hohe Einsparfaktoren. Die verwendeten Einsparfaktoren aus [19] sind **Netto-Einsparfaktoren**: Es wird also bilanziert, wie hoch die Einsparung aus der Substitution fossiler Energieträger abzüglich der durch die EE-Nutzung verursachten Emissionen ist.

Grundlage für die Netto-Einsparfaktoren sind die Emissionen, die im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler und erneuerbarer Energieträger entstehen. Bilanziert werden neben den direkt aus dem Anlagenbetrieb resultierenden Emissionen (direkte Emissionen) auch diejenigen Emissionen, die in der jeweiligen Vorkette entstehen (indirekte Emissionen).

⁸ Bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren mit CO₂ als Referenzsubstanz.

⁹ Bezogen auf SO₂ als Referenzsubstanz.

Für die Technologien zur Stromerzeugung wurden folgende Einsparfaktoren zur Berechnung der vermiedenen Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen genutzt (vgl. Tabelle 53):

Tabelle 53: Einsparfaktoren zur Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Bezugsjahr 2016 [19].

| g/kWh _{el} | Wasser- kraft | Wind- energie an Land | Windenergie auf See | Photo- voltaik | Geo- thermie | Feste Biomasse | Biogas |
|------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------|
| CO ₂ | 677,2 | 618,3 | 622,4 | 556,2 | 505,5 | 635,0 | 610,9 |
| CH ₄ | 2,62 | 2,38 | 2,39 | 2,22 | 2,33 | 2,46 | -5,30 |
| N ₂ O | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | -0,02 | -0,19 |
| CO ₂ -Äquivalente | 745,7 | 680,6 | 685,1 | 613,9 | 564,1 | 690,0 | 422,9 |
| SO ₂ | 0,30 | 0,26 | 0,26 | 0,20 | 0,19 | 0,09 | -0,33 |
| NO _x | 0,50 | 0,46 | 0,47 | 0,39 | 0,29 | -0,65 | -1,35 |
| SO ₂ -Äquivalente | 0,65 | 0,58 | 0,59 | 0,47 | 0,39 | -0,36 | -1,27 |
| Feinstaub | 0,02 | 0,02 | 0,02 | -0,01 | 0,01 | -0,02 | -0,03 |
| NM VOC | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | -0,12 | -0,08 |

Die entsprechenden Faktoren für die Wärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien zeigt die folgende Tabelle 54:

Tabelle 54: Einsparfaktoren zur Berechnung der vermiedenen Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen für die Wärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Bezugsjahr 2016 [19].

| g/kWh _{End} | Biomasse Heiz(kraft)werk | Biogas BHKW | Solarthermie | Geothermie | Wärmepumpe |
|------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------|------------|------------|
| CO ₂ | 204,4 | 296,9 | 249,5 | 296,6 | 179,7 |
| CH ₄ | 0,76 | -3,18 | 0,39 | 1,12 | 0,25 |
| N ₂ O | -0,01 | -0,09 | 0,00 | 0,01 | -0,01 |
| CO ₂ -Äquivalente | 219,8 | 190,5 | 260,2 | 326,9 | 183,9 |
| SO ₂ | 0,12 | -0,19 | 0,04 | 0,23 | -0,05 |
| NO _x | -0,29 | -0,44 | 0,18 | 0,35 | 0,05 |
| SO ₂ -Äquivalente | -0,08 | -0,50 | 0,17 | 0,47 | -0,02 |
| Feinstaub | 0,00 | -0,01 | 0,00 | 0,08 | 0,00 |
| NM VOC | -0,29 | -0,44 | 0,18 | 0,35 | 0,05 |

A.3 Ermittlung vermiedener Treibhausgasemissionen für geförderte Anlagen mit Standort im Ausland

Für die betrachteten Länder, in denen außerhalb Deutschlands KfW-geförderte Anlagen errichtet wurden, existiert keine dem für Deutschland genutzten Ansatz vergleichbare Berechnungsbasis zur Ermittlung der Treibhausgaseinsparung. Die Bestimmung von EE-spezifischen Einsparfaktoren unter Berücksichtigung von Einspeise- und Substitutionsprofilen und der indirekten Emissionen (Vorketten) ist methodisch herausfordernd, wie die für Deutschland zugrundeliegenden Studien [18, 19]) zeigen. Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Studie für die Ermittlung der vermiedenen CO₂-Emissionen der im Ausland geförderten Anlagen ein vereinfachter, konsistenter Ansatz gewählt.

Grundlage der Abschätzung bilden Angaben zum Emissionsfaktor des Strommix in den jeweiligen Ländern (vgl. [20]). Da die in der Vorgängerevaluierung für die Förderjahrgänge 2013/14 verwendeten Emissionsfaktoren mit Bezugsjahr 2010 nicht fortgeschrieben wurden, musste zur Berechnung der Einsparungen für die aktuellen Förderjahre aus Gründen der Datenaktualität auf eine neuere Datenbasis zurückgegriffen werden. Die vermiedenen CO₂-Emissionen der im Ausland geförderten Anlagen werden mit dem mittleren Emissionsfaktors des jeweiligen Strommixes ermittelt (Tabelle 55). Die so ermittelten Einsparungen stellen im Gegensatz zur Betrachtung der in Deutschland geförderten Anlagen Brutto-Einsparungen dar, da eine konsistente vergleichbare Netto-Bilanzierungsmethode für die betrachteten Länder im Ausland nicht vorliegt.

Tabelle 55: CO₂-Emissionsfaktor des Strommixes für die betrachteten Länder, Bezugsjahr 2015 [20]

| | g/kWh _{el} |
|----------------|---------------------|
| Dänemark | 168 |
| Finnland | 141 |
| Frankreich | 42 |
| Großbritannien | 415 |
| Irland | 409 |
| Italien | 305 |
| Japan | 556 * |
| Kanada | 125 * |
| Kroatien | 235 |
| Niederlande | 383 |
| Österreich | 133 |
| Schweden | 21 |

* Japan: Wert für 2014 aus [21]

Kanada: eigene Berechnungen auf Basis von [22, 23]

Zur vorgelagerten Ermittlung der zu erwartenden Jahresstrommengen wurden für die einzelnen EE-Technologien länderspezifische Vollaststunden abgeschätzt. Grundlage dafür bildeten [24, 25].

A.4 Bewertung externer Kosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen

Luftschadstoffe beeinträchtigen die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen und wirken zerstörerisch auf Bauwerke und andere Sachgüter. Treibhausgase tragen zur globalen Klimaänderung bei und führen so ebenfalls zu Schäden. Diese Schäden führen bei den Betroffenen oder der Allgemeinheit zu Kosten, welche nicht vom Verursacher getragen werden, man spricht von „externen“ Kosten.

Bei der Bewertung externer Kosten sind grundsätzlich zwei Ansätze zu unterscheiden: Schadenskosten und Vermeidungskosten. Schadenskosten, d.h. die Bewertung bereits eingetretener oder zukünftig zu erwartender Schäden, sind das auf Basis der Wohlfahrtstheorie angemessene Bewertungskonzept, da nur dieses eine widerspruchsfreie Korrektur der Marktpreise („Internalisierung“) erlaubt. Vermeidungs- oder Zielerreichungskosten ermitteln die zum Erreichen eines bestimmten Umweltziels (beispielsweise einer Luftschadstoffkonzentration) erforderlichen Kosten als Bewertungsmaßstab. Sie stellen eine Näherungslösung dar, falls auf Grund mangelnden Wissens über einen Sachverhalt keine Schadenskosten quantifiziert werden können.

Auf wissenschaftlicher Ebene besteht Konsens, dass zur Ermittlung von Schadenskosten der sog. Wirkungspfadansatz angewendet werden sollte, sofern die Daten- und Informationsgrundlage dafür ausreichen (vgl. auch die Empfehlungen der Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten des Umweltbundesamtes [26]). Abbildung 9 illustriert das Vorgehen des Wirkungspfadansatzes.

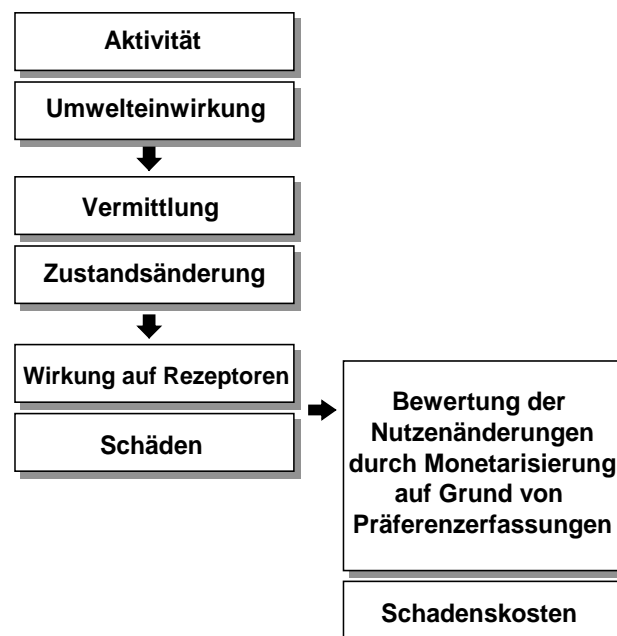


Abbildung 9: Der Wirkungspfadansatz zur Berechnung externer Umweltkosten.

Dabei wird die kausale Wirkungskette von der Umwelteinwirkung über die Vermittlung (z. B. Schadstofftransport und evtl. auftretende chemische Umwandlungsprozesse wie die Bildung von Ozon aus NO_x und NMVOC) bis hin zur Wirkung auf verschiedene Rezeptoren (z.B. Menschen, Pflanzen) mit Hilfe von Modellen abgebildet. Die Vermittlung kann auch den Transport von Stoffen über mehrere Medien hinweg (z.B. Deposition von Luftschadstoffen auf dem Boden, Eintrag in das Grundwasser, Weiterleitung in Oberflächenwasser usw.) umfassen. Der letzte Schritt zur Ermittlung von Kosten besteht darin, die quantifizierten physischen Schäden monetär zu bewerten. Die ermittelten Geldwerte geben die veränderten direkten Nutzen durch Einflüsse auf Wohlbefinden und Gesundheit, Nutzungsmöglichkeiten der Umwelt oder sonstiger betroffener Güter wieder, also den Nutzenverlust für die Betroffenen.

Um den Wirkungspfadansatz nicht für jeden Anwendungsfall neu durchführen zu müssen, werden Bewertungsansätze u.a. für Luftschadstoffemissionen bereitgestellt, die für eine große Bandbreite von Anwendungen verwendbar sind. Die aktuellste und umfassendste Untersuchung hierzu wurde im Rahmen des NEEDS-Projektes (New Energy Externalities Development for Sustainability) im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführt. Als Ergebnis steht ein System konsistenter Wertansätze für Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen zur Verfügung. Auf dieser Grundlage empfiehlt das Umweltbundesamt Best-Practice-Kostensätze zur Berechnung von Umweltkosten (vgl. [27]), auf die in der vorliegenden Untersuchung zurückgegriffen wird. Diese Bewertung ist konsistent mit der Berichterstattung für das Bundesumweltministerium und das Bundeswirtschaftsministerium (vgl. insbesondere [2], [11], [12] sowie [13]). Die verwendeten Wertansätze sind in Tabelle 33 im Textteil aufgeführt.

A.5 Referenzanlagen

Im folgenden Teil des Anhangs sind die Eingangsdaten zur Berechnung der Energiebereitstellung sowie zur Abschätzung der Betriebskosten der geförderten EE-Anlagen dargestellt. Die Energiemengen dienen der darauf aufbauenden Abschätzung der eingesparten fossilen Energieträger und der damit verbundenen Emissionsvermeidung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen. Die Betriebskosten der Anlagen gehen in die Abschätzungen zur Ermittlung der Arbeitsplatzeffekte ein. Im Folgenden wird zunächst in Textform auf die Besonderheiten bestimmter Anlagen eingegangen.

Sonderfälle stellen insbesondere einzelne Fördertatbestände im KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil „Premium“, dar. Dazu zählt die Förderung von Leitungen für unaufbereitetes Biogas, großen Wärmespeichern, großen Wärmepumpen sowie Wärmenetzen, die überwiegend aus Erneuerbaren Energien gespeist werden. Mit den genannten Technologien, insbesondere mit Nahwärmenetzen und Biogasleitungen, wird ein wichtiger Beitrag zum Strukturwandel im Wärmemarkt geleistet. Eine Zurechnung von Wirkungen (d.h. die Einsparung fossiler Energieträger und die daraus resultierende Vermeidung von Emissionen) ist für die genannten Technologien des KfW-Programms Erneuerbare Energien „Premium“ jedoch mit erhöhtem Aufwand und größeren Unsicherheiten verbunden. Die Wirkungen der geförderten Maßnahmen sind in diesen Fällen nur über eine Reihe von Annahmen abzuschätzen. Die Herangehensweise wird im Folgenden für die einzelnen Technologien kurz dargestellt.

In den Förderjahren 2015 und 2016 wurden 109 bzw. 101 **große Wärmespeicher** gefördert. Das insgesamt geförderte Speichervolumen beläuft sich auf 9.602 bzw. 6.870 m³. Große Wärmespeicher dienen in der Regel dem Ausgleich der tageszeitlich schwankenden Wärmelast. Darüber hinaus können große Wärmespeicher in Verbindung mit solarthermischen Großanlagen zur saisonalen Speicherung größerer Wärmemengen dienen. Zu diesem Anwendungsgebiet gibt es bereits erste Pilotprojekte. Die hier betrachteten geförderten Wärmespeicher können jedoch näherungsweise dem Bereich der Kurzzeitspeicherung auf Wasserbasis zugeordnet werden, da die saisonale Speicherung bzw. der Einsatz von Phasenwechselmaterialien noch keine relevante Marktdurchdringung erreicht haben. Kurzzeitspeicher sparen Brennstoff ein, da durch die Nutzung des Speichers die Taktfrequenz der Wärmeerzeugungsanlage verringert wird. Dem gegenüber stehen die Wärmeverluste und der Energieaufwand zur Herstellung des Speichers. Für die vorliegende Evaluierung kann der Einfluss der Speicher jedoch vernachlässigt werden.

Im Förderjahr 2016 ist eine **Biogasleitung** zum Transport von unaufbereitetem Rohgas gefördert worden. Die Nutzung von Rohgasleitungen als sogenanntes Mikrogasnetz dient in der Regel einer höheren Wärmenutzung durch die Aufteilung des Biogases auf mehrere BHKW. Somit werden anstatt eines zentralen Groß-BHKW zwei oder mehrere dezent-

rale BHKW eingesetzt, deren Dezentralität eine erhöhte Wärmenutzung gegenüber einem zentralen Groß-BHKW erlaubt.

In den Jahren 2015 und 2016 wurden 758 bzw. 980 **Nahwärmenetze als eigenständige Maßnahme** gefördert¹⁰. Abhängig von der Leistung der einspeisenden Biomasse- oder Biogasanlagen wird den Wärmenetzen ein erhöhter Wärmeabsatz zugerechnet. Die Verteilung der geförderten Anlagen auf die Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen bzw. die Nutzung von Wärme aus einem Holzheizwerk wurde anhand einer Stichprobe für 100 Datensätze ermittelt. Anhand der Stichprobe wurde ermittelt, dass der Anteil der mit Abwärme aus Biogasanlagen gespeisten Wärmenetze für beide Förderjahre rund 30 % beträgt. Wie in den Evaluierungen der vorangegangenen Förderjahre wird auch in der vorliegenden Studie die Einspeisung von solarthermischer Wärme nicht berücksichtigt, da dieser Nutzungsbereich derzeit noch vernachlässigt werden kann. Bei der Ermittlung der vermiedenen fossilen Energieträger, Treibhausgase und Luftschadstoffe wird für die mit Wärmleitungen erschlossene Abwärme von Biogasanlagen vereinfachend angesetzt, dass keine zusätzlichen Emissionen für den Betrieb der Biogasanlage anfallen (der Strombedarf zum Betrieb der Pumpen für das Nahwärmenetz wird vernachlässigt).

Die in den Jahren 2015 und 2016 geförderten **großen Wärmepumpen** wurden in die Berechnung der Wirkungen anhand der angegebenen Jahresarbeitszahlen einbezogen. Im Einzelnen wurden im Jahr 2015 2 Wärmepumpen gefördert, im Jahr 2016 9 Anlagen.

Seit Mai 2013 werden im Programmteil „Speicher“ des KfW-Programms Erneuerbare Energien **Batteriespeicher** gefördert, die zusammen mit einer neuen oder zusätzlich zu einer bestehenden PV-Anlage errichtet werden. Mit der KfW-Förderung von Photovoltaik-Batteriespeichern wurde angestoßen, dass in größerem Umfang dezentrale, kleine Speichereinheiten in Deutschland installiert werden.

Im Hinblick auf die Einsparung von fossilen Energieträgern und Emissionen von PV-Speichern sind grundsätzlich drei Wirkungsebenen zu berücksichtigen:

- 1) Veränderung des Einspeise- und Substitutionsprofils: Durch die Speicherung und damit die zeitlich verlagerte Nutzung des PV-Stroms verändert sich das Substitutionsprofil des bereitgestellten PV-Stroms. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung liegen allerdings noch keine Studien oder Erkenntnisse vor, die sich mit dieser Systemfrage beschäftigt haben. Es kann deshalb zum jetzigen Zeitpunkt keine Berücksichtigung von ggf. geänderten Substitutionsfaktoren und damit Einsparfaktoren erfolgen.
- 2) Die Herstellung und der Betrieb von PV-Speichern ist mit Material- bzw. Energieaufwand verbunden. Für die von der KfW geförderten EE-Technologien werden diese Effekte mittels der Netto-Einsparfaktoren des UBA [19] berücksichtigt. In die verfügbaren Angaben des UBA zur Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger gehen je-

¹⁰ Dies umfasst nicht diejenigen Nahwärmenetze, bei denen gleichzeitig eine Anlage zur Wärmebereitstellung gefördert wurde, welche zusammen mit diesen Anlagen ausgewertet wurden.

doch die PV-Speicher noch nicht ein. Deshalb kann der mit der Herstellung und dem Betrieb der Speicher verbundene Energieaufwand zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht berücksichtigt werden.

- 3) Darüber hinaus ist die Zwischenspeicherung des PV-Stroms mit Wirkungsgradverlusten behaftet. Je nach verwendeter Technologie können ca. 80 % bis 95 % des zwischengespeicherten Stroms wieder genutzt werden. Aus dem Monitoringprogramm der PV-Speicher [28] ist bekannt, auf welche Speichertechnologien sich die geförderten Batteriespeicher verteilen.

Vor dem Hintergrund der geschilderten Datenlage kann zum Zeitpunkt der Berichterstellung lediglich der Wirkungsgradverlust der Speicher berücksichtigt werden. Es wird angestrebt, im Zuge der weiteren Evaluierung die anderen genannten Effekte in der Berechnung der Minderungswirkungen abzubilden. Voraussetzung dafür ist die entsprechende Berücksichtigung der Substitutionseffekte in der den Substitutionsfaktoren zugrundeliegenden Studie sowie im Rahmen der Emissionsbilanz des UBA.

Der Wirkungsgradverlust der geförderten Speicher wird wie folgt berücksichtigt: Es wird davon ausgegangen, dass mit den geförderten Batteriespeichern der Eigenverbrauchsanteil von 30 % (ohne Speicher) auf 60 % (mit Speicher) erhöht werden kann. Entsprechend wird 30 % der Jahresstromerzeugung der PV-Anlage mit einem mittleren Speicherwirkungsgrad beaufschlagt. Dieser wurde im Mittel mit 92 % (2015) bzw. 94 % (2016) angesetzt (Mittelwert 2016 höher aufgrund gestiegenem Anteil von Lithium-Ionen-Speichern).

Für große Batteriespeicher liegen aktuell keine Daten vor, die eine belastbare Ermittlung von Wirkungen erlauben würden.

In den folgenden Tabellen werden für die einzelnen EE-Technologien die eingangs erwähnten Ausgangsdaten zur Berechnung der Energiemengen (Strom und Wärme) und der jährlichen Betriebskosten dargestellt (Referenzanlagen). Sofern die Betriebskosten über Anteile an der Investitionssumme ermittelt werden, wurden die Investitionssummen der geförderten Vorhaben zugrunde gelegt.

Tabelle 56: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen bis 100 kW_p.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|------|------------------------|
| Spezifischer Stromertrag | 900 | kWh/kW _p |
| Wartung und Instandhaltung | 1,0 | %/a von I ₀ |
| Versicherung, Verwaltung, Pacht | 0,5 | %/a von I ₀ |

Tabelle 57: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen von 101 bis 1.000 kW_p.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|------|------------------------|
| Spezifischer Stromertrag | 900 | kWh/kW _p |
| Wartung und Instandhaltung | 1,0 | %/a von I ₀ |
| Versicherung, Verwaltung, Pacht | 0,5 | %/a von I ₀ |

Tabelle 58: Parameter zur Berechnung der Photovoltaikanlagen über 1.000 kW_p.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|------|------------------------|
| Spezifischer Stromertrag | 950 | kWh/kW _p |
| Wartung und Instandhaltung | 1,0 | %/a von I ₀ |
| Versicherung, Verwaltung, Pacht | 0,5 | %/a von I ₀ |

Tabelle 59: Parameter zur Berechnung der Windenergieanlagen (onshore).

| Parameter | Wert | Einheit |
|-------------------------|-------|----------------------|
| Volllaststunden | 2.100 | h |
| Fixe Betriebskosten | 34 | €/kW*a |
| Variable Betriebskosten | 0,7 | ct/kWh _{el} |

Tabelle 60: Parameter zur Berechnung der Windenergieanlagen (offshore).

| Parameter | Wert | Einheit |
|------------------------------|-------|---------|
| Volllaststunden | 3.850 | h |
| Kosten für Versicherung | 20 | €/kW*a |
| Betriebs- und Wartungskosten | 80 | €/kW*a |

Tabelle 61: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizkraftwerke.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|-------|------------------------|
| Volllaststunden | 5.000 | h |
| Wärmenutzung | 70 | % |
| Personaleinsatz | 0,5 | a |
| Wartung und Instandhaltung | 1,5 | %/a von I ₀ |
| Versicherung, Verwaltung, Pacht | 1,0 | %/a von I ₀ |

Tabelle 62: Parameter zur Berechnung der Biogasanlagen.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|-------|---------------|
| Volllaststunden | 6.000 | h |
| Wärmenutzung | 25 | % |
| Personaleinsatz | 1 | a |
| Wartung und Instandhaltung | 3,0 | %/a von I_0 |
| Versicherung, Verwaltung, Pacht | 1,0 | %/a von I_0 |

Tabelle 63: Parameter zur Berechnung der Wasserkraftanlagen.

| Parameter | Wert | Einheit |
|----------------------------|-------|---------------|
| Volllaststunden | 5.000 | h |
| Wartung und Instandhaltung | 2,2 | %/a von I_0 |
| Versicherung, Verwaltung | 0,3 | %/a von I_0 |
| Sonstige variable Kosten | 5 | €/MWh |

Tabelle 64: Parameter zur Berechnung der solarthermischen Anlagen.

| Parameter | Wert | Einheit |
|--------------------------------|------|------------------------|
| Spezifischer Wärmeertrag | 370 | kWh/(m ² a) |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 1,5 | %/a von I_0 |

Tabelle 65: Parameter zur Berechnung der großen Wärmepumpen.

| Parameter | Wert | Einheit |
|--------------------------------|-----------|---------------|
| Jahresarbeitszahl Strom (Gas) | 4,2 (1,5) | - |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 3,5 | %/a von I_0 |

Tabelle 66: Parameter zur Berechnung der Biogasleitungen.

| Parameter | Wert | Einheit |
|--|-------|---------|
| Volllaststunden | 6.000 | h |
| zusätzliche Wärmenutzung | 1.380 | MWh/a |
| Stromverbrauch Gastrocknung, -verdichtung | 72 | MWh/a |

Tabelle 67: Parameter zur Berechnung der Wärmenetze mit Wärmeeinspeisung aus einem Holzheizwerk.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|------|---------------|
| zusätzliche Wärmebereitstellung | 70 | MWh/a |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 1,5 | %/a von I_0 |

Tabelle 68: Parameter zur Berechnung der Wärmenetze mit Wärmeeinspeisung aus einer Biogasanlage.

| Parameter | Wert | Einheit |
|---------------------------------|------|---------------|
| zusätzliche Wärmebereitstellung | 550 | MWh/a |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 1,5 | %/a von I_0 |

Tabelle 69: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizwerke (ohne Nahwärmenetz).

| Parameter | Wert | Einheit |
|--------------------------------|-------|---------------|
| Volllaststunden | 1.500 | h |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 6 | %/a von I_0 |

Tabelle 70: Parameter zur Berechnung der Biomasse-Heizwerke (mit Nahwärmenetz).

| Parameter | Wert | Einheit |
|--------------------------------|-------|---------------|
| Volllaststunden | 2.500 | h |
| Wartung, Reparatur und Betrieb | 6 | %/a von I_0 |

A.6 Energiepreise

Zur Abschätzung der vermiedenen Kosten für den Import von fossilen Energieträgern wird analog zu den Vorgängerstudien auf Literaturangaben zur zukünftigen Entwicklung der Energiepreise zurückgegriffen. Dabei werden die externen Effekte der Nutzung fossiler Energieträger bzw. die Internalisierung dieser Effekte nicht berücksichtigt. Die angegebenen Energiepreise stellen somit nur die reinen Importkosten ohne CO₂-Aufschläge dar. Je nach Betrachtungsjahr (Förderjahr 2015 bzw. 2016) werden auf dem jeweils aktuellen Rand Preisszenarien für eine angenommene Betrachtungsdauer von 20 Jahren angesetzt. Die aktuellen Energiepreise sind den BMWi-Energiedaten entnommen [7], die Preisszenarien stammen aus dem Projektionsbericht 2017 der Bundesregierung [9] (vgl. Tabelle 71, fehlende Jahre wurden linear interpoliert).

Tabelle 71: Angesetzte Grenzübergangpreise (Importpreise) für fossile Energieträger [9]

| € ₂₀₁₃ /GJ | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Rohöl | 12,8 | 14,5 | 16 | 16,6 | 17,2 |
| Steinkohle | 2,4 | 2,9 | 3,5 | 3,7 | 3,8 |
| Erdgas | 7,5 | 8,1 | 8,8 | 9,4 | 9,7 |

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Vorjahren wurden die in die Berechnung einfließenden Energiepreise auf die Preisbasis 2014 umgerechnet. Darüber hinaus erfolgte - analog zur Methodik der Vorgängerstudien – eine Umrechnung der Preise in Annuitäten. Dazu werden mit einem kalkulatorischen Zinssatz von real 3 % die jährlichen Werte auf das Basisjahr abgezinst und zu einem Kapitalwert aufsummiert. Der Kapitalwert wird anschließend mit dem kalkulatorischen Zinssatz in eine Annuität umgerechnet. Tabelle 72 zeigt die so ermittelten annuitätischen Energiepreise für die Förderjahrgänge 2015 und 2016.

Tabelle 72: Übersicht über die angesetzten Energiepreise (Annuitäten) für die betrachteten Förderjahre 2015 und 2016

| € ₂₀₁₄ /GWh | 2015 | 2016 |
|---------------------------------|--------|--------|
| Rohöl (Importpreis) | 50.074 | 52.223 |
| Steinkohle (Importpreis) | 10.818 | 11.093 |
| Erdgas (Importpreis) | 28.553 | 29.666 |

Durch die geänderten Ausgangsjahre und die Nutzung der Daten des Projektionsberichts resultieren abweichende Annuitäten im Vergleich zu den Vorgängerstudien. Aufgrund der Volatilität der Energiepreise sowie von Prognoseunsicherheiten lässt sich dies allerdings nicht vermeiden.

A.7 Ermittlung von Bruttobeschäftigungseffekten in Deutschland

Beschäftigungswirkungen ergeben sich aus den Investitionen in und dem Betrieb von geförderten Anlagen. Darüber hinaus ist zwischen direkten Effekten bei Anlagenherstellern, -errichtern sowie Wartungsfirmen auf der einen Seite und den indirekten Effekten aus Vorleistungen wie Lieferungen von Vorprodukten auf der anderen Seite zu unterscheiden.

Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien ist das Ergebnis von Entscheidungen privatwirtschaftlicher Akteure. Einen wichtigen Einflussfaktor stellen dabei unterschiedliche Fördermaßnahmen des Staates oder von Förderträgern dar, welche die erwartete Rentabilität und damit das privatwirtschaftliche Investitionskalkül beeinflussen. In diesem Sinne wird hier von „durch Fördermaßnahmen ausgelöster Bruttobeschäftigung“ gesprochen, wenn die zugrunde liegenden Investitionen durch Fördermaßnahmen der KfW mitfinanziert wurden.

Die Schätzung der durch die Fördermaßnahmen der KfW im Bereich der Erneuerbaren Energien ausgelösten Bruttobeschäftigung basiert auf einem nachfrageorientierten Ansatz, der als Ausgangspunkt die durch die unterschiedlichen Förderprogramme ausgelöste Nachfrage nach Gütern hat. Als wesentliche Komponenten der in die Untersuchung einbezogenen Nachfrage werden die Investitionen in neu installierte Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien sowie die damit über den gesamten unterstellten Lebenszyklus der Anlagen verbundenen laufenden Aufwendungen zum Betrieb und zur Wartung berücksichtigt.¹¹

Die modellgestützte Berechnung der Bruttobeschäftigung basiert auf der Input-Output-Analyse bzw. methodisch präzise ausgedrückt auf der Anwendung des offenen statischen Input-Output-Mengenmodells¹². Mit diesem Schätzansatz werden nicht nur die (direkten) Beschäftigten ermittelt, die in den Unternehmen arbeiten, die selbst die nachgefragten Güter wie Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien produzieren, sondern es werden auch die Beschäftigten erfasst, die in jenen Unternehmen arbeiten, die Vorprodukte zur Herstellung der gefertigten Anlagen bereitstellen. Es werden mit dieser Methode also auch jene Beschäftigungsanteile abgeschätzt, die indirekt in den Vorleistungen zur Erstellung von nachgefragten Anlagen enthalten sind. Falls beispielsweise ein Mitarbeiter in einem Stahlwerk Stahl produziert, der später beim Bau einer Windkraftanlage Verwendung findet, wird genau der entsprechende Anteil des Arbeitsvolumens des Mitarbeiters modellmäßig der hier betrachteten Beschäftigung zugerechnet, obwohl dem

¹¹ Andere mit der Nutzung der geförderten Anlagen verbundene Nachfrageelemente, wie zum Beispiel die mit der Verteilung oder dem Verkauf des produzierten Ökostroms verbundene Beschäftigung, bleiben unberücksichtigt.

¹² Unter methodischer Perspektive erfolgt eine Zurechnung der Produktionswirkungen und daraus abgeleiteter Beschäftigungswirkungen zu empirisch ermittelten Endnachfragekomponenten.

Mitarbeiter selbst der Zusammenhang seiner Tätigkeit mit Erneuerbaren Energien unbekannt ist.

Das methodische Vorgehen setzt als wichtige Bausteine folgende Elemente voraus:

- Eine quantitative Abschätzung der im Inland wirksamen Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen auf Basis der betrachteten Förderprogramme in den Berichtsjahren 2015 und 2016. Voraussetzung hierfür sind empirische Informationen über den Import von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien. Die Abschätzung der Importe ist wichtig, weil nur für die im Inland produzierten Anlagen Beschäftigung in Deutschland anfällt, importierte Anlagen dagegen zu Produktions- und Beschäftigungswirkungen im Ausland (im jeweiligen Produktionsland) führen.¹³ Informationen über Anlagenimporte sind schwierig zu ermitteln, hier wird auf Ergebnisse einer umfassenden Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw. Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (vgl. [15]) sowie auf aktuelle Erkenntnisse für das Berichtsjahr 2015 (vgl. [14]) zurückgegriffen. Die im Inland wirksame Nachfrage ergibt sich, indem von den geförderten Investitionen nach Sparten die in der jeweiligen Sparte aus dem Ausland bezogenen Anlagen abgezogen werden.
- Eine Beschreibung der erneuerbaren Energietechnologien im Analyserahmen der Input-Output-Analyse, insbesondere eine Beschreibung der neu definierten Produktionsbereiche
 - Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in den betrachteten Sparten Wind, Photovoltaik, Solarthermie, Wasserkraft, Biomasse, Biogas, Geothermie und Große Wärmepumpe; erste Ansätze für Wärmenetze, Wärmespeicher und Batteriespeicher.
 - Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in den Sparten Wind, Photovoltaik, Solarthermie, Wasserkraft, Biomasse, Biogas, Geothermie und große Wärmepumpe.
 - Die Daten zur Beschreibung der Branchen zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien sowie der Bereiche zum Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien entsprechen für den Förderjahrgang 2015 den Ergebnissen aus [14]. Werte für 2016 sind zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht veröffentlicht, es wurden aber die zu Grunde liegenden Daten und Methoden angewandt.
- Als Input-Output-Tabelle für Deutschland wird für die Sparten der erneuerbaren Energien die Tabelle für das Berichtsjahr 2012 (vgl. [29]) verwendet. Um die Vergleichbarkeit der Schätzungen mit der Studie [14] zu gewährleisten, wurde auf die Berücksichtigung der zwischenzeitlich veröffentlichten Tabelle 2013 verzichtet. Für die Bereiche Wärmenetze, Wärmespeicher und kleine Batteriespeicher lagen

¹³ Dabei wird in Übereinstimmung mit [15] angenommen, dass der Beschäftigungseffekt durch Installation von importierten Anlagen vernachlässigt werden kann.

lediglich Werte auf Basis der Tabelle für das Berichtsjahr 2013 (vgl. [30]) vor. Die Arbeitskoeffizienten (Anzahl der Beschäftigten je Einheit Bruttoproduktionswert), die sich aus der amtlichen Tabelle für das Jahr 2012 bzw. 2013 ergeben, werden in der sektoralen Gliederung der verwendeten Input-Output-Tabelle bis zum Jahr 2016 fortgeschrieben. Für die Abschätzung der Beschäftigung aus dem Betrieb der Anlagen über die unterstellte Lebensdauer von 20 Jahren werden darüber hinaus Fortschreibungen der sektoralen Arbeitsproduktivitäten über einen längeren Zeitraum durchgeführt, die mit größeren Unsicherheiten als die übrigen Fortschreibungen verbunden sind.

Für die Wirkung der Investitionen auf die Beschäftigungseffekte wurde – mit Ausnahme der Windenergie auf See – angenommen, dass die gesamten Investitionen zu Beschäftigung jeweils in den Jahren 2015 bzw. 2016 führen. Es wurden also alle Investitionen des Förderjahrgangs 2015 als im Jahr 2015, die des Förderjahrgangs 2016 als im Jahr 2016 beschäftigungswirksam angenommen. Bei den in den Jahren 2015 und 2016 geförderten Offshore-Windkraftanlagen erfolgt der größte Teil der Investitionen nicht im Jahr der Förderzusage, sondern erst in den Folgejahren, so dass auch erst in diesen Jahren nennenswerte Beschäftigungswirkungen ausgelöst werden. Um dennoch eine Abschätzung der Beschäftigungseffekte dieser Investitionen durchführen zu können, wurden vereinfachend die Parameter (Arbeitsproduktivitäten, Importanteile etc.) des Jahres 2016 verwendet und die so ermittelten Beschäftigungseffekte nur nachrichtlich ausgewiesen. Die Beschäftigung durch den Betrieb der Anlagen wurde für die auf die Errichtung folgenden 20 Jahre (2015 bis 2034 bzw. 2016 bis 2035) abgeschätzt.