

Expertise

Investitionen durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland

Im Auftrag des
Bundesverbandes
Erneuerbare Energie
e.V.,
der Agentur für
Erneuerbare Energien
und der
HANNOVER MESSE

Jens Hobohm
jens.hobohm@prognos.com
Stefan Mellahn
stefan.mellahn@prognos.com

Berlin, Mai 2010
27056

Das Unternehmen im Überblick**Geschäftsführer**

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Gunter Blickle

Berlin HRB 87447 B

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht

Gründungsjahr

1959

Tätigkeit

Prognos berät europaweit Entscheidungsträger in Wirtschaft und Politik. Auf Basis neutraler Analysen und fundierter Prognosen werden praxisnahe Entscheidungsgrundlagen und Zukunftsstrategien für Unternehmen, öffentliche Auftraggeber und internationale Organisationen entwickelt.

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

Henric Petri-Str. 9

CH - 4010 Basel

Telefon +41 61 32 73-200

Telefax +41 61 32 73-300

info@prognos.com

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85

D - 10623 Berlin

Telefon +49 30 520059-200

Telefax +49 30 520059-201

Prognos AG

Schwanenmarkt 21

D - 40213 Düsseldorf

Telefon +49 211 887-3131

Telefax +49 211 887-3141

Prognos AG

Sonnenstraße 14

D - 80331 München

Telefon +49 89 515146-170

Telefax +49 89 515146-171

Prognos AG

Wilhelm-Herbst-Straße 5

D - 28359 Bremen

Telefon +49 421 2015-784

Telefax +49 421 2015-789

Prognos AG

Avenue des Arts 39

B - 1040 Brüssel

Telefon +32 2 51322-27

Telefax +32 2 50277-03

Prognos AG

Friedrichstraße 15

D - 70174 Stuttgart

Telefon +49 711 490 39-745

Telefax +49 711 490 39-640

Internet

www.prognos.com

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Aufgabenstellung und Vorgehen	2
2 Ausbaupfad erneuerbare Energien gemäß BEE-Branchenprognose	4
2.1 Strom	4
2.2 Wärme	6
2.3 Biokraftstoffe	8
3 Entwicklung spezifischer Anlagenkosten erneuerbarer Energien	10
3.1 Methodische Vorbemerkungen	10
3.2 Strom	11
3.3 Wärme	17
3.4 Biokraftstoffe	21
4 Ergebnisse	24
4.1 Strom	24
4.2 Wärme	26
4.3 Biokraftstoffe	28
4.4 Gesamtergebnisse	30
4.5 Vergleich der Investitionen mit der BMU Leitstudie 2009	31
5 Definition von Forschungsfragen	33
Anhang – Tabellen	36
Anhang – Liste der Fachgespräche	40
Anhang – Literaturliste	41

Abbildungen

Abbildung 1:	Jährlicher Zubau an erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten entsprechend des BEE-Branchenprognose	6
Abbildung 2:	Jährlicher Zubau an erneuerbaren Wärmeerzeugungskapazitäten entsprechend des BEE-Branchenprognose	7
Abbildung 3:	Jährlicher Zubau an Biokraftstoffkapazitäten entsprechend der BEE-Branchenprognose	8
Abbildung 4:	Spezifische Anlagenkosten erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten	17
Abbildung 5:	Spezifische Anlagenkosten erneuerbarer Wärmeerzeugungskapazitäten	21
Abbildung 6:	Spezifische Anlagenkosten von Biokraftstoffkapazitäten	23
Abbildung 7:	Investitionsvolumen in erneuerbare Stromerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	24
Abbildung 8:	Kumuliertes Investitionsvolumen in erneuerbare Stromerzeugungs- techniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	25
Abbildung 9:	Investitionsvolumen in erneuerbare Wärmeerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	26
Abbildung 10:	Kumuliertes Investitionsvolumen in erneuerbare Wärmeerzeugungs- techniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	27
Abbildung 11:	Investitionsvolumen in Biokraftstoffanlagen entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	28
Abbildung 12:	Kumuliertes Investitionsvolumen in Biokraftstoffanlagen entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	29
Abbildung 13:	Jährliches Investitionsvolumen in Erneuerbare entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	30
Abbildung 14:	Kumuliertes Investitionsvolumen in Erneuerbare entsprechend dem BEE-Ausbauszenario	31
Abbildung 15:	Vergleich der Investitionen in Erneuerbare zwischen der BMU Leitstudie 2009 und der BEE-Ausbauprognose	32

Tabellen

Tabelle 1:	Ausbaupfad der erneuerbaren Energien gemäß BEE-Branchenprognose bis zum Jahr 2020	36
Tabelle 2:	Spezifische Anlagenkosten der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020	37
Tabelle 3:	Investitionen in den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland von 2010 bis 2020	38
Tabelle 4:	Investitionen in den Anlagenausbau erneuerbarer Strom-, Wärme- und Kraftstoffanlagen in Deutschland von 2010 bis 2020	39

Zusammenfassung

(1) Die Prognos AG erhielt im Februar 2010 den **Auftrag** seitens des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e. V. (BEE), eine **Expertise** zur Ermittlung der Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland bis zum Jahr 2020 zu erstellen. Grundlage der Untersuchung ist die Branchenprognose des BEE aus dem Jahr 2009.

(2) Gemäß der **Branchenprognose** des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e.V. (BEE) können in Deutschland bis zum Jahr 2020 rund 47 % des Stromverbrauchs sowie 25 % des Wärmeverbrauchs und 19 % des Energieverbrauchs im Verkehrssektor durch erneuerbare Energieträger gedeckt werden.

(3) Die **spezifischen Anlagenkosten** der erneuerbaren Energieträger (also die Kosten je Anlage bzw. Leistungseinheit) werden bis zum Jahr 2020 aufgrund von Lernkurveneffekten überwiegend sinken, teilweise auch deutlich. In wenigen Fällen erwartet Prognos eine leichte Steigerung der Kosten.

(4) Das jährliche **Investitionsvolumen**, das durch die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung von Strom, Wärme und im Verkehrssektor aus erneuerbaren Energieträgern gemäß BEE-Prognose in Deutschland ausgelöst wird, dürfte sich von 13,5 Mrd. EUR im Jahr 2010 auf knapp 29 Mrd. EUR im Jahr 2020 in etwa verdoppeln.

(4) In Summe sind bis zum Jahr 2020 mit dem BEE-Branchenszenario **kumulierte Investitionen** von rund **235 Mrd. EUR** verbunden.

(5) In der Expertise werden **offene Fragen** formuliert, die für einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energieträger zu klären sind. Hierzu zählt u.a. die Integration der erneuerbaren Energieträger in die Stromnetze.

1 Aufgabenstellung und Vorgehen

(1) Der Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) veröffentlichte im Jahr 2009 eine **Branchenprognose**, der zufolge in Deutschland bis zum Jahr 2020 47 % der Stromversorgung durch erneuerbare Energieträger gedeckt wird. Auch im Wärme- und Verkehrsbereich wird demnach durch eine konsequente Förderpolitik der Anteil erneuerbarer Energieträger deutlich gesteigert. Bei der BEE-Ausbauprognose handelt es sich nicht um eine Prognose im Sinne einer Referenzentwicklung, sondern um ein **Zielszenario**. Der Verband selbst spricht in diesem Zusammenhang von einem „Investitionsangebot“, das die Politik durch entsprechende Fördermaßnahmen ermöglichen kann.

Eine solche Marktdurchdringung der erneuerbaren Energien setzt einen **Systemumbau der Energiewirtschaft** voraus, der viele Bereiche des Energiesystems tangiert. So ist die Frage der Netzeinspeisung des erneuerbar erzeugten Stroms ebenso zu beantworten wie die der Regel- und Reserveenergie bei hohen Anteilen volatiler Energieerzeugung. Aus Sicht der Volkswirtschaft stellen sich Fragen hinsichtlich der wirtschaftlichen Effekte (Beschäftigung, Bruttowertschöpfung) des Systemumbaus.

(2) Diese Expertise konzentriert sich auftragsgemäß darauf, das **Investitionsvolumen** in erneuerbare Energieerzeugungsanlagen abzuschätzen, welches mit einem beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien gemäß der BEE-Branchenprognose in Deutschland verbunden wäre. Dabei werden die **Bereiche Strom, Wärme und Verkehr** unterschieden. Zur Berechnung der Anlagenkosten hat der BEE Prognos die jährlichen Zubauzahlen an erneuerbaren Energieerzeugungstechniken entsprechend der Branchenprognose geliefert.

(3) Anhand von **öffentlichen Statistiken** (z.B. von der Internationalen Energieagentur IEA, BMU etc.) ermittelt Prognos die spezifische Kostenentwicklung der erneuerbaren Energieträger bis zum Jahr 2020. Ergänzt wurde dieses Vorgehen durch mehrere **Fachgespräche** mit Branchenvertretern (vgl. Anhang – Liste der Fachgespräche). Darüber hinaus hat Prognos eigene plausible **Abschätzungen** getroffen, wo dies notwendig war.

(4) Anhand des jährlichen Zubaus an erneuerbaren Energieträgern und der entsprechenden spezifischen Anlagenkosten wird anschließend das **Investitionsvolumen** ermittelt. Ausgewiesen werden preisbereinigte Werte (in der Regel Mio. €₂₀₀₅).

(5) Im obigen Absatz wurde bereits auf die Notwendigkeit des Systemumbaus hingewiesen. Dieser verlangt nach Antworten auf eine Reihe von **Forschungsfragen**, die in dieser Kurzstudie nicht untersucht werden konnten. In einem abschließenden Kapitel werden diese aber benannt.

2 Ausbaupfad erneuerbare Energien gemäß BEE-Branchenprognose

Im Oktober 2009 hat der Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. mit der Studie „**Wege in die moderne Energiewirtschaft**“ die Ausbauprognose der Erneuerbaren-Energien-Branchen vorgestellt. Bestandteil dieser Untersuchung waren die Teilprognosen „Stromversorgung 2020“ (Stand Frühjahr 2009), „Wärmeversorgung 2020“ und „Verkehr 2020“ (Stand Herbst 2009). Demnach werden die Erneuerbaren Energien im Jahr 2020 rund 28 % des deutschen Energieverbrauchs abdecken – im Stromsektor liegt der Anteil bei rund 47 %, im Wärmebereich bei ca. 25 % und im Verkehrssektor bei etwa 18 %. Im Folgenden wird der jährliche Zubau an erneuerbaren Kapazitäten für die einzelnen Bereiche gemäß der BEE-Studie dargestellt (vgl. auch Tabelle 1 im Anhang).

2.1 Strom

(1) Die **installierte Leistung** und die erzeugte Strommenge aus Erneuerbaren werden sich bis zum Jahr 2020 gegenüber 2007 fast verdreifachen. Rund 111 GW erneuerbare Leistung werden dann in Deutschland installiert sein. Die erneuerbaren Energieträger werden somit zu einem prägenden Element des Stromversorgungssystems.

Rund zwei Drittel der Stromerzeugung aus Erneuerbaren werden dann durch die Wind- und Sonnenenergie erbracht. Der **jährliche Zubau** an erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten wird hauptsächlich auch durch diese beiden Energieträger bestimmt.

(2) **Windenergieleistung** trägt am stärksten zu diesem Ausbau bei. So steigt der jährliche Zubau von rund 2.250 MW_{el} im Jahr 2010 auf rund 5.600 MW_{el} im Jahr 2020. Onshore-Windanlagen haben an der installierten Leistung einen Anteil von rund 80 %.

(3) Die jährlich installierte **PV-Leistung** steigt im Betrachtungszeitraum von rund 1.500 MW_p (Annahme für das Jahr 2010) auf rund 5.000 MW_p im Jahr 2020. Insgesamt werden im Jahr 2020 fast 40 GW_p an PV-Leistung installiert sein. Eine besondere Dynamik wird hier in der BEE-Ausbauprognose ab Mitte des Jahrzehnts erwartet. Der BEE geht davon aus, dass zu diesem Zeitpunkt die sogenannte Netzparität erreicht sein wird.

Kasten 1

Die Bundesnetzagentur hat am 9. April 2010 die Daten der im Jahr 2009 in Betrieb genommenen EEG-Anlagen veröffentlicht. Demnach wurden in Deutschland im Jahr 2009 bereits rund 3.800 MW PV-Leistung neu in Betrieb genommen. Diese Zahlen konnten dem BEE zum Zeitpunkt der Erstellung der Branchenprognose (Anfang 2009) noch nicht vorliegen. Somit übertraf die Installation im Jahr 2009 bereits die Prognosewerte für 2010 und der Folgejahre. Es ist allerdings unklar, ob das hohe Niveau, das teilweise aufgrund von Vorzieh-Effekten realisiert wurde, in den Folgejahren zu halten ist. Generell ist auch vorstellbar, dass die Installationszahlen sich aufgrund der Absenkung der Einspeisevergütung auf ein niedrigeres Niveau einpendeln. Dies wurde aber im Rahmen der vorliegenden Expertise nicht untersucht. Im Folgenden wird ausschließlich die BEE-Branchenprognose in ihrer ursprünglichen Form zugrundegelegt.

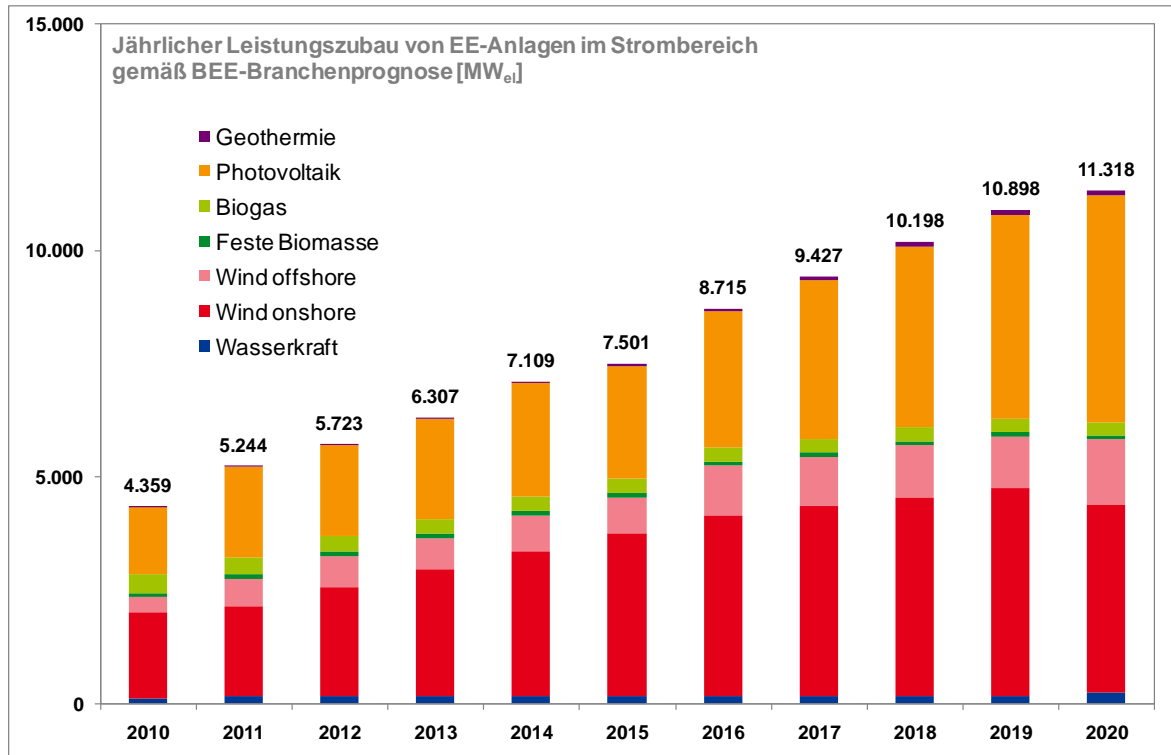
(4) Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie spielen eine geringere Rolle beim jährlichen Zubau der erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten.

Die Erneuerbaren-Energien-Branche rechnet mit einem Anstieg der installierten **bioenergetischen Leistung** auf rund 9,3 GW_{el}. Im Jahr 2007 lag die installierte Leistung bei etwa 4,1GW_{el}. Den größten Anteil beim jährlichen Zubau im Bereich der Bioenergie stellt Biogas.

Die BEE-Ausbauprognose geht auch für die **Wasserkraft** von einem Zuwachs an Leistung aus. So steigt die installierte Leistung in diesem Bereich von rund 4,7 GW_{el} im Jahr 2007 auf 6,5 GW_{el} im Jahr 2020. Investitionen in große Wasserkraftwerke gewinnen durch steigende fossile Energieträgerpreise an Attraktivität. Ökonomische Anreize im Erneuerbaren-Energien-Gesetz 2009 werden bei der so genannten kleinen Wasserkraft für einen stärkeren Zubau sorgen. Etwaige Konflikte zwischen Naturschutz und Wasserkraftnutzung sind aus Sicht der Erneuerbaren-Energien-Branche lösbar.

Die installierte **geothermische Leistung** steigt laut der BEE-Ausbauprognose von 7 MW_{el} im Jahr 2007 auf rund 600 MW_{el} bis 2020. Der jährliche Zubau wächst kontinuierlich, im Jahr 2020 werden rund 100 MW_{el} geothermische Leistung installiert.

Abbildung 1: Jährlicher Zubau an erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten entsprechend des BEE-Branchenprognose



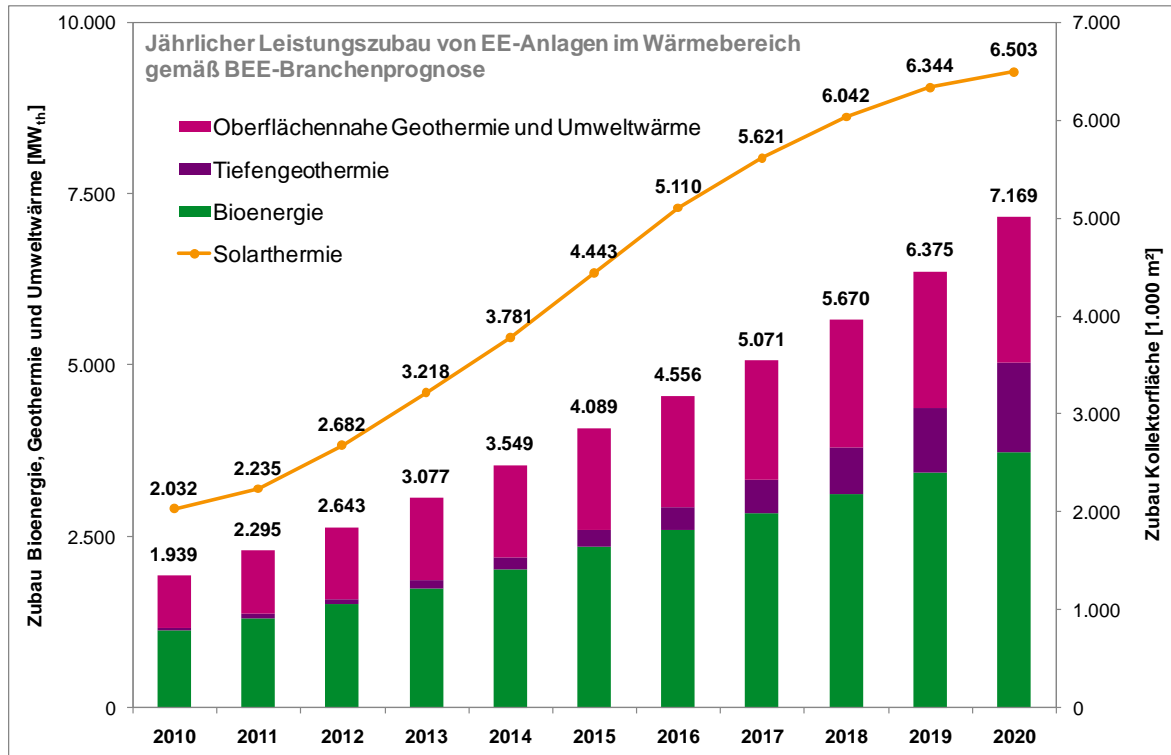
Quelle: Bundesverband Erneuerbarer Energie e.V. (BEE)

2.2 Wärme

(1) Laut der BEE-Branchenprognose sind aktuell lediglich 12 % der Wärmeerzeugungsanlagen in Deutschland auf dem Stand der Technik, d.h. sie verwenden zumindest Brennwertkessel. Einerseits besteht dadurch ein erhebliches Effizienzpotenzial, andererseits haben erneuerbare Heizungssysteme die Möglichkeit, ihren Anteil in Zukunft deutlich zu steigern. Bei einer Erschließung dieses Modernisierungspotenzials werden die Erneuerbaren entsprechend der BEE-Ausbauprognose rund 25 % zur Wärmeversorgung in Deutschland beitragen.

(2) Biogene **Feststoffe** dominieren das **Bioenergie**-Wärmeaufkommen. In den Haushalten kommt es bis zum Jahr 2020 zu einem schnell wachsenden Einsatz von Pelletheizungen. Es wird zudem davon ausgegangen, dass bis 2020 ein Anteil von rund 40 % der alten Holzheizungen durch moderne und effizientere Anlagen ersetzt wird.

Abbildung 2: Jährlicher Zubau an erneuerbaren Wärmeerzeugungskapazitäten entsprechend des BEE-Branchenprognose



Quelle: Bundesverband Erneuerbarer Energie e.V. (BEE)

(3) Auch der Beitrag der **Solarenergie** zur Wärmeerzeugung wird deutlich steigen. Derzeit sind in Deutschland mehr als 11 Mio. m² solarthermischer Kollektorfläche (entspricht rund 7.900 MW) installiert. Im Jahr 2008 lag der Zubau bei über 2 Mio. m². Die BEE-Ausbauprognose geht von einem kontinuierlichen Wachstum der jährlich installierten solarthermischen Kollektorfläche aus. Im Jahr 2020 werden demnach über 6,5 Mio. m² installiert. Die kumulierte solarthermische Kollektorfläche in Deutschland beträgt dann rund 60 Mio. m².

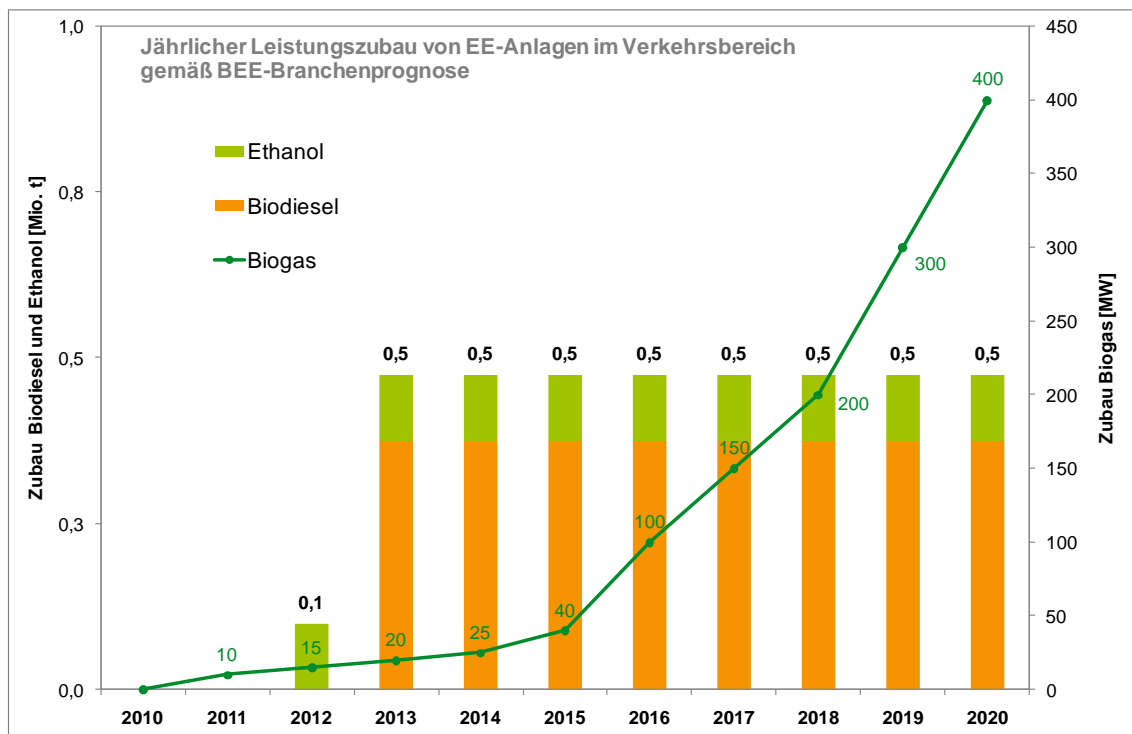
(4) Die **Tiefengeothermie** spielt heute eine untergeordnete Rolle in der Wärmeversorgung. Ihr Anteil wird bis zum Jahr 2020 steigen, wenn auch auf einem relativ geringem Niveau. Der jährliche Zubau gemäß BEE-Ausbauprognose liegt im Jahr 2010 bei rund 40 GW_{th} und steigt bis 2020 auf über 1.300 GW_{th}. Der jährliche Absatz von **Wärmepumpen** wird sich entsprechend der BEE-Branchenprognose bis zum Jahr 2020 gegenüber heute mehr als verdreifachen. Im Jahr 2020 werden rund 200.000 Wärmepumpen abgesetzt, im Jahr 2008 waren es rund 62.500 Wärmepumpen-Anlagen.

2.3 Biokraftstoffe

(1) Im Jahr 2008 ist der Anteil der **Biokraftstoffe** am gesamten deutschen Kraftstoffmarkt auf rund 6 % zurückgegangen, im Jahr 2007 betrug der Anteil noch 7,6 %. Gründe sind abgebaute Steuerbefreiungen und ein Absinken der verpflichtenden Biokraftstoffquote. Derzeit wird nur knapp die Hälfte der bestehenden Kapazitäten zur Biodieselproduktion in Deutschland genutzt.

(2) Die **BEE-Ausbauprognose** geht für das Jahr 2010 von einer Stagnation der Biokraftstoffkapazitäten aus. Ab dem Jahr 2011 erfolgt ein geringfügiger Zubau von **Biogaskapazitäten**. Dieser jährliche Zubau steigert sich von rund 10 MW im Jahr 2011 auf rund 400 MW im Jahr 2020. Die Herstellungskapazitäten für **Biodiesel** lagen Stand 2009 bei rund 5 Mio. Tonnen. Hier geht die BEE-Branchenprognose von einem Zubau der Kapazitäten von insgesamt rund 3 Mio. Tonnen ab dem Jahr 2013 bis 2020 aus. Für **Ethanol** verdoppelt sich laut der BEE-Ausbauprognose die Herstellungskapazität bis zum Jahr 2020, von heute rund 0,85 Mio. Tonnen auf dann 1,75 Mio. Tonnen.

Abbildung 3: Jährlicher Zubau an Biokraftstoffkapazitäten entsprechend der BEE-Branchenprognose



Quelle: Bundesverband Erneuerbarer Energie e.V. (BEE)

(3) Die detaillierten **Zubauzahlen der erneuerbaren Energien** entsprechend der BEE-Ausbauprognose für die Bereiche Strom, Wärme und Biokraftstoffe finden sich im Anhang in der Tabelle 1.

3 Entwicklung spezifischer Anlagenkosten erneuerbarer Energien

3.1 Methodische Vorbemerkungen

(1) Die Ermittlung und Verifizierung der spezifischen Anlagenkosten erfolgt durch ein mehrstufiges Verfahren. In der Regel werden die spezifischen Anlagenkosten preisbereinigt ausgewiesen ($\text{€}_{2005}/\text{kW}$, $\text{€}_{2005}/\text{m}^2$, $\text{€}_{2005}/\text{Mio. t}$).

(2) Im ersten Schritt erfolgte eine **Literaturlauswertung**, dazu wurden vorhandene Statistiken und Studien über die Kostenentwicklung erneuerbarer Energieträger analysiert. Bestandteil waren internationale Quellen, aber auch die spezielle Kostensituation in Deutschland wurde in verschiedenen Studien betrachtet [UBA 2009/ BMU 2008/ DLR, IFEU, WI 2004]. Die wichtigsten Quellen finden sich im Literaturverzeichnis.

(3) Auf der Basis der BEE-Ausbauprognoze und den Datenlieferungen des unterstellten Zubaus der einzelnen Energieträger wurden die **Erneuerbaren Energien** Windenergie, Wasserkraft, Photovoltaik, Biomasse, Biogas, Solarthermie, Wärmepumpen, Tiefengeothermie und Biokraftstoffe untersucht. Sofern die Branchenprognose keine differenzierten Angaben über einzelne Techniken enthielt, wurden Zusammenfassungen zu sinnvollen Gruppen vorgenommen. Alternativ wurden plausible Annahmen über die Entwicklung im Rahmen der Branchenprognose getroffen, um die Datenbasis der Kostenangaben gemäß Literatur mit dem Mengengerüst der Branchenprognose in Einklang zu bringen. Im Ergebnis dieses Arbeitsschrittes erfolgte eine Darstellung der spezifischen Anlagenkosten je Energieart gemäß Literatur.

(4) Parallel dazu wurden **Fachgespräche mit Branchenvertretern** geführt und deren Einschätzung zur Entwicklung der spezifischen Anlagenkosten erfragt. Eine Liste der geführten Fachgespräche findet sich im Anhang. Diese Gespräche dienten insbesondere dazu, die Literaturangaben aktuell zu verifizieren und wo nötig gegebenenfalls zu ergänzen.

(5) Sofern Literatur und Fachgespräche noch nicht zu einem vollständigen Bild bei den spezifischen Kosten geführt haben, wurden etwaige Datenlücken mit **plausiblen Annahmen** durch Prognose gefüllt.

3.2 Strom

(1) Im Folgenden werden die spezifischen Anlagenkosten für erneuerbare Stromerzeugungsanlagen näher beschrieben. In der Regel wird pro Energieträger eine kurze Übersicht der Literaturliteraturanalyse gegeben, anschließend kurz die wichtigsten Ergebnisse der Fachgespräche erläutert und abschließend die Prognos-Synthese dargestellt.

Windenergie onshore

(2) Die **Literaturliteraturauswertung** für die spezifischen Anlagenkosten der Windenergie ergab ein relativ einheitliches Bild. Demnach lagen die Anlagenkosten im Jahr 2005 zwischen 1.115 €/kW und 1.295 €/kW. Sowohl die BMU Leitstudie 2008 als auch die Studie Energy Revolution 2008 (Greenpeace) geht von sinkenden spezifischen Anlagenkosten aus, in beiden Studien gehen die Anlagenkosten um rund 22 % zwischen den Jahren 2005 und 2020 zurück [UBA 2009].

(3) In den letzten Jahren sind die Kosten für Windenergieanlagen aufgrund höherer Materialkosten gestiegen. Dies wurde auch im **Fachgespräch** bestätigt. Entsprechend einer Abfrage des Bundesverbands Windenergie bei Verbandsmitgliedern liegen die durchschnittlichen Anlagenkosten einer Onshore-Windkraftanlage derzeit bei rund 1.100 €/kW. Für die Kostenentwicklung bis zum Jahr 2020 wird entscheidend sein, in wieweit die Herstellerkapazitäten der Anlagenbauer mit der Nachfrage nach Windkraftanlagen mithalten können. Andererseits ist damit zu rechnen, dass insbesondere Anlagenbauer aus China in Zukunft mit neuen Anlagen auf den Markt drängen, was sich insgesamt kostenmindernd auswirken dürfte. In Summe wird beim Bundesverband Windenergie auch von einem leichten Rückgang der spezifischen Anlagenkosten auf rund 1.000 €/kW bis zum Jahr 2020 ausgegangen.

(4) Für die Berechnung der Investitionen gehen wir von durchschnittlichen Anlagenkosten von rund 1.100 €/kW im Jahr 2010 aus, welche sich kontinuierlich bis zum Jahr 2020 verringern. Im Ergebnis liegen diese dann bei rund 1.000 €/kW im Jahr 2020.

Windenergie offshore

(5) Bei der offshore-Windenergie spielt der Standort der Windkraftanlagen (küstennah oder küstenfern) eine entscheidende Rolle. In der IEA-Studie Energy Technology Perspectives 2008 liegen die spezifischen Kosten zwischen 1.700 €/kW und 2.220 €/kW. Hier sinken die Kosten bis zum Jahr 2020 auf rund

1.260 €/kW bis 1.700 €/kW. Die Publikation Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland [DLR, IFEU, WI 2004] geht von einem Rückgang der spezifischen Anlagenkosten für küstenferne Standorte von 2.486 €/kW auf 1.067 €/kW im Jahr 2020 aus. Die BMU Leitstudie 2008 (2.800 €/kW im Jahr 2007) und die Studie Energy Revolution 2008 (3.000 €/kW im Jahr 2005) sehen aktuell deutlich höhere Anlagenkosten für offshore-Windkraftanlagen. Bis zum Jahr 2020 rechnet die BMU-Leitstudie 2008 mit einer Kostendegression von fast 36 %, die Greenpeace-Studie geht von einem Rückgang um rund 31 % aus [UBA 2009].

(6) Im **Fachgespräch** mit dem Bundesverband Windenergie wurde deutlich, dass der Markt für Offshore-Windkraftanlagen derzeit noch nicht so ausgebaut ist wie für Onshore-Anlagen. Dementsprechend schwierig ist die Aussage über die Kostenentwicklung. Derzeit liegen die Anlagenkosten bei rund 3.500 €/kW. Da bis zum Jahr 2020 in Deutschland nur eine Offshore-Leistung von rund 10.000 MW installiert wird, wird in der Branche nicht von einem Rückgang der Kosten unter 3.000 €/kW ausgegangen.

(7) Aufgrund des international geplanten starken Ausbaus der Offshore-Windkraft geht Prognos von einem Sinken der Anlagenkosten aus. Für die Offshore-Windenergie rechnen wir mit einem Rückgang der spezifischen Anlagenkosten zwischen den Jahr 2010 und 2020 von fast 30 %. Im Jahr 2020 werden laut unseren Annahmen die spezifischen Anlagenkosten bei rund 2.500 €/kW liegen.

Wasserkraft

(8) Die Anlagenkosten werden erheblich von den Standortbedingungen und Umweltauflagen bestimmt. Zunehmend schwieriger zu erschließende Ressourcen und zukünftig wachsende Umweltauflagen dürften somit die zum Teil noch vorhandenen Kostensenkungspotenziale zumindest kompensieren. In der **Literatur** wird deshalb von zukünftig unveränderten realen Kosten für die Wasserkraft ausgegangen, zum Teil wird sogar aufgrund der beschriebenen Gründe mit deutlich steigenden spezifischen Anlagenkosten gerechnet.

Die Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ [DLR, IFEU, WI 2004] nennt Anlagenkosten für den Neubau in Abhängigkeit von der Anlagengröße von 8.600 €/kW (70 kW-Wasserkraftanlage) bis 4.600 €/kW (100 MW-Wasserkraftanlage), diese Studie geht von real konstanten Kosten aus.

Die international angelegte IEA-Studie „Energy Technology

Perspectives 2008“ geht von einer Spannbreite bei aktuellen spezifischen Anlagenkosten von rund 750 €/kW (große Anlagen) bis ca. 5.200 €/kW (kleine Anlagen) aus.

Die UBA-Studie („Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply“) nennt für die Greenpeace-Publikation „Energy Revolution“ 2008 spezifische Anlagenkosten von heute durchschnittlich 2.200 €/kW. Demnach steigen die Kosten bis zum Jahr 2020 real um rund 11 %. Für die BMU Leitstudie 2008 werden Anlagenkosten von 1.950 €/kW (Anlagen > 1MW) bis 3.450 €/kW (kleine Anlagen < 1 MW) angegeben. Für kleine Wasserkraftanlagen steigen die spezifischen Anlagenkosten demnach um rund 23 %, bei Großanlagen beträgt der Anstieg bis zum Jahr 2020 rund 13 %.

(9) Mit entscheidend bei den spezifischen Anlagenkosten der Wasserkraft ist die Art und Weise des Zubaus der Kapazitäten. Hierbei lassen sich grundsätzlich folgende Kategorien unterscheiden: Modernisierung der Anlage, Neubau der Anlage oder Reaktivierung der Anlage. Grundsätzlich gilt die Faustregel, dass größere Anlagen spezifisch günstigere Anlagenkosten haben und dass eine Modernisierung mit Kapazitätserweiterung kostengünstiger als ein entsprechender Neubau ist. Im Folgenden wird die Anlagenkostenentwicklung für den angenommenen Durchschnitt dargestellt.

Laut Aussage des Bundesverbands Deutscher Wasserkraftwerke wird der Zubau bis zum Jahr 2020 bei kleinen Anlagen (< 5 MW) zu jeweils rund einem Drittel durch Neubau, Modernisierung und Reaktivierung erfolgen. Bei den größeren Anlagen (> 5 MW) basiert der Zubau zu rund zwei Drittel auf der Modernisierung und zu rund einem Drittel auf dem Neubau von Wasserkraftwerken. Der in der BEE-Ausbauprognose dargestellte Zubau an installierter Wasserkraft erfolgt zu fast 80 % in Anlagen über 5 MW.

Die Anlagenkosten schwanken sehr stark in Abhängigkeit der individuellen Gegebenheiten. Je nach Art des Zubaus (Neubau oder Modernisierung, maschinen- oder bautechnische Modernisierung etc.) liegen die spezifischen Anlagenkosten entweder knapp unter 1.000 €/kW (z.B. Modernisierung mittlerer Anlagen) oder sogar über 10.000 €/kW (z.B. Neubau kleiner Wasserkraftanlagen). Laut Expertenmeinung ist aufgrund der Pflicht zur „ökologischen Modernisierung“ bzw. zum „ökologischen Neubau“ mit grundsätzlich steigenden Anlagenkosten zu rechnen, diese Kostensteigerung wird sich allerdings im Rahmen halten.

(10) Aufgrund der Literaturlauswertung und den gewonnenen Erkenntnissen aus den Fachgesprächen gehen wir von gewichteten durchschnittlichen Anlagenkosten für Wasserkraft, der Zubau erfolgt zum Großteil in Wasserkraftwerken über 5 MW, von rund 2.460 €/kW für das Jahr 2010 aus. Für die Zukunft unterstellen wir

aufgrund der zunehmenden ökologischen Anforderungen eine Steigerung der Anlagenkosten ausgehend vom Jahr 2005 bis zum Jahr 2020 um rund 5 %.

Photovoltaik

(11) Die Photovoltaik besitzt auch in Zukunft erhebliche Kostensenkungspotenziale. In der **Literatur** für die Kostenentwicklung von PV-Anlagen häufig eine Lernkurve von rund 20 % genannt.

Die Studie [DLR, IFEU, WI 2004] basierend auf länger zurückliegenden Ist-Werten sieht die spezifischen PV-Anlagenkosten für das Jahr 2010 zwischen 3.780 €/kW (2 kW-Anlage) und 2.830 €/kW (500 kW-Anlage). Für beide Anlagengrößen sinken die spezifischen Anlagenkosten bis zum Jahr 2020 um rund 44 % auf dann rund 2.120 €/kW bzw. 1.590 €/kW.

Für die wesentlich ambitionierteren Ausbaupfade der BMU Leitstudie 2008 und der Greenpeace-Studie Energy Revolution 2008 ist eine spezifische Kostensenkung zwischen den Jahren 2010 und 2020 von rund 56 %. In der BMU-Leitstudie sinken die Anlagenkosten von 2.950 €/kW im Jahr 2010 auf 1.300 €/kW im Jahr 2020. Die Studie Energy Revolution 2008 geht von einer ähnlichen Kostendegression von 3.000 €/kW (2010) auf 1.320 kW (2020) aus.

Die IEA nennt in ihrer Studie „Energy Technology Perspectives 2008“ für PV-Anlagen einen aktuellen spezifischen Kostensatz von 2.800 €/kW bis 3.250 €/kW.

(12) Entsprechend dem **Preisindex des Bundesverbandes Solarwirtschaft** liegen die durchschnittlichen spezifischen Kosten für PV-Anlagen in Abhängigkeit der Größe der Anlage derzeit zwischen 2.860 €/kW und 3.060 €/kW. Es ist davon auszugehen, dass es bis zum Jahr 2020 ein EEG-Gesetz gibt, welches den grundlegenden Rahmen auch für die Kostendegression vorgibt. Demnach ergeben sich aus dem **Fachgespräch** im Jahr 2020 durchschnittliche spezifische Anlagenkosten für PV-Anlagen zwischen 1.460 €/kW und 1.560 €/kW.

(13) Prognos hat im Sinne eines „best guess“ eine eigene Abschätzung vorgenommen, welche Kostenannahmen wir für realistisch halten. Demnach gehen wir von einer Kostendegression von heute rund 3.000 €/kW auf rund 1.500 €/kW im Jahr 2020 aus.

Bioenergie

(14) Im Folgenden wird zwischen fester Biomasse und Biogas unterschieden. Mit steigenden Anlagengrößen sinken die spezifischen Kosten deutlich. Grundlegend wird in der **Literatur** von einer leichten Kostendegression bis zum Jahr 2020 ausgegangen.

Für feste **Biomasse** nennt die Studie [DLR, IFEU, WI 2004] abhängig von der Anlagengröße spezifische Kosten zwischen 4.150 €/kW (Holz 1 MW) und 2.035 €/kW (Holz 20 MW). Diese sinken leicht bis zum Jahr 2020 um insgesamt rund 1,5 %. Die BMU Leitstudie 2008 zeigt Anlagenkosten für Biomassekraftwerke (Anlagengröße 10 bis 20 MW) von rund 5.590 €/kW für das Jahr 2005, diese werden bis zum Jahr 2020 auf rund 2.320 €/kW sinken [UBA 2009]. In der Studie [Employ RES 2009] finden sich spezifische Anlagenkosten für Biomassekraftwerke von 2.225 €/kW bis 2.530 €/kW für das Jahr 2005.

Für **Biogas** nennt die gleiche Studie in Abhängigkeit vom Anlagentyp (Deponie- oder Klärgas) aktuelle spezifische Anlagenkosten zwischen 1.280 €/kW und 3.400 €/kW. Die spezifischen Anlagenkosten für Biogas-Blockheizkraftwerke liegen entsprechend der Studie [DLR, IFEU, WI 2004] für das Jahr 2010 zwischen 1.780 €/kW und 5.345 €/kW. Entsprechend dieser Studie kommt es für die Anlagen bis zum Jahr 2020 zu einer Kostendegression von knapp 5 % bis zum Jahr 2020.

(15) Aus den **Fachgesprächen** ergaben sich für den Bereich der Stromerzeugung aus Bioenergie insbesondere für Biogas zusätzliche Hinweise auf die Kostenentwicklung. Derzeit liegen (nicht verifiziert) die Anlagenkosten zwischen 3.500 €/kW und 4.000 €/kW. Zudem werden sich steigende Sicherheitsauflagen kostensteigernd auswirken. Stark abhängig sind die Anlagenkosten auch von der allgemeinen Weltmarktlage, insbesondere den vorherrschenden Stahl- und Betonpreisen sowie dem aktuellen Energiepreisniveau. Der KWK-Anteil der zugebauten Bioenergieanlagen ist relativ hoch.

(16) Prognos schätzt im Jahr 2010 die spezifischen Anlagenkosten je nach Anlagengröße für Biomasse auf rund 2.500 €/kW bis 4.150 €/kW. Für Biogas liegen die Anlagenkosten zwischen 2.375 €/kW und 5.350 €/kW. Bis zum Jahr 2020 gehen wir trotz einiger kostentreibender Einflussfaktoren aufgrund von Effizienzgewinnen von einem durchschnittlichen Rückgang der inflationsbereinigten (realen) spezifischen Anlagenkosten von rund 5 % aus.

Geothermie

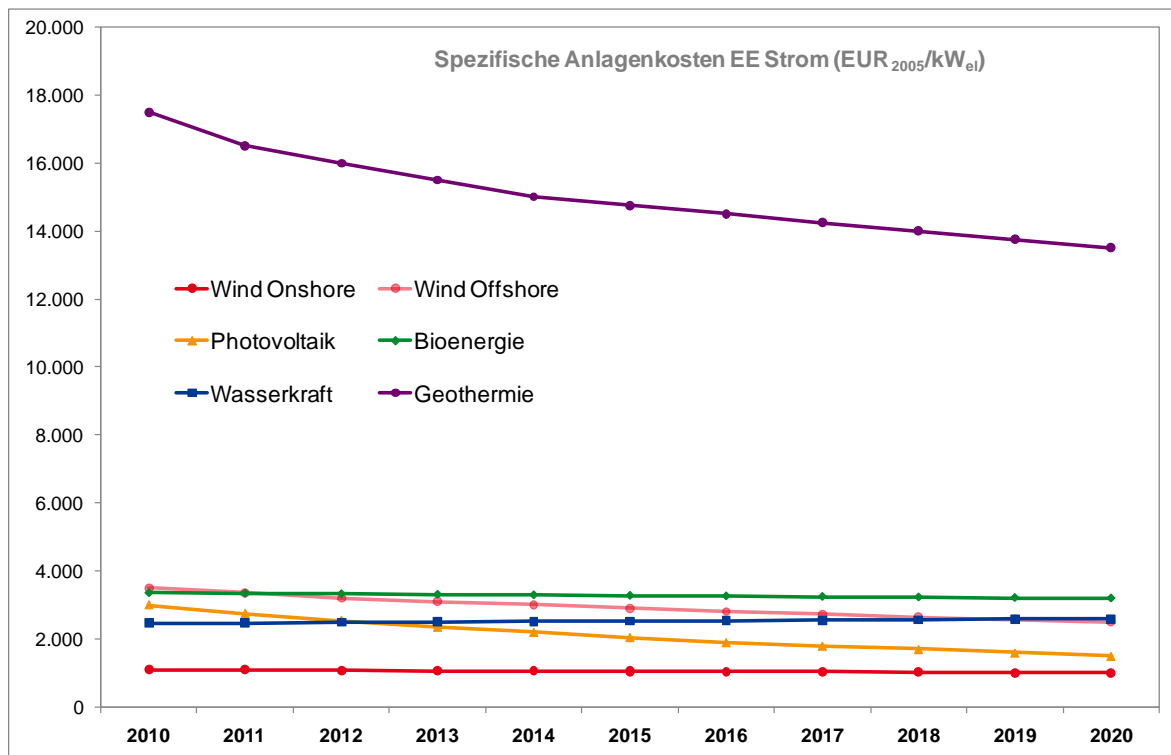
(17) In der **Literatur** findet sich eine große Spannweite der Anlagenkosten für die geothermische Stromerzeugung. [IEA 2008] nennt aktuelle weltweite Kostenangaben von rund 1.260 €/kW bis 11.110 €/kW, abhängig vom Typ und den geologischen Gegebenheiten. In der Studie [UBA 2009] werden heutige Anlagenkosten von 14.000 €/kW (Greenpeace Revolution) und 14.500 €/kW (BMU Leitstudie 2008) genannt. Zudem finden sich einzelne Projektdokumentationen, in denen von Anlagenkosten von über 20.000 €/kW die Rede ist.

(18) Ergebnisse des **Fachgesprächs** mit dem Bundesverband Geothermie: Die Anlagenkosten für die Tiefengeothermie sind sehr stark vom jeweiligen Standort abhängig. Einen entscheidenden Kostenfaktor bilden die **Bohrkosten**. Die Höhe der Bohrkosten kann aufgrund der Abhängigkeit zum Ölpreis sehr stark schwanken, es ist eine Schwankungsbreite von bis zu 100 % möglich. Eine geringere Ölnachfrage wirkt sich insgesamt günstiger auf die Bohrkosten für die Geothermie aus, da dann diese Anlagenbetreiber nicht voll ausgelastet sind und versuchen, ihre Bohranlagen in der Geothermie unterzubringen. Die Anlagenkosten für die Tiefengeothermie sind deshalb sehr schwer zu beziffern.

(19) Im Ergebnis geht Prognos für die Stromerzeugung aus Tiefengeothermie von einem Rückgang der spezifischen Anlagenkosten von rund 17.500 €/kW im Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 von rund 23 % auf dann rund 13.500 €/kW aus. Die Größenordnung der zur Rechnung herangezogenen spezifischen Anlagenkosten orientiert sich damit eher an dokumentierten vorliegenden Geothermie-Projekten als an Literaturwerten.

(20) Die folgende **Abbildung** fasst die durch Prognos angenommenen spezifischen Anlagenkosten für die einzelnen erneuerbaren Energieträger zusammen. Die deutlichsten Kostendegressionen ergeben sich für Geothermie, PV-Anlagen und die Offshore-Windenergieanlagen.

Abbildung 4: Spezifische Anlagenkosten erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten



Quelle: Prognos AG

3.3 Wärme

(1) Im Folgenden werden die spezifischen Anlagenkosten für erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen näher beschrieben. In der Regel wird pro Energieträger eine kurze Übersicht der Literaturanalyse gegeben, anschließend kurz die wichtigsten Ergebnisse der Fachgespräche erläutert und abschließend die Prognos-Synthese dargestellt.

Bioenergie

(2) Für **Pelletheizungen** weist die Studie [DLR, IFEU, WI 2004] für eine Anlagengröße von 10 kW für das Jahr 2010 spezifische Anlagenkosten von 700 €/kW aus. Bis zum Jahr 2020 sinken diese auf rund 660 €/kW. Die IEA-Studie „Renewables for Heating and Cooling“ weist eine sehr große Spannbreite für Pelletheizungen von 250 €/kW bis 1.000 €/kW aus.

Für **Holzhackschnitzel**-Heizungen sind in der Studie [DLR, IFEU, WI 2004] spezifische Kosten abhängig von der Anlagengröße zwischen 435 €/kW (Anlagengröße 5 MW) und 675 €/kW (Anlagengröße 25 kW) für das Jahr 2010 angegeben. Bis zum Jahr 2020

sinken diese Anlagenkosten nur unwesentlich auf 430 €/kW bzw. 660 €/kW.

Die BMU Leitstudie 2008 weist spezifische Anlagenkosten für **Biomasseheizungen** (10 kW bis 15 kW) von 790 €/kW, die sich bis zum Jahr 2020 auf rund 750 €/kW verringern. Für größere Biomasseheizungen (1 MW bis 10 MW) werden die Anlagenkosten mit 650 €/kW (Jahr 2005) und 500 €/kW (Jahr 2020) angegeben [UBA 2009].

(3) Ergebnis des **Fachgesprächs** mit dem Deutschen Energieholz- und Pelletverband war, dass die derzeitigen spezifischen Anlagenkosten etwas über 1.000 €/kW liegen. Im Bereich der privaten Pelletheizungen ist davon auszugehen, dass aufgrund der stark ansteigenden Zubauzahlen dieser Anlagen die Anlagenkosten durch die im Rahmen der Massenfertigung entstehenden Rationalisierungsgewinne um 10 % bis 20 % sinken werden.

(4) Im Ergebnis geht Prognos für die Wärmezeugung aus Bioenergie im Durchschnitt von Anlagenkosten im Jahr 2010 von rund 825 €/kW aus, die sich bis zum Jahr 2020 um rund 100 €/kW reduzieren werden.

Solarthermie

(5) In der **Literatur** [IEA 2007] wird für Solarkollektoren für das Jahr 2005 ein Anlagenkostenwert zwischen 240 €/m² und 800 €/m² angegeben. Diese große Spannweite ist abhängig vom Anlagentyp (z.B. Warmwasseranlage, solare Heizungsunterstützung, solare Nahwärme).

In der Studie [DLR, IFEU, WI 2004] ist für das Jahr 2010 eine Spannweite für die solarthermischen spezifischen Anlagenkosten von 390 €/m² bis 725 €/m² angegeben. Hier erfolgt bis zum Jahr 2020 eine Reduktion auf 280 €/m² bis 520 €/m².

Die BMU Leitstudie 2008 geht von einem Rückgang der Anlagenkosten für solarthermische Anlagen von durchschnittlich 615 €/m² im Jahr 2005 auf rund 240 €/m² im Jahr 2020 aus.

(6) Für den Bereich der Solarthermie führt der Bundesverband Solarwirtschaft keinen eigenen Kostenindex.

(7) Die Anlagenkosten in solarthermische Anlagen variieren zwischen den einzelnen Anlagentypen (Warmwasseraufbereitung, solare Heizungsunterstützung, Nahwärme). Entsprechend der BEE-Ausbauprognose werden verstärkt Kombisysteme zum Einsatz kommen. Im Ergebnis gehen wir für die Berechnungen von

durchschnittlichen Anlagenkosten von rund 700 €/m² aus, diese werden sich unserer Einschätzung nach bis zum Jahr 2020 um rund 35 % auf dann ca. 450 €/m² reduzieren.

Geothermie und Umweltwärme

(8) Die spezifischen Anlagenkosten variieren sehr stark in Abhängigkeit der Größe der Anlage. Die Studie [DLR, IFEU, WI 2004] geht von Anlagenkosten zwischen 380 €/kW (20 MW-Anlage) und 2.350 €/kW (2 MW-Anlage) aus. In der Studie [UBA 2009] sind für das Leitszenario 2008 spezifische Anlagenkosten für das Jahr 2005 von rund 720 €/kW veröffentlicht, demnach erfolgt bis zum Jahr 2020 ein Rückgang auf 600 €/kW.

(9) Nach der Literaturrecherche und den Fachgesprächen zur Thematik Geothermie gehen wir von spezifischen Anlagenkosten für reine geothermische Wärmeerzeugungsanlagen von rund 700 €/kW für das Jahr 2010 aus. Bis zum Jahr 2020 werden sich diese auf rund 600 €/kW reduzieren.

(10) In der Folge ist ein **Durchschnittswert für Wärmepumpen** (Sole, Wasser, Luft) angegeben. Es handelt sich dabei um die gewichteten spezifischen Anlagenkosten entsprechend der Zubauzahlen der BEE-Ausbauprognose. Die durchschnittliche Anlagengröße der Wärmepumpen liegt bei rund 12 kW. Zum Vergleich: Die durchschnittliche Größe der Pelletheizungen liegt bei rund 29 kW pro Anlage.

(11) In der **Literatur** findet sich eine große Bandbreite für Anlagenkosten für Wärmepumpen. In [Employ RES 2009] ist beispielsweise eine Bandbreite von 650 bis 1.050 €/kW angegeben, [IEA 2007] nennt als Durchschnittskosten für Wärmepumpen rund 500 €/kW für das Jahr 2005 und geht von einer Absenkung auf 425 €/kW im Jahr 2020 aus. Diese internationalen Literaturquellen setzen wohl geringere Werte als für Deutschland üblich an, so werden für die BMU Leitstudie 2008 in [UBA 2009] durchschnittliche gewichtete Anlagenkosten für Wärmepumpen von rund 1.470 €/kW für das Jahr 2005 genannt. Bis zum Jahr 2020 erfolgt demnach eine Absenkung auf rund 1.310 €/kW.

(12) Dieselbe Größenordnung der spezifischen Anlagenkosten wie in der BMU Studie ergab sich auch in dem **Fachgespräch** mit dem Bundesverband Wärmepumpe. Laut einer brancheninternen Umfrage liegen hier die durchschnittlichen Kosten einer Wärmepumpe aktuell bei rund 1.500 €/kW. Es wird preisbereinigt für die Zukunft kein Preisdämpfungseffekt für Wärmepumpen erwartet.

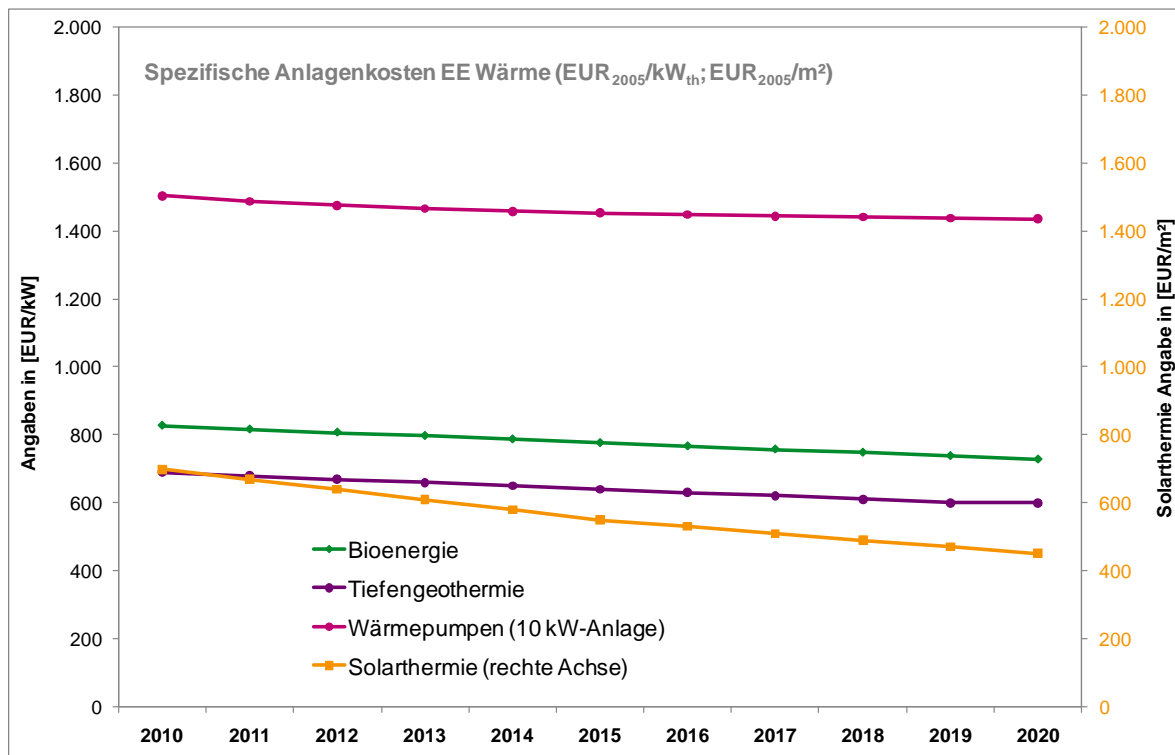
Etwaige Preissenkungen durch entstehende Skaleneffekte stehen größere Entwicklungs- und Dokumentationskosten gegenüber. So werden durch die Politik höhere Effizienzanforderungen gestellt, gleichzeitig steigen damit die Dokumentationsanforderungen für die Hersteller. Dieser Effekt wird auch in Zukunft erwartet, so dass von real stagnierenden Preisen bis zum Jahr 2020 ausgegangen wird. In Summe kommt es aufgrund des steigenden Anteils der relativ preisgünstigeren Luftwärmepumpen im gewichteten Mittel zu einem leichten Rückgang der spezifischen Anlagenkosten für Wärmepumpen.

Im Fachgespräch mit dem Bundesverband Geothermie wurden die Kosten für oberflächennahe Geothermie im Einfamilienhausbereich (inkl. Wärmepumpe) auf rund 2.000 €/kW (inkl. Installation) beziffert. Einerseits werden die Komponenten billiger, andererseits ist der gesamte Installationsprozess nicht komplett zu vereinheitlichen, es ist auch abhängig vom jeweiligen Standort „viel Handarbeit“ notwendig, insbesondere bei den Bohrarbeiten. Zudem sind weitere Entwicklungsaufwendungen notwendig, um die Beständigkeit der Anlagen zu verbessern. Zusätzlich bilden die Umweltauflagen einen erheblichen Kostenfaktor, so dass in Zukunft insgesamt mit eher stagnierenden Anlagenkosten zu rechnen ist.

(13) Der Berechnung liegen durchschnittliche Anlagenkosten für eine Wärmepumpe von heute rund 1.500 €/kW zugrunde. Aufgrund der steigenden Zubauzahlen, welche die Kostensteigerungen in anderen Bereichen überkompensieren, gehen wir insgesamt von einer leichten Kostendegression, aufgrund des höheren Anteils von Luftwärmepumpen, von rund 5 % bis zum Jahr 2020 aus.

(14) Die folgende Abbildung fasst die angenommenen spezifischen Anlagenkosten für die einzelnen erneuerbaren Energieträger (Solarthermie in $\text{€}_{2005}/\text{m}^2$) zusammen. Für die Bioenergieanlagen (Pelletheizungen, Holzhackschnitzel und Prozesswärme) wird in der Abbildung ein entsprechend des Zubaus gewichteter Durchschnittswert abgebildet.

Abbildung 5: Spezifische Anlagenkosten erneuerbarer Wärmeerzeugungskapazitäten



* Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Einheiten (EUR/kW und EUR/m²) sowie unterschiedlicher Anlagengrößen sind die Werte der spezifischen Anlagenkosten nicht direkt vergleichbar.

Quelle: Prognos AG

3.4 Biokraftstoffe

(1) Im Folgenden werden die Annahmen zu den spezifischen Anlagenkosten für Biokraftstoffanlagen erläutert. In der Regel wird pro Energieträger eine kurze Übersicht der Literaturanalyse gegeben, anschließend die wichtigsten Ergebnisse der Fachgespräche erläutert und abschließend die Prognos-Synthese dargestellt.

Biodiesel

(2) Die **Bandbreite** der Anlagenkosten für Biodieselanlagen ist relativ groß. Beispielsweise finden sich in der Literatur [Employ RES 2009] Angaben von 210 bis 860 €/kW. Im Zuge der Internetrecherche ergab sich eine ebenso große Spannweite, wobei größere Anlagen entsprechend zum Teil deutlich geringere spezifische Anlagenkosten aufwiesen. Hierbei fanden sich spezifische Kosten von 200 €/t, aber auch von über 500 €/t.

(3) Der **Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie** konnte vor allem Aussagen zur Kostensituation von Biodieselanlagen treffen, da hier im Speziellen drei Anlagen detailliert ausgewertet wurden. Beispielhaft hatte hier eine Biodieselanlage Gesamtkosten von rund 27,5 Mio. €, bei einer Kapazität von rund 100.000 Tonnen pro Jahr. Daraus ergeben sich spezifische Anlagenkosten von rund 275 €/t. Die anderen beiden Beispiele ergaben spezifische Anlagenkosten um 425 €/t.

(4) Im Ergebnis der Recherchen (Synthese) gehen wir für unsere Berechnungen von durchschnittlichen spezifischen Anlagenkosten von rund 400 €/t für das Jahr 2010 aus, es wird zudem eine leichte Kostendegression von 5 % bis zum Jahr 2020 unterstellt.

Ethanol

(5) Die Studie [Employ RES 2009] nennt für Bioethanolanlagen deutlich höhere Anlagenkosten als für Biodieselanlagen. Hier wird eine Bandbreite zwischen 640 und 2.200 €/kW genannt. Die Internetrecherche ergab, dass das Unternehmen Verbio eine Bioethanolanlage in Deutschland mit einer Kapazität von rund 200.000 Tonnen plante und dabei mit Anlagenkosten von rund 100 Mio. € rechnet. Dies entspricht spezifischen Anlagenkosten von rund 500 €/t.

(6) Aufgrund der geringen Informationslage gehen wir für unsere Kalkulation von spezifischen Anlagenkosten von 500 €/t für Bioethanolanlagen aus. Bis zum Jahr 2020 gehen wir inflationsbereinigt von einem leichten Rückgang der Anlagenkosten um rund 5 % aus.

Biogas

(7) Die Kosten von Biogasanlagen hängen sehr stark von der Anlagengröße, dem Kofermentationsanteil, den Entsorgungsvorgaben, der Gasausbeute und anderen Nutzen ab. Kostensenkungspotenziale bestehen einerseits durch höhere Stückzahlen und andererseits durch die Optimierung des Vergärungsprozesses. Bei der Biogaserzeugung für den Verkehrssektor erfolgt die Biogaseinspeisung direkt ins Gasnetz, die BHKW-Investition fällt deshalb in dieser Betrachtung weg.

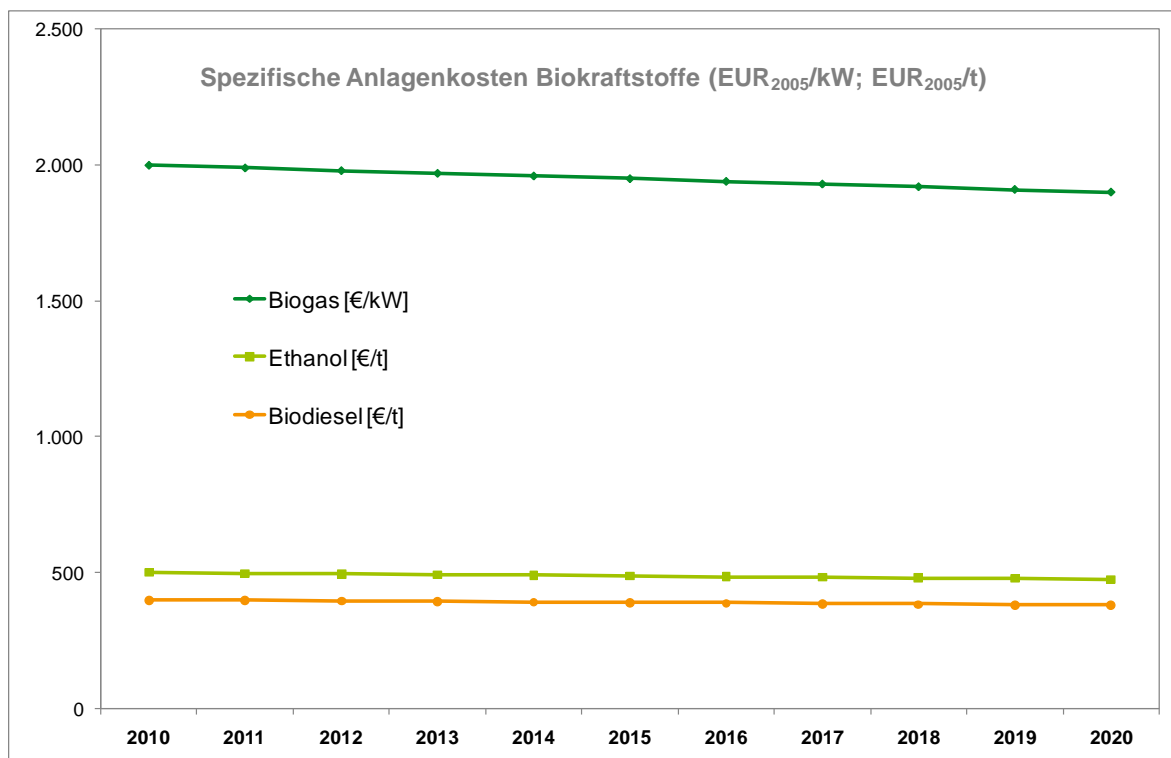
(8) Die Anlagenkostenentwicklung der Biogasanlagen sind bereits im Abschnitt 3.2 dargestellt. Die spezifischen Anlagenkosten für Biogas-Blockheizkraftwerke liegen entsprechend der Studie [DLR, IFEU, WI 2004] für das Jahr 2010 zwischen 1.780 €/kW und

5.345 €/kW. Entsprechend dieser Studie kommt es für die Anlagen bis zum Jahr 2020 zu einer Kostendegression von knapp 5 % bis zum Jahr 2020. Für das BHKW sind dabei Anlagenkosten von zwischen 800 und 2.400 €/kW angegeben.

(9) Für Biogasanlagen (ohne BHKW) gehen wir durchschnittlich von Anlagenkosten von rund 2.000 €/kW aus, die sich bis zum Jahr 2020 um rund 5 % verringern werden.

(10) Die folgende Abbildung fasst die angenommenen spezifischen Anlagenkosten für Biokraftstoffanlagen (Biogas in €/kW bis zum Jahr 2020 um rund 5 % verringern werden.

Abbildung 6: Spezifische Anlagenkosten von Biokraftstoffkapazitäten



* Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Einheiten (EUR/kW und EUR/t) sind die Werte der spezifischen Anlagenkosten nicht direkt vergleichbar.

Quelle: Prognos AG

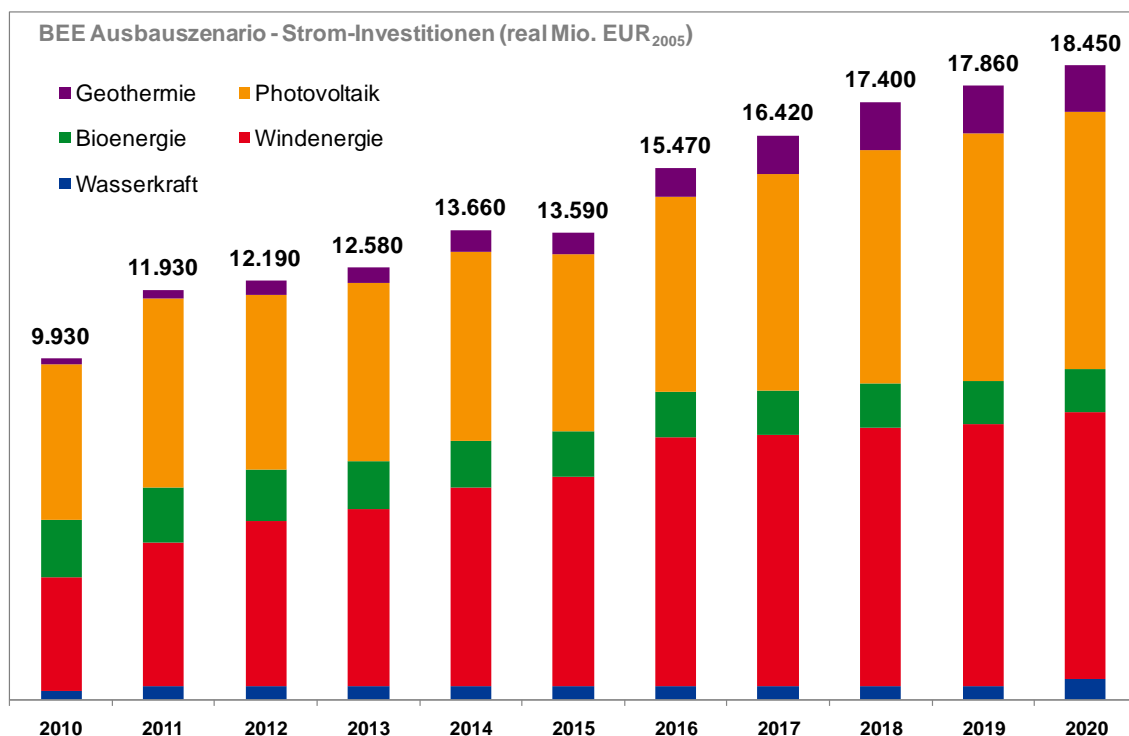
4 Ergebnisse

Auf Basis der beschriebenen BEE-Ausbauprognose und der ermittelten spezifischen Anlagenkosten für erneuerbare Energien erfolgt in diesem Kapitel die Berechnung des **Investitionsvolumens** für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland bis zum Jahr 2020. Die Werte für die ermittelten Investitionsvolumen sind in realen (inflationsbereinigten) Werten angegeben (€₂₀₀₅).

4.1 Strom

(1) Die Investitionen in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen steigen von rund 9.930 Mio. €₂₀₀₅ im Jahr 2010 auf rund 18.450 Mio. €₂₀₀₅ im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 7). Dies entspricht einer Steigerung von etwa 86 %.

Abbildung 7: *Investitionsvolumen in erneuerbare Stromerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario*



Quelle: Prognos AG

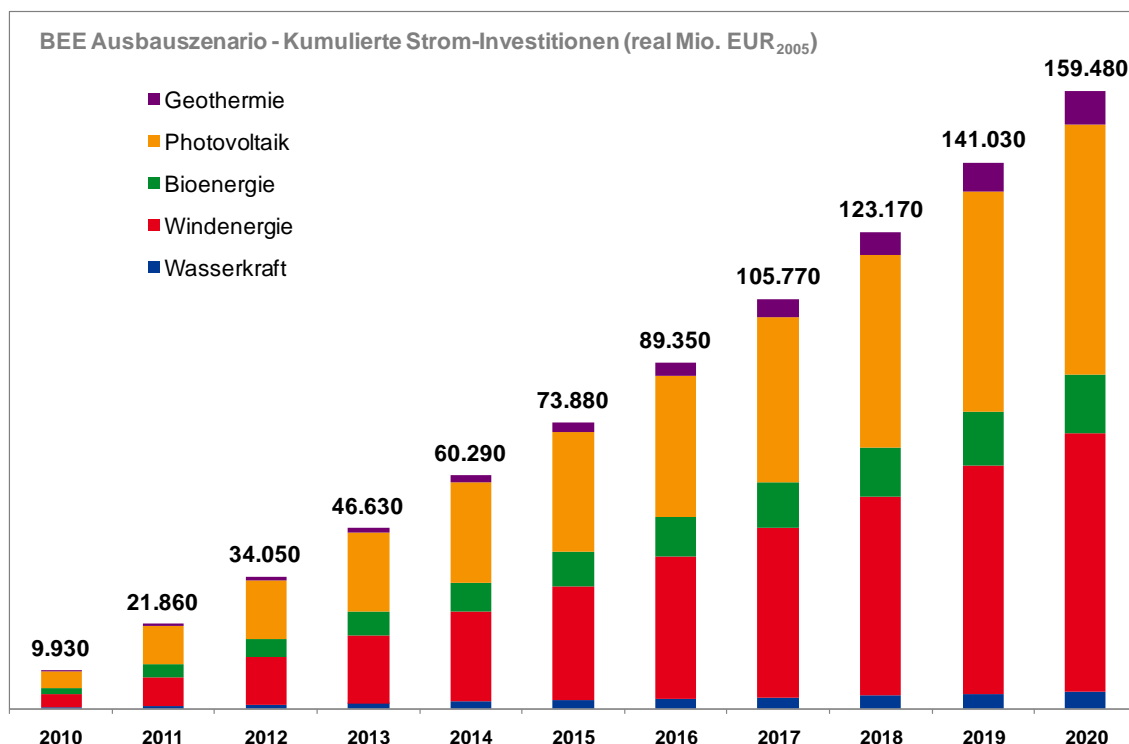
(2) **Treiber** dieser Entwicklung im Strombereich sind Investitionen in Windkraftanlagen und insbesondere in die Photovoltaik.

Gegen Ende des Betrachtungszeitraums kommt es auch zu einer deutlichen Steigerung der Investitionen in die Geothermie.

Windenergie und Photovoltaik haben im Jahr 2010 zusammen einen Anteil von rund 79 % an den Gesamtinvestitionen in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen. Dieser Anteil erhöht sich stetig bis zum Jahr 2016 auf über 84 % und geht anschließend leicht auf rund 83 % zurück. Einzig im Jahr 2015 gehen die Investitionen in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen entsprechend der unterstellten Bedingungen gegenüber dem Vorjahr zurück. Grund hierfür ist eine Stagnation des Zubaus der PV-Leistung bei gleichzeitiger Kostenreduktion.

(3) Die folgende Abbildung zeigt die **kumulierten Investitionen**. Insgesamt werden zwischen den Jahren 2010 bis 2020 rund 159,5 Mrd. €₂₀₀₅ in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen investiert.

Abbildung 8: Kumuliertes Investitionsvolumen in erneuerbare Stromerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario

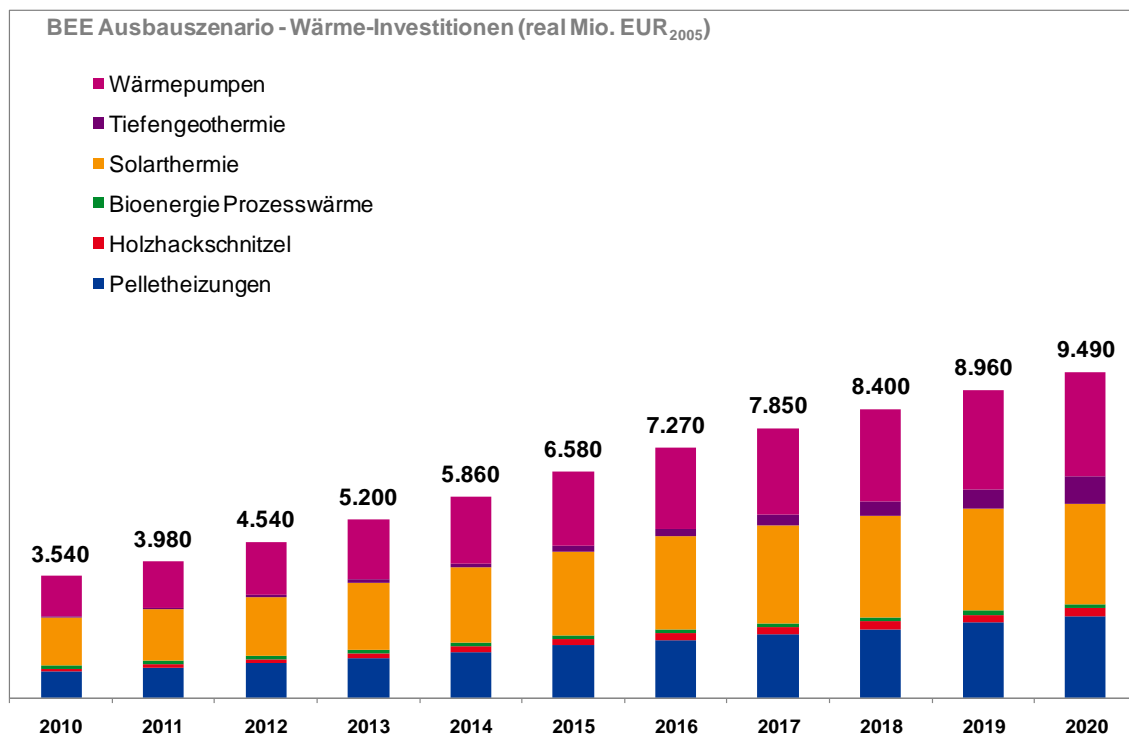


Quelle: Prognos AG

4.2 Wärme

(1) Die Investitionen in erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen steigen von rund 3.540 Mio. €₂₀₀₅ im Jahr 2010 auf rund 9.490 €₂₀₀₅ im Jahr 2020 (vgl. Abbildung 9). Dies entspricht einer Steigerung der jährlichen Investitionen in diesem Bereich um den Faktor 2,7.

Abbildung 9: Investitionsvolumen in erneuerbare Wärmeerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario



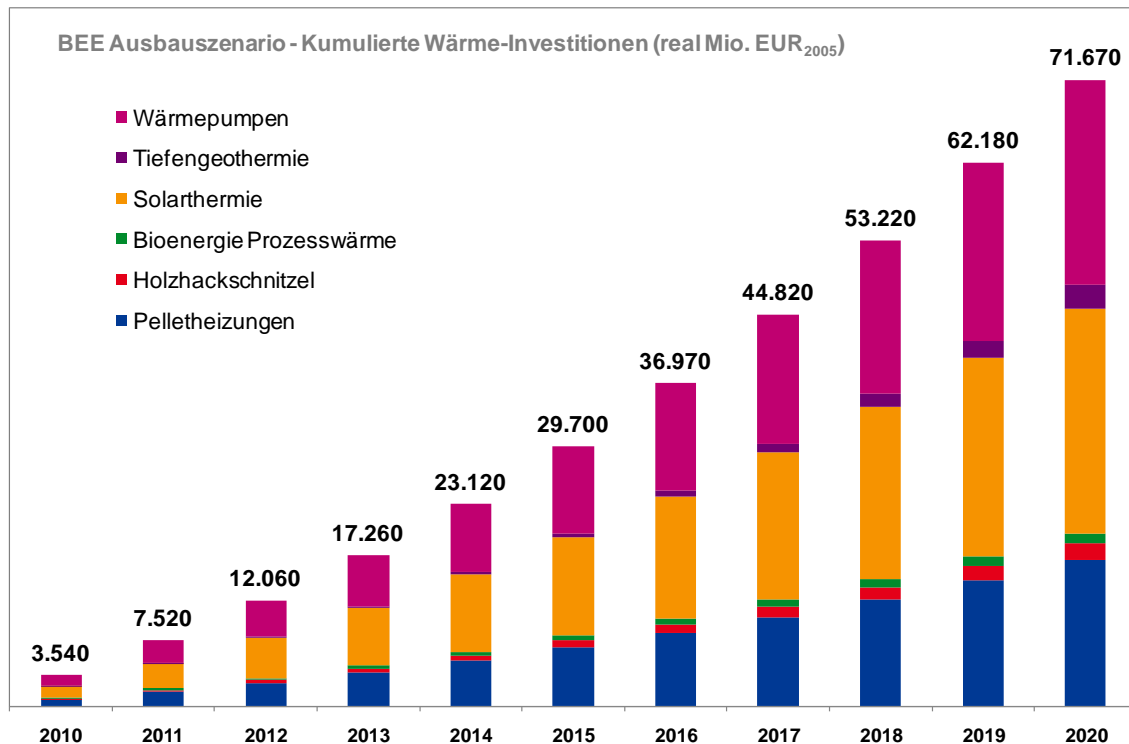
Quelle: Prognos AG

(2) Investitionen in **Pelletheizungen, Solarthermie** und **Wärmepumpen** sind die größten Bestandteile im erneuerbaren Wärmebereich.

Die größte relative Steigerung zwischen den Jahren 2010 und 2020 vollzieht, ebenso wie im Strombereich, die Tiefengeothermie. Hier steigen die jährlichen Zubauinvestitionen von rund 30 Mio. €₂₀₀₅ auf fast 800 Mio. €₂₀₀₅.

(3) Die **kumulierten Investitionen** in erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen zwischen den Jahren 2010 und 2020 liegen bei rund 71,7 Mrd. €₂₀₀₅ (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 10: Kumuliertes Investitionsvolumen in erneuerbare Wärmeerzeugungstechniken entsprechend dem BEE-Ausbauszenario



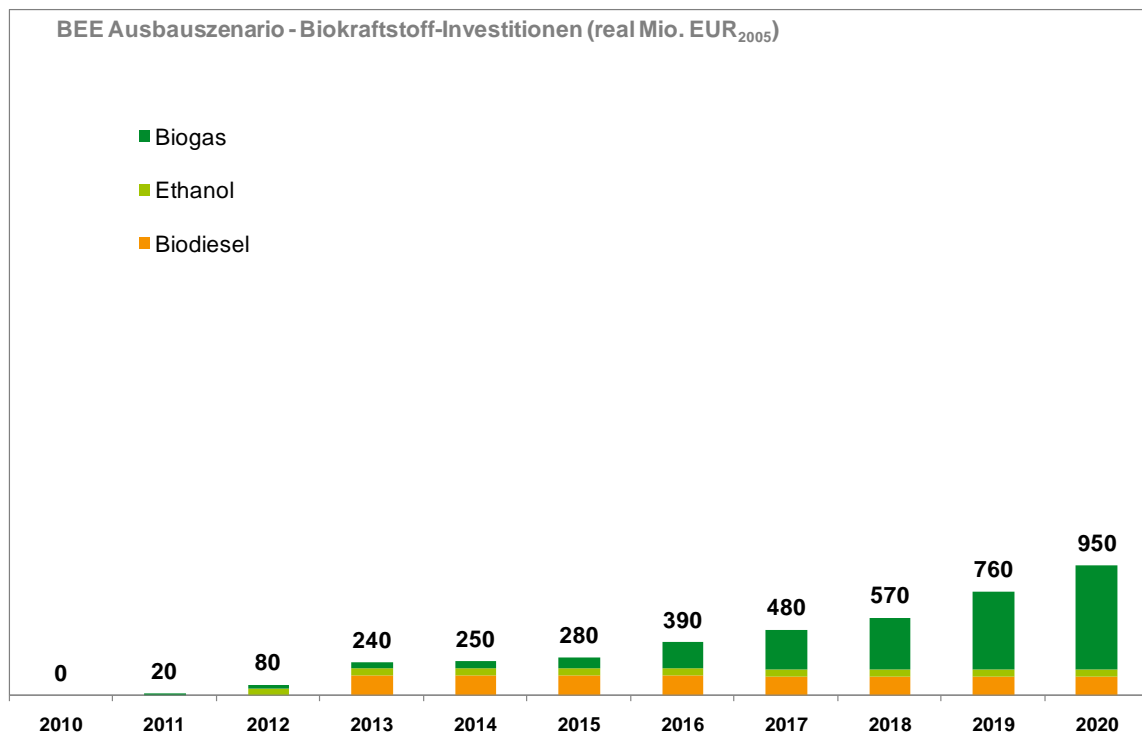
Quelle: Prognos AG

(4) Mit rund einem Drittel haben die kumulierten Investitionen in Wärmepumpen einen großen Anteil an den kumulierten Gesamtinvestitionen in erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen. Der Anteil der solarthermischen Kollektorfläche beträgt rund 36 %. Fast ein Viertel der kumulierten Gesamtinvestitionen gehen in den Bereich der Pelletheizungen.

4.3 Biokraftstoffe

(1) Die Investitionen in Biokraftstoffanlagen kommen laut der BEE-Ausbauprognose in den Jahren 2010 und 2011 zum Erliegen. Bis zum Jahr 2020 steigen diese Investitionen dann bis auf jährlich rund 950 Mio. €₂₀₀₅ (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: Investitionsvolumen in Biokraftstoffanlagen entsprechend dem BEE-Ausbauszenario

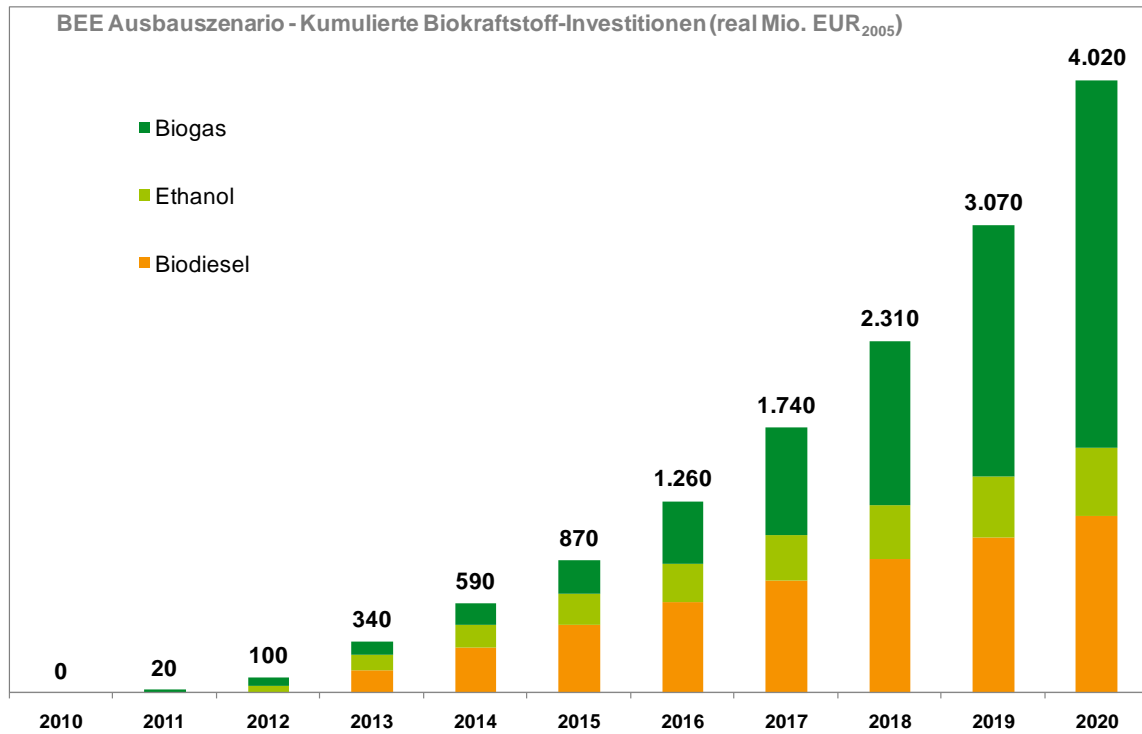


Quelle: Prognos AG

(2) Die Investitionen in **Biodieselanlagen** haben anfangs den größten Anteil an den Investitionen im Biokraftstoffbereich. Die im Betrachtungszeitraum deutlichen steigenden **Biogaskapazitäten** sorgen auch für einen deutlichen Anstieg der entsprechenden Investitionen und übernehmen ab dem Jahr 2016 die Vorreiterrolle.

(3) Zwischen den Jahren 2012 und 2020 werden im Bereich der Biokraftstoffe insgesamt rund 4,0 Mrd. €₂₀₀₅ in erneuerbare Energien investiert (vgl. Abbildung 12). Den größten Anteil haben mit rund 60 % die Investitionen in Biogasanlagen. Investitionen in Biodieselskapazitäten haben einen Anteil von fast 30 %.

Abbildung 12: Kumuliertes Investitionsvolumen in Biokraftstoffanlagen entsprechend dem BEE-Ausbauszenario

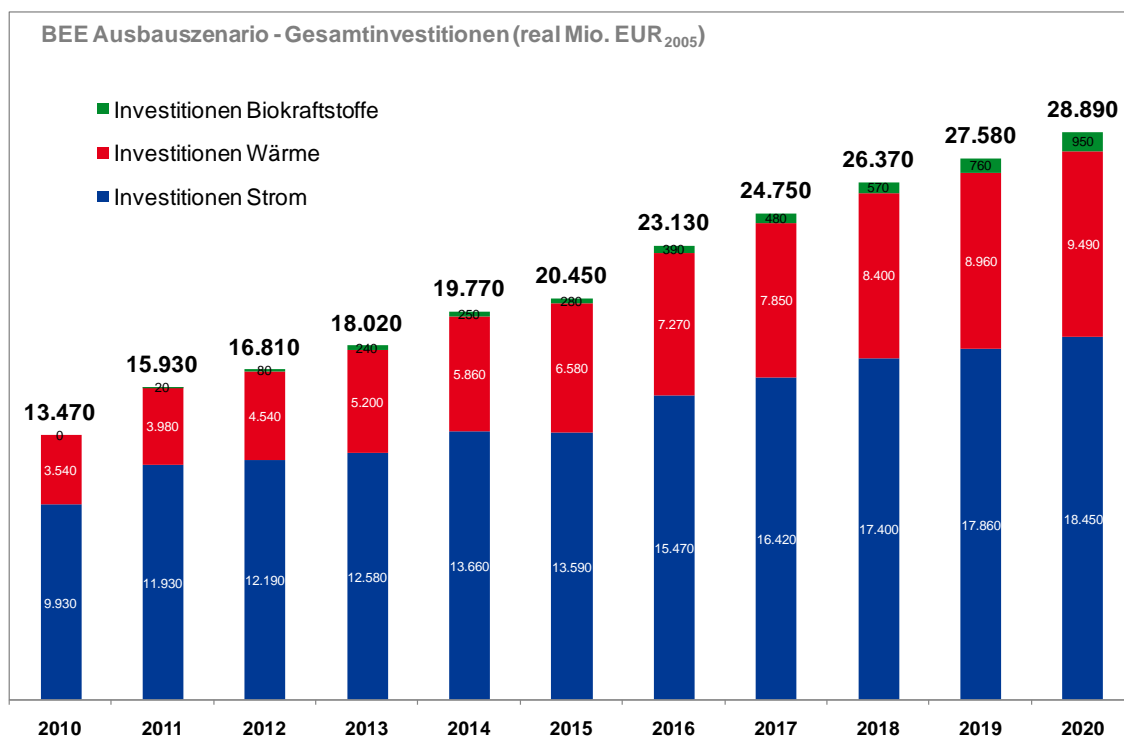


Quelle: Prognos AG

4.4 Gesamtergebnisse

(1) Die jährlichen Gesamtinvestitionen in erneuerbare Energien in Deutschland gemäß der BEE-Ausbauprognose steigen von rund 13,5 Mrd. €₂₀₀₅ im Jahr 2010 auf rund 28,9 Mrd. €₂₀₀₅ im Jahr 2020. Die Investitionen in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen steigen im Betrachtungszeitraum um rund 86 %, bei den Investitionen in erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen kommt es zu einer Steigerung um den Faktor 2,7 zwischen den Jahren 2010 und 2020. Die Investitionen in Anlagen für erneuerbare Kraftstoffe steigen relativ am stärksten, allerdings auf einem absolut relativ geringen Niveau.

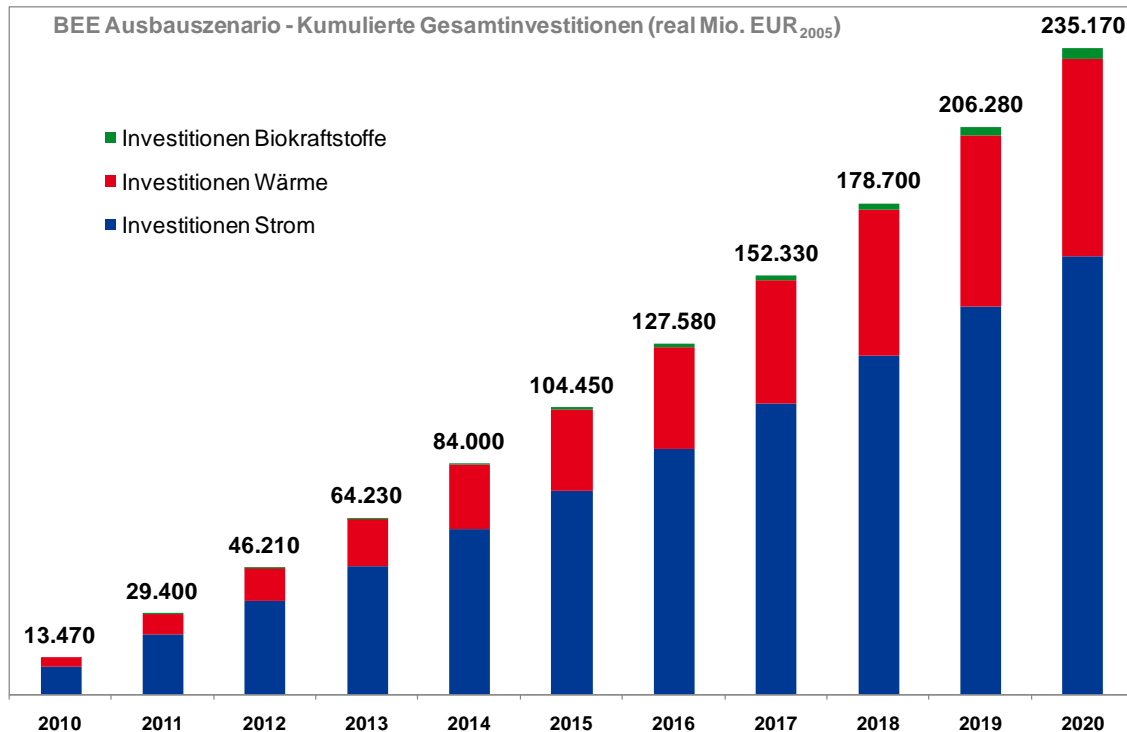
Abbildung 13: Jährliches Investitionsvolumen in Erneuerbare entsprechend dem BEE-Ausbauszenario



Quelle: Prognos AG

(2) Kumuliert ergeben sich entsprechend der BEE-Ausbauprognose bis zum Jahr 2020 Gesamtinvestitionen durch die Anlageninstallation erneuerbarer Energien von rund 235 Mrd. €₂₀₀₅. Verglichen mit dem Anteil der Investitionen in erneuerbare Stromerzeugungsanlagen und Wärmeerzeugungsanlagen ist der Anteil der Investitionen in Biokraftstoffanlagen sehr gering.

Abbildung 14: Kumuliertes Investitionsvolumen in Erneuerbare entsprechend dem BEE-Ausbauszenario



Quelle: Prognos AG

(3) Die **detaillierten Investitionsvolumina** in erneuerbare Energieerzeugungsanlagen unterteilt nach den Bereichen Strom, Wärme und Biokraftstoffe sowie jeweils nach Energieträgern zeigen die Tabelle 3 und Tabelle 4 im Anhang.

4.5 Vergleich der Investitionen mit der BMU Leitstudie 2009

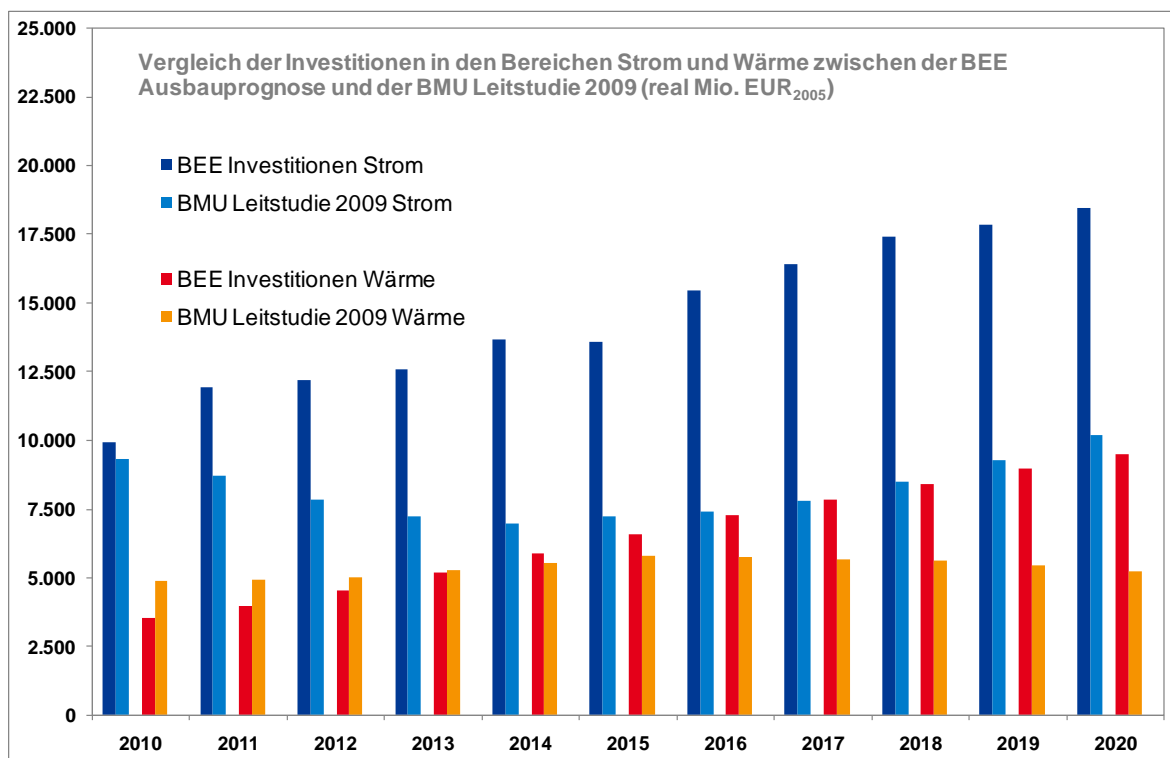
(1) Ein Ausbau der erneuerbaren Energien gemäß BEE-Ausbauprognose hätte ein Investitionsvolumen von rund 235 Mrd. €₂₀₀₅ zur Folge, hierin sind Anlageninvestitionen in den Bereichen Strom, Wärme (ohne Nahwärmenetze) und Biokraftstoffe enthalten. Entsprechend dem Ausbauszenario der Leitstudie 2009 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist zwischen den Jahren 2010 und 2020 mit Investitionen in Erneuerbare von rund 160 Mrd. €₂₀₀₅ zu rechnen, hierin sind Investitionen in den Bereichen Strom und Wärme (inkl. Nahwärmenetze) enthalten.

(2) In der Auswertung der Investitionen in erneuerbare Anlagen wurde im Zuge der BEE-Ausbauprognose somit der Bereich Biokraftstoffe (kumulierte Investitionen von rund 4 Mrd. €₂₀₀₅ zwischen

den Jahren 2010 und 2020) mit bewertet, der in den Gesamtinvestitionen der BMU Leitstudie 2009 nicht enthalten ist. Umgekehrt enthalten die Gesamtinvestitionen der BMU Leitstudie 2009 Investitionen in Nahwärmenetze (kumulierte Investitionen von rund 9,3 Mrd. €₂₀₀₅ zwischen den Jahren 2010 und 2020). Im Folgenden werden deshalb nur die Investitionen im Strom- und Wärmebereich (ohne Nahwärmenetze) betrachtet, um die Investitionsvolumina korrekt zu vergleichen.

(3) Somit ergeben sich zwischen den Jahren 2010 und 2020 für die BEE-Ausbauprognose kumulierte Investitionen für erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen von rund 230 Mrd. €₂₀₀₅. Dagegen liegt das vergleichbare Investitionsvolumen der BMU Leitstudie 2009 bei rund 150 Mrd. €₂₀₀₅. Die folgende Grafik zeigt die jährlichen Investitionen in den Bereichen Strom und Wärme der beiden Studien. Bei der BMU Leitstudie werden 30 % der Investitionen einer KWK-Anlage anteilig dem Wärmebereich zugeschlagen. Insbesondere im Strombereich liegen die Investitionen der BEE-Ausbauprognose aufgrund des ambitionierteren Ausbauszenarios deutlich höher.

Abbildung 15: Vergleich der Investitionen in Erneuerbare zwischen der BMU Leitstudie 2009 und der BEE-Ausbauprognose



Quelle: Prognos AG, BMU Leitstudie 2009

5 Definition von Forschungsfragen

(1) Die vorliegende Kurzstudie konzentriert sich auf die Ermittlung der Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger gemäß der Branchenprognose des BEE. Der schnelle Ausbau regenerativer Erzeugungsanlagen setzt einen umfassenden Systemumbau in der deutschen Energieversorgung voraus. Insbesondere die Netzintegration großer Anteile volatiler Energieerzeugungsanlagen stellt die Netzbetreiber vor erhebliche Herausforderungen. Darüber hinaus bleibt eine Reihe von Fragen offen, die im Laufe der nächsten Monate und Jahre zu beantworten sind. Im Folgenden sollen einige dieser Problempunkte und Forschungsfelder, die mit dem Ausbau der Erneuerbaren verbunden sind, identifiziert werden.

(2) Herausforderung Netzintegration

Große Anteile volatiler Energieerzeugung stellen eine Herausforderung für die Weiterentwicklung der Stromnetze dar. Werden beispielsweise – wie in der BEE-Prognose angenommen – mehrere 1.000 MW Offshore-**Windkraftanlagen** errichtet, die an wenigen Stellen in das norddeutsche Netz einspeisen, so kann diese Leistung lokal und regional nicht abgenommen werden, da sie den Bedarf übersteigt. Folglich ist das Übertragungsnetz so auszubauen, dass überschüssige Leistung in die Verbrauchsschwerpunkte transportiert werden kann.

Darüber hinaus kann der schnelle Ausbau der **Photovoltaik** in einigen Regionen Deutschlands zu einer Umkehr des Lastflusses in den Niederspannungsnetzen führen. Wenn beispielsweise in der Urlaubszeit wenig Leistung nachgefragt wird und gleichzeitig bei hoher Sonneneinstrahlung die Stromeinspeisung aus Photovoltaik maximal ist, kann dieses Phänomen auftreten. Unklar ist, ob das heutige Netz unter diesen Bedingungen stabil betrieben werden kann.

In diesem Zusammenhang könnte zusätzliche **Speicherkapazität** Abhilfe schaffen. Heute sind Speicher in der Regel sehr teuer. Einige Speichersysteme sind mit unerwünschten Umweltwirkungen verbunden. Es stellt sich die Frage nach einer optimierten Speicherdimensionierung und nach Techniken, die die Kosten der Speicherung reduzieren können.

Es ist somit davon auszugehen, dass **erhebliche Netzinvestitionen** erforderlich sind. Angesichts der Schwierigkeiten, die durch niedrige Akzeptanz von Investitionsvorhaben gerade auch im Netzausbau verursacht werden, sollte diese Aufgabe nicht unterschätzt werden.

(3) **Auswirkungen auf Reserve- und Regelkapazitäten**

Durch den Ausbau der Erneuerbaren entsprechend der BEE-Ausbauprognose ändern sich voraussichtlich die Rahmenbedingungen für die Regel- und Reservekapazitäten. Aufgrund der Wetterabhängigkeit verursachen vor allem Windenergie und Photovoltaik Bereitstellungsprobleme. Es ist daher zu prüfen, ob bei einem umfassenden Ausbau erneuerbarer Energien der Bedarf für Regelung und Reservevorhaltung ansteigt.

Die Wirtschaftlichkeit des bestehenden konventionellen Kraftwerksparks neu zu errichtender konventioneller Kraftwerke wird voraussichtlich durch den schnellen Ausbau erneuerbarer Energien beeinträchtigt. Die Volllaststunden des Betriebs dieser Kraftwerke sinken und somit auch die Erlöse aus der Stromproduktion. Unterhalb eines bestimmten Erlösniveaus ist es nicht mehr wirtschaftlich, Kraftwerke vorzuhalten oder neu zu errichten.

Somit sind die heutigen Preisbildungsmechanismen möglicherweise nicht in der Lage die notwendigen Anreize für einen optimalen Ausbau der Regel- und Reservekapazitäten zu geben. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Anreizsysteme zu schaffen sind, um notwendige Investitionen in den Regel- und Reservekapazitätsmarkt zu realisieren.

(4) **Auswirkungen auf den Strompreis**

Die Einspeisung erneuerbaren Stroms in die Netze zu festen Vergütungssätzen gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die notwendigen Netzerweiterungen verursachen Kosten, die über die EEG-Umlage bzw. die Netzentgelte auf den Stromverbraucher umgelegt werden. Andererseits können die erneuerbaren Energien den Großhandelspreis für Strom reduzieren. Dieser Effekt ist in Zeiten hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energieträgern zu beobachten. Die Gesamtwirkung dieser Effekte auf den Strompreis für die Endverbraucher ist zu untersuchen.

(5) **Wahl der Systemgrenze – Schritte zu einer volkswirtschaftlichen Gesamtanalyse**

Die vorliegende Untersuchung wirft den Blick auf einen Teil der Wirtschaftstätigkeit Deutschlands, enthält aber auftragsgemäß keine vollständige volkswirtschaftliche Analyse der Wertschöpfungs- oder Beschäftigungseffekte. So entstehen neben den direkten Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in **vorgelagerten Industrien** (z.B. Maschinen- und Anlagenbau, Zulieferer) weitere Wertschöpfungseffekte, die sogenannten indirekten Effekte, die hier nicht betrachtet wurden. Darüber hinaus erfordert der energiewirtschaftliche Systemumbau (Speicherung, Netzausbau, Regelkraftwerke) Investitionen und die Importe fossiler Energieträger werden reduziert. Diesen komplexen volkswirt-

schaftlichen Verflechtungen ist in einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung Rechnung zu tragen.

Aus Sicht der Prognos AG bietet sich folgendes **Verfahren** an, um zu einer Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte zu gelangen:

- Die Schwierigkeit bei einer gesamtwirtschaftlichen Analyse eines Systemumbaus besteht darin, dass die Wertschöpfungseffekte eines solchen Umbaus nicht „an sich“, sondern immer nur im Vergleich mit einem alternativen Szenario beschrieben werden können.
Im ersten Schritt ist daher ein Szenario zu definieren, mit dem die Branchenprognose des BEE verglichen wird. Beispielsweise könnte eine bestehende Referenzprognose mit moderatem Ausbau der erneuerbaren Energieträger als Grundlage für den Vergleich herangezogen werden.
- Im zweiten Schritt ist zu beschreiben, welche Unterschiede zwischen den Szenarien bestehen. Hierbei sind zunächst die genannten energiewirtschaftlichen Veränderungen in den beiden Szenarien zu analysieren.
- Im Anschluss kann durch einen Vergleich der beiden Szenarien ermittelt werden, wie groß der Effekt für das Bruttoinlandsprodukt und seine Verwendungskomponenten (Privater Konsum, Staatskonsum, Investitionen, Außenbeitrag) und für die Erwerbstätigkeit für die zuvor festgelegten Zukunftsjahre (z.B. 2015, 2020) ausfällt. Hierbei ist einerseits der Investitionseffekt zu berücksichtigen, andererseits der indirekte Effekt aus dem Bezug von Vorleistungen (z.B. Zulieferer). Darüber hinaus ist einzuschätzen, wie sich der zuvor ermittelte Strompreiseffekt auswirken könnte – sofern die Strompreise sich zwischen den Szenarien unterscheiden.
- Die Ergebnisse aus diesen Analysen können in weitere Auswertungen eingespeist werden, mit denen beschrieben werden kann, wie sich die Volkswirtschaft infolge des energiewirtschaftlichen Systemumbaus verändert. Prognos verfügt hierzu über ein komparativ-statisches Input-Output-Modell, das nach 71 Branchen bzw. Wirtschaftszweigen differenziert.
- Im Ergebnis könnten auf sektoraler Ebene die Konsequenzen des schnelleren Ausbaus der erneuerbaren Energieträger für die Bruttowertschöpfung und – bei Bedarf – die Erwerbstätigkeit aufgezeigt werden.

Diese Auflistung versteht sich nicht als abschließend. **Fazit** dieser Überlegungen ist, dass der Systemumbau, der mit einem schnellen Umstieg auf erneuerbare Energien verbunden ist, eine Reihe von Fragestellungen und Herausforderungen aufwirft, die vorab oder parallel zu klären sind, damit das Vorhaben erfolgreich ausgeführt und auch über das Jahr 2020 fortgesetzt werden kann.

Anhang – Tabellen

Tabelle 1: Ausbaupfad der erneuerbaren Energien gemäß BEE-Branchenprognose bis zum Jahr 2020

Jährlicher Zubau erneuerbarer Energieträger Strom gemäß BEE-Branchenprognose

Angaben in [MW _e]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Wasserkraft	100	150	150	150	150	150	150	150	150	150	225
Windenergie onshore	1.900	2.000	2.400	2.800	3.200	3.600	4.000	4.200	4.400	4.600	4.153
Windenergie offshore	350	600	700	700	800	800	1.100	1.100	1.150	1.150	1.450
Feste Biomasse	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Biogas	406	386	356	336	326	316	316	306	306	306	298
Photovoltaik	1.500	2.000	2.000	2.200	2.500	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
Geothermie	11	17	25	30	42	44	57	79	100	100	100

Jährlicher Zubau erneuerbarer Energieträger Wärme gemäß BEE-Branchenprognose

Angaben in [MW _{th}]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pelletheizungen	857	997	1.161	1.351	1.573	1.831	2.042	2.278	2.541	2.835	3.116
Holzhackschnitzel	122	150	180	220	269	329	351	359	366	373	380
Bioenergie Prozesswärme	150	166	173	180	188	195	203	212	221	230	232
Solarthermie [1.000 m ²]	2.032	2.235	2.682	3.218	3.781	4.443	5.110	5.621	6.042	6.344	6.503
Tiefengeothermie	40	69	72	125	175	245	342	479	671	939	1.315
Wärmepumpen	770	914	1.058	1.201	1.345	1.489	1.616	1.744	1.871	1.998	2.126

Jährlicher Zubau erneuerbarer Energieträger Biokraftstoffe gemäß BEE-Branchenprognose

Angaben in [Mio. t]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biodiesel	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ethanol	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Biogas [MW]	0	10	15	20	25	40	100	150	200	300	400

Quelle: Bundesverband Erneuerbarer Energien e.V. (BEE)

Tabelle 2: Spezifische Anlagenkosten der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020

Angaben in [€ ₂₀₀₅ /kW _{el}]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Wind onshore	1.100	1.090	1.080	1.070	1.060	1.050	1.040	1.030	1.020	1.010	1.000
Wind offshore	3.500	3.350	3.200	3.100	3.000	2.900	2.800	2.725	2.650	2.575	2.500
Wasserkraft < 500 kW	4.500	4.523	4.545	4.568	4.590	4.613	4.635	4.658	4.680	4.703	4.725
Wasserkraft < 2 MW	3.500	3.518	3.535	3.553	3.570	3.588	3.605	3.623	3.640	3.658	3.675
Wasserkraft < 5 MW	2.500	2.513	2.525	2.538	2.550	2.563	2.575	2.588	2.600	2.613	2.625
Wasserkraft > 5 MW	2.200	2.211	2.222	2.233	2.244	2.255	2.266	2.277	2.288	2.299	2.310
Feste Biomasse < 0,5 MW	4.150	4.144	4.138	4.132	4.126	4.120	4.114	4.108	4.102	4.096	4.090
Feste Biomasse < 5 MW	3.630	3.625	3.620	3.615	3.610	3.605	3.600	3.595	3.590	3.585	3.580
Feste Biomasse > 5 MW	2.416	2.400	2.383	2.366	2.349	2.333	2.316	2.299	2.282	2.266	2.250
Biogas < 70 kW	5.345	5.321	5.296	5.272	5.247	5.223	5.198	5.174	5.149	5.125	5.100
Biogas < 500 kW	3.600	3.580	3.560	3.540	3.520	3.500	3.480	3.460	3.440	3.420	3.400
Biogas > 500 kW	2.375	2.364	2.352	2.341	2.329	2.318	2.306	2.295	2.283	2.272	2.260
Photovoltaik	3.000	2.750	2.550	2.350	2.200	2.050	1.900	1.800	1.700	1.600	1.500
Geothermie	17.500	16.500	16.000	15.500	15.000	14.750	14.500	14.250	14.000	13.750	13.500

Spezifische Investitionskosten erneuerbarer Energieträger Wärme

Angaben in [€ ₂₀₀₅ /kW _{th}]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pelletheizungen	900	886	872	858	844	830	816	802	788	774	760
Holzackschnitzel	640	636	632	628	624	620	616	612	608	604	600
Bioenergie Prozesswärme	560	554	548	542	536	530	524	518	512	506	500
Solarthermie [€ ₂₀₀₅ /m ²]	700	670	640	610	580	550	530	510	490	470	450
Tiefengeothermie	690	680	670	660	650	640	630	620	610	600	600
Wärmepumpen	1.504	1.487	1.475	1.466	1.459	1.453	1.449	1.445	1.442	1.439	1.436

Spezifische Investitionskosten erneuerbarer Energieträger Biokraftstoffe

Angaben in [€/t]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biodiesel	400	398	396	394	392	390	388	386	384	382	380
Ethanol	500	498	495	493	490	488	485	483	480	478	475
Biogas [€/kW]	2.000	1.990	1.980	1.970	1.960	1.950	1.940	1.930	1.920	1.910	1.900

Quelle: Prognos AG

Tabelle 3: Investitionen in den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland von 2010 bis 2020

Jährliche Anlageninvestitionen durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland

Angaben in [Mio. € ₂₀₀₅]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gesamtinvestitionen in EE	13.470	15.930	16.810	18.020	19.770	20.450	23.130	24.750	26.370	27.580	28.890
Investition EE Strom	9.930	11.930	12.190	12.580	13.660	13.590	15.470	16.420	17.400	17.860	18.450
Investition EE Wärme	3.540	3.980	4.540	5.200	5.860	6.580	7.270	7.850	8.400	8.960	9.490
Investition EE Biokraftstoffe	0	20	80	240	250	280	390	480	570	760	950

Kumulierte jährliche Anlageninvestitionen durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland

Angaben in [Mio. € ₂₀₀₅]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gesamtinvestitionen in EE	13.470	29.400	46.210	64.230	84.000	104.450	127.580	152.330	178.700	206.280	235.170
Investition EE Strom	9.930	21.860	34.050	46.630	60.290	73.880	89.350	105.770	123.170	141.030	159.480
Investition EE Wärme	3.540	7.520	12.060	17.260	23.120	29.700	36.970	44.820	53.220	62.180	71.670
Investition EE Biokraftstoffe	0	20	100	340	590	870	1.260	1.740	2.310	3.070	4.020

Quelle: Prognos AG

Tabelle 4: Investitionen in den Anlagenausbau erneuerbarer Strom-, Wärme- und Kraftstoffanlagen in Deutschland von 2010 bis 2020

Jährliche Anlageninvestitionen durch den Ausbau EE Strom in Deutschland

Angaben in [Mio. € ₂₀₀₅]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investitionen EE Strom	9.930	11.930	12.190	12.580	13.660	13.590	15.470	16.420	17.400	17.860	18.450
Wasserkraft	250	370	370	370	380	380	380	380	380	390	580
Windenergie	3.320	4.190	4.830	5.170	5.790	6.100	7.240	7.320	7.540	7.610	7.780
Bioenergie	1.670	1.600	1.490	1.410	1.370	1.340	1.330	1.290	1.280	1.280	1.240
Photovoltaik	4.500	5.500	5.100	5.170	5.500	5.130	5.700	6.300	6.800	7.200	7.500
Geothermie	190	270	400	460	620	640	820	1.130	1.400	1.380	1.350

Jährliche Anlageninvestitionen durch den Ausbau EE Wärme in Deutschland

Angaben in [Mio. € ₂₀₀₅]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investitionen EE Wärme	3.540	3.980	4.540	5.200	5.860	6.580	7.270	7.850	8.400	8.960	9.490
Bioenergie	930	1.070	1.210	1.400	1.600	1.820	2.000	2.160	2.330	2.540	2.720
Solarthermie	1.420	1.500	1.720	1.960	2.190	2.440	2.710	2.870	2.960	2.980	2.930
Geothermie (inkl. WP)	1.190	1.410	1.610	1.840	2.070	2.320	2.560	2.820	3.110	3.440	3.840

Jährliche Anlageninvestitionen durch den Ausbau von Biokraftstoffanlagen in Deutschland

Angaben in [Mio. € ₂₀₀₅]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investitionen Biokraftstoffe	0	20	80	240	250	280	390	480	570	760	950
Biodiesel	0	0	0	150	150	150	150	140	140	140	140
Ethanol	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Biogas	0	20	30	40	50	80	190	290	380	570	760

Quelle: Prognos AG

Anhang – Liste der Fachgespräche

Windenergie	Bundesverband WindEnergie e.V.	
Solarenergie	Bundesverband Solarwirtschaft e.V.	
Wasserkraft	Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke e.V.	
Biogas	Fachverband Biogas e.V.	
Biokraftstoffe	Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V.	
Geothermie	Bundesverband Geothermie e.V.	
Wärmepumpen	Bundesverband Wärmepumpe e.V.	
Holzpellets	Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.	

Anhang – Literaturliste

- [AGEE 2010] Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2009 (Stand 18. März 2010)
- [BEE 2009] Wege in die modern Energiewirtschaft – Ausbauprognose der Erneuerbaren-Energien-Branche.
- [BMU 2008/2009] Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland (Leitszenario).
- [Greenpeace 2008] Energy [r]evolution 2008 - A Sustainable Global Energy Outlook.
- [DLR, IFEU, WI 2004] Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.
- [Employ RES 2009] The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union.
- [IEA 2008] Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050.
- [IEA 2007] Renewables for Heating and Cooling.
- [Prognos] eigene Annahmen und Abschätzungen.
- [UBA 2009] Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply.