

Endbericht

Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040

Aktualisierung und Weiterentwicklung der
Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg



Quelle: iStock – zu09

© Prognos, 2021

Endbericht

Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040

Aktualisierung und Weiterentwicklung der
Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg

Projektnummer B100520

Autoren

Hanno Falkenberg
Jens Hobohm
Sebastian Lübbers
Fabian Malik
Stefan Mellahn
Ravi Srikandam

Im Auftrag des

Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Energie
des Landes Brandenburg

Abschlussdatum 31. Mai 2021

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie – unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft – durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 150 Experteninnen und Experten ist das Unternehmen an acht Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, Hamburg, München und Stuttgart. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

Berlin HRB 87447 B

Gründungsjahr

1959

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

DE 122787052

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Tel: +32 280 89-947

Prognos AG

Hermannstraße 13
(C/O WeWork)
20095 Hamburg | Deutschland
Tel.: +49 40 554 37 00-28

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 845 16-410
Fax: +49 421 845 16-428

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 17
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

info@prognos.com | www.prognos.com | www.twitter.com/prognos_ag

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
1 Zusammenfassung	1
2 Anlass, Aufgabenstellung und Methodik	3
3 Evaluierung der Energiestrategie 2030 – Stand 2020	5
4 Rahmenannahmen der Untersuchung	6
4.1 Demografie, Wirtschaft, Energiepreise	7
4.2 Energie- und Klimapolitik	10
4.3 Entwicklung der Energieeffizienz	12
4.4 Erneuerbare Energien	13
5 Ergebnisse Leitszenario	14
5.1 Endenergie	14
5.2 Erneuerbare Energien	16
5.3 Fossile Stromerzeugung, Speicherung und Strombilanz	22
5.4 Übrige Energieumwandlung	27
5.4.1 Fernwärme	27
5.4.2 Geothermie	28
5.4.3 Raffinerie	29
5.5 Wasserstoffherzeugung und -nutzung	30
6 Primärenergieverbrauch	36
7 Vertiefungen und Sensitivität des Strombedarfs	37
7.1 Höherer Strombedarf aus Industrie und Gewerbe	37
7.2 Strombedarf von Berlin und Möglichkeiten der Deckung aus Brandenburg	38
7.3 Fazit Strombedarf	39

7.4	Schlussfolgerung für den Ausbaupfad erneuerbarer Energien	42
8	Ausblick Klimaneutralität 2050	44
8.1	Stand der Diskussion zur Klimaneutralität	44
8.2	Klimaneutralität in Deutschland – Zentrale Ergebnisse vorliegender Untersuchungen	46
8.3	Ausbau erneuerbarer Energien	47
8.4	Übertragung der Ergebnisse auf Brandenburg	49
9	Beschäftigung und Wertschöpfungseffekte	50
9.1	Beschäftigung- und Wertschöpfungseffekte der Braunkohleindustrie	50
9.2	Beschäftigung- und Wertschöpfungseffekte der erneuerbaren Energien	53
10	Schlussfolgerungen	57
11	Literaturverzeichnis	59
12	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	63
	Impressum	VIII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Energie- und Klimapolitik 2017 und 2020	10
Tabelle 2:	Jährliche Ausschreibungsvolumina nach EEG 2021	12
Tabelle 3:	Entwicklung technischer Prämissen zur erneuerbaren Stromerzeugung	13
Tabelle 4:	Entwicklung der Anteile der in Brandenburg installierten Leistung an der installierten Leistung in Deutschland.	17
Tabelle 5:	Klimaneutralität in der Energie- und Klimapolitik Status-quo	45
Tabelle 6:	Annahmen für die Abschätzung der regionalwirtschaftlichen Effekte	52
Tabelle 7:	Beschäftigung und Wertschöpfung der erneuerbaren Energien in Brandenburg im Jahr 2018	54
Tabelle 8:	Ausgangslage und Fortschreibung der Produktivitäten	55
Tabelle 9:	Zielerreichung im Leitszenario (Vergleich mit 2007)*	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Projektablauf	4
Abbildung 2:	Monitoring der Zielerreichung der Energiestrategie 2030	5
Abbildung 3:	Auswahl gesetzlicher Regelungen die im Leitszenario berücksichtigt wurden	7
Abbildung 4:	Indexentwicklungen demografischer und wirtschaftlicher Kennzahlen	8
Abbildung 5:	Reale Grenzübergangspreise und CO ₂ -Preis im ETS (in €2016 / GJ Hu)	9
Abbildung 6:	Stilllegungsfahrplan laut Kohlenausstiegsgesetz	11
Abbildung 7:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren (in PJ, temperaturbereinigt)	15
Abbildung 8:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern (in PJ, temperaturbereinigt)	16
Abbildung 9:	Ende der EEG-Förderung nach Jahr	18
Abbildung 10:	Installierte Leistung Anlagen erneuerbarer Stromerzeugung	19
Abbildung 11:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	21
Abbildung 12:	Inanspruchnahme der Brandenburger Landesfläche durch Windkraftanlagen	22
Abbildung 13:	Schematischer Aufbau des Prognos Kraftwerksmodells	23
Abbildung 14:	Nettoleistung regelbarer Kraftwerke in Brandenburg	24
Abbildung 15:	Braunkohlenbedarf in der Lausitz	25
Abbildung 16:	Strombilanz im Leitszenario	26
Abbildung 17:	Fernwärme – Erzeugungsstruktur in Brandenburg [PJ, temperaturbereinigt]	27
Abbildung 18:	Geothermiepotenzial in Brandenburg	28
Abbildung 19:	Wasserstofferzeugungspotenzial in Brandenburg	30

Abbildung 20:	Wasserstoffnutzungspotenzial in Brandenburg	31
Abbildung 21:	Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (in PJ, temperaturbereinigt)	36
Abbildung 22:	Stromerzeugung und Verbrauch in Berlin (in GWh)	38
Abbildung 23:	Sensitivität Strombedarf Brandenburg	40
Abbildung 24:	Entwicklung des Exportpotenzials für Strom aus Brandenburg	41
Abbildung 25:	Stromerzeugungspotenzial aus Windkraft und PV-Freifläche in Brandenburg	43
Abbildung 26:	Zielpyramide CO ₂ -Neutralität, THG-Neutralität und Klimaneutralität	44
Abbildung 27:	Entwicklung THG-Emissionen nach Sektoren bei Klimaneutralität in 2050	46
Abbildung 28:	Inländisches Biomasseangebot für energetische Nutzung (in TWh)	48
Abbildung 29:	Energetischer Biomasseeinsatz in den Sektoren (in TWh)*	49
Abbildung 30:	Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Braunkohleindustrie in Brandenburg im Jahr 2018	51
Abbildung 31:	Direkte und indirekte Beschäftigte sowie Wertschöpfung im Land Brandenburg in der Braunkohleindustrie bis ins Jahr 2040	53
Abbildung 32:	Direkte und indirekte Beschäftigte sowie Wertschöpfung im Land Brandenburg in den erneuerbaren Energien bis ins Jahr 2040	56

1 Zusammenfassung

Die Prognos AG, Berlin, wurde im September 2020 mit der Erstellung eines Gutachtens beauftragt, welches die Grundlage für die Fortschreibung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg auf das Jahr 2040 bilden soll. Im Mittelpunkt der Studie steht die Entwicklung eines neuen **Leitszenarios**.

Seit der Vorgängeruntersuchung aus dem Jahr 2017 (Prognos, 2017) ist energiepolitisch eine Menge passiert. Zunehmend richtet sich die Energiepolitik an weitreichenden Zielvorgaben für den Klimaschutz aus und entwickelt entsprechende „deep-decarbonisation“-Konzepte. Der Kohlenausstieg wurde gesetzlich fixiert und das Thema Wasserstoff hat eine regelrechte Welle ausgelöst. Politische Zielvorgaben orientieren sich vielerorts am Leitbild der **Klimaneutralität**. Eher vorsichtige Szenarien, die eine langsamere Dekarbonisierung beschreiben, werden hingegen kaum weiterentwickelt.

Auch das **Land Brandenburg** hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 **klimateutral „leben und arbeiten“** zu wollen. Andererseits ist dieses Ziel noch nicht so weit mit Instrumenten und Maßnahmen unterlegt, dass eine Zielerreichung bereits greifbar wäre.

Vor diesem Hintergrund beschreibt das Leitszenario der vorliegenden Studie einen Zukunftspfad, welcher die **gültigen Rahmenbedingungen zu Beginn des Jahres 2021** abbildet. Dabei wurde die Studie „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“, welche Grundlage für den deutschen Nationalen Energie- und Klimaplan war, als Masterplan zugrunde gelegt.

Die Energieversorgung Brandenburgs wird im Leitszenario bis zum Jahr 2040 einen tiefgreifenden **Wandel** durchlaufen. Im Einzelnen zeigt sich dieser an folgenden **Ergebnissen**:

- Der **Endenergieverbrauch** wird sich zwar nicht strukturell ändern, der Anteil erneuerbarer Energien steigt jedoch deutlich an. Das Einsparziel der Energiestrategie 2030 wird nicht erreicht. Der Endenergieverbrauch könnte aber bis zum Jahr 2040 um 23 % zurückgehen. Industrielle Ansiedlungserfolge oder die TESLA Ausbaustufen dürften den EEV weniger stark sinken lassen. Eine Anpassung des Endenergie-Ziels ist notwendig.
- Der beschlossene **Kohlenausstieg** wird spätestens bis zum Jahr 2038 vollzogen sein. Es werden ca. 1.400 MW Reservekraftwerke benötigt, die überwiegend zur Leistungsabsicherung eingesetzt werden, um die Energieversorgung auch in wind- und sonnenarmen Zeiten zu sichern. Wir gehen davon aus, dass dies ein oder mehrere Gaskraftwerke sein werden. Diese können perspektivisch auch mit Wasserstoff betrieben werden.
- Die installierte Leistung **erneuerbarer Energien** zur Stromerzeugung verdoppelt sich bis 2040 auf ca. 22.300 MW. Das Windziel aus der Energiestrategie 2030 (10.500 MW bis 2030) wird voraussichtlich dennoch nicht erreicht. Mit dem im Leitszenario erwarteten Windausbau werden erst im Jahr 2038 2 % der Landesfläche belegt sein. Eine Ursache für das langsamere Wachstum sind die steigenden Rückbauzahlen und die Rechtsunsicherheit im Hinblick auf die Regionalplanungen sowie die Installationszahlen des EEG 2021. Die Photovoltaik gewinnt vor allem wegen der Freiflächenanlagen erheblich an Bedeutung.
- **Brandenburg bleibt Strom-Exportland, exportiert aber deutlich weniger.** Steigt der Strombedarf wie erwartet – vor allem wegen der Produktion von Wasserstoff, aber auch wegen

neuer Anwendungen und der industriellen Ansiedlungserfolge – so kann weniger Strom in andere Bundesländer exportiert werden. Der **Stromexport** könnte von 38 TWh (2018) auf 16 TWh (2040) **zurückgehen**.

- Der Strombedarf für die Erzeugung von **Wasserstoff** (dieser ist Bestandteil des Umwandlungssektors) wurde im Leitszenario für das Jahr 2040 mit rd. 6,7 TWh ermittelt. Hiermit können rd. 5 TWh_{H₂} Wasserstoff erzeugt werden.
- Der **Primärenergieverbrauch** wird bezogen auf 2018 (2007) bis 2030 um 40 % (40,5 %) zurückgehen. Das Einsparziel der Energiestrategie 2030 wird sicher erreicht, auch der Anteil erneuerbarer Energieträger am Primärenergieverbrauch gemäß Energiestrategie dürfte mit 38 % deutlich überschritten werden (Energiestrategie 2030: 32 %)
- Das Leitszenario wird aufgrund seines Designs voraussichtlich nicht zu einer **klimaneutralen** Energieversorgung bis 2050 führen. Zu viel Handlungsbedarf entfiel auf die Dekade zwischen 2040 und 2050, die außerhalb des Kernzeitraums dieser Untersuchung liegt. In Kapitel 8 werden Fragen zur Klimaneutralität diskutiert, die im Zuge des Klimaplanes zu beantworten sind.
- Die **Beschäftigung** im Braunkohlensektor geht stark zurück, der Beschäftigtenrückgang von rd. 7.100 kann aber teilweise durch den Ausbau erneuerbarer Energien aufgefangen werden (+4.500 Beschäftigte).

Es stellt sich die Frage, ob die anstehende Revision der Energiestrategie dazu genutzt werden soll, um eine **Neuausrichtung der Ziele** vorzunehmen. Die strukturellen Änderungen in den nächsten beiden Dekaden erfordern eine aktive Gestaltung der Rahmenbedingungen. Aus Sicht der Prognos AG könnte sich ein **strategisches Zielviereck** aus Energieeffizienz, Wasserstoff, Energieexport und Klimaschutz anbieten.

Energieeffizienz: Die Zeit seit Inkraftsetzung der Energiestrategie 2030 hat gezeigt, dass die Erreichung der Einsparziele auf lange Sicht von übergeordneten Entwicklungen abhängen kann, die in absoluten Zielvorgaben nicht ausreichend abbildbar sind. Aus diesem Grund könnte sich ein auf die Bevölkerung oder die Wertschöpfung bezogenes Effizienzziel anbieten (oder eine Kombination aus beidem). Diese wären auch erreichbar, wenn die Wirtschaft oder die Bevölkerung stärker wachsen.

Wasserstoff: Das Land Brandenburg erarbeitet eine Wasserstoffstrategie. Die Ziele wurden und werden zukünftig mit der Energiestrategie und sollten auch mit dem Klimaplan abgestimmt werden. Es besteht die Chance, dass eine signifikante Menge Wasserstoff in Brandenburg erzeugt und genutzt werden kann. Mit dem Leitszenario wäre das Ziel konsistent, bis 2040 5 TWh (H₂) Wasserstoff aus erneuerbarer Stromerzeugung im Land Brandenburg zu erzeugen.

Exportpotenzial: Das Exportpotenzial Brandenburgs wird sich verändern. Die hohe Stromerzeugung der Braunkohlenkraftwerke geht verloren. Es wird eine neue Orientierung gebraucht, in welchem Umfang Brandenburg Exportland bleiben will. Aus Endenergieverbrauch, Wasserstoffherzeugung und Export ergeben sich die Eckdaten der künftigen Strombilanz.

Schließlich der **Klimaschutz**. Das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg erarbeitet einen Klimaplan. Dieser wird voraussichtlich Vorgaben zum Reduktionspfad enthalten. Das Tempo beim Klimaschutz hat wiederum Auswirkungen auf den Ausbaubedarf erneuerbarer Energien.

Aus diesen strategischen Zielstellungen lassen sich Kennziffern und Strukturen der künftigen Energieversorgung Brandenburgs ableiten.

2 Anlass, Aufgabenstellung und Methodik

Die Prognos AG erhielt Ende September 2020 den Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg zur Erstellung eines Gutachtens für die Fortschreibung der Energiestrategie 2030 auf das Jahr 2040. Das Gutachten soll einerseits die bisherigen Fortschritte auf dem Weg der Energiestrategie 2030¹ evaluieren und andererseits ein in die Zukunft verlängertes, aktuelles Leitszenario bereitstellen, da sich viele Rahmenbedingungen seit der letzten Fortschreibung geändert haben.

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht das **Leitszenario**, welches **die gültige Gesetzeslage zu Beginn des Jahres 2021 abbildet**. Genauere Angaben zu den Annahmen im Leitszenario finden sich in Kapitel 4.

Prognos hat sein bewährtes Modellinstrumentarium eingesetzt, um die Auswirkungen bestimmter Rahmenseetzungen auf die energiewirtschaftliche Struktur transparent zu machen. Dabei stützen wir uns auf aktuelle Studien zur Zukunft der deutschen Energieversorgung. Damit ist sichergestellt, dass die aufgezeigten Ergebnisse konsistent mit der deutschlandweiten Entwicklung sind.

Im Kern stützt sich das Leitszenario auf das Gutachten „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021), welches Prognos zusammen mit seinen Projektpartnern im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft erarbeitet hat. In dieser Studie ist ein umfassendes, konsistentes Bild der zukünftigen Entwicklung der deutschen Energieversorgung gezeichnet. Wie vereinbart wurden die Ergebnisse der deutschlandweiten Untersuchung auf das Land Brandenburg übertragen.

Daneben wurden weitere energiewirtschaftliche Aspekte in Vertiefungen untersucht:

- Welche Wirkungen gehen von **industriellen Ansiedlungserfolgen** aus?
- Was könnte es bedeuten, wenn Brandenburg verstärkt zu einer Deckung des erneuerbaren **Strombedarfs von Berlin** beitrüge?
- Was würde eine Anpassung der Gesetzeslage an das Ziel der **Klimaneutralität** voraussichtlich bedeuten?

Neben der Abbildung der energiewirtschaftlichen Zusammenhänge werden die Auswirkungen auf die **Beschäftigung und Wertschöpfung** kennzahlengestützt abgeschätzt. Das Energieland Brandenburg hat nicht nur eine hohe Bedeutung für die Versorgung Deutschlands mit Energie, sondern profitiert auch davon in Form von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung. Durch den kontinuierlichen Ausbau der erneuerbaren Energien und den absehbaren Bedeutungsverlust der Stromerzeugung aus Braunkohle verschieben sich aber Schwerpunkte.

Dieser Bericht ist das Ergebnis eines längeren **Diskussionsprozesses**. Die (Zwischen-)Ergebnisse wurden dem auftraggebenden Ministerium vorgestellt und mit der Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMAG) diskutiert. Darüber hinaus gab es zahlreiche Gespräche mit Akteuren und einen Termin mit der Energieallianz Brandenburg.

¹ Siehe (MWAE, 2012)

Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg wird im Anschluss an das vorliegende Gutachten die Energiestrategie entwerfen. Gleichzeitig wird durch das MLUK ein Klimaplan erarbeitet, der explizit auf die Emissionen eingehen wird. Aus diesem Grund sind in dieser Studie keine Aussagen zu CO₂-Emissionen enthalten (außer im Kapitel Monitoring).

Das nachfolgende Schema zeigt den Untersuchungsablauf:

Abbildung 1: Projektablauf



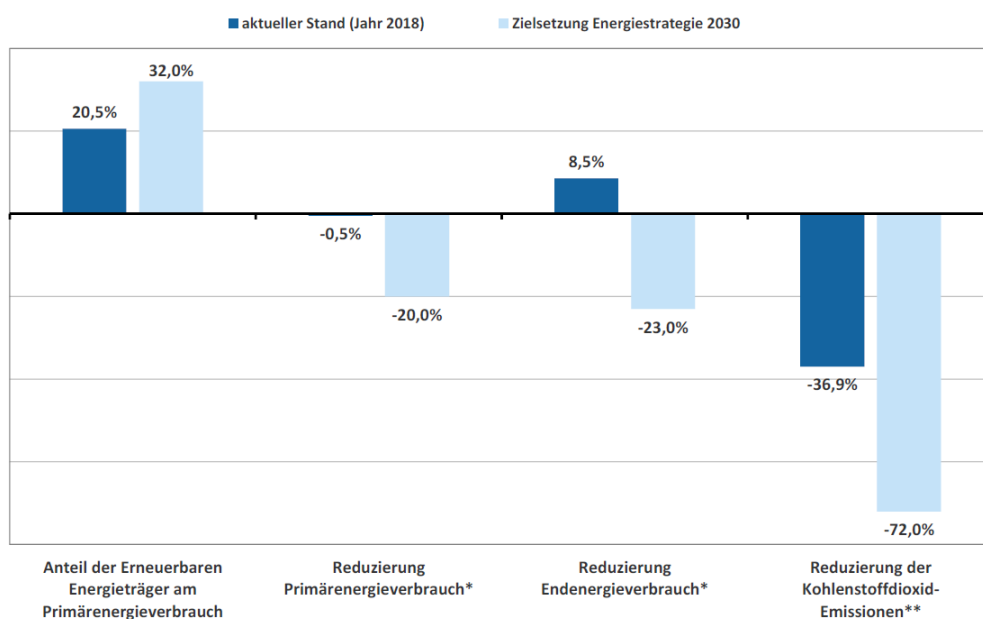
Infolge des Urteils des Bundesverfassungsgerichts vom 24. März 2021 - etwa zum Redaktionsschluss dieses Gutachtens - zog die Bundesregierung das Ziel der Klimaneutralität auf das Jahr 2045 vor und legte den Entwurf eines Klimaschutzgesetzes 2021 vor. Diese Änderungen konnten in das vorliegende Gutachten nicht mehr eingearbeitet werden. Wir weisen aber auf die Überlegungen zum Thema Klimaneutralität in Kapitel 8 dieser Studie hin.

3 Evaluierung der Energiestrategie 2030 – Stand 2020

Das Land Brandenburg lässt jährlich die Zielerreichung der Energiestrategie 2030 monitoren. Die Energieagentur Brandenburg | WFBB führt das Monitoring durch und veröffentlichte zuletzt den 10. Monitoringbericht zum Berichtsjahr 2018 (WFBB, Energieagentur Brandenburg, 2020). Folgende Aussagen beziehen sich auf diesen Bericht:

- Der **Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch** konnte über die Jahre kontinuierlich gesteigert werden und erreichte im Jahr 2018 (Berichtsjahr des letzten Monitoringberichts) 20,5 %. Eine Zielerreichung in den nächsten 10 Jahren erscheint machbar.
- Die Reduzierung des **Primärenergieverbrauchs** um 20 % bis 2030 scheint hingegen noch in weiter Ferne, da bisher praktisch noch keine Primärenergieeinsparung erzielt werden konnte. Es wird sich aber zeigen, dass durch den eingeleiteten Kohlenausstieg eine Zielerreichung sehr wohl möglich ist.
- Beim Einsparziel bezogen auf die **Endenergie** ist die Realität noch weiter vom Ziel entfernt. Statt Endenergie einzusparen, stieg der Endenergieverbrauch sogar um 8,5 % an. Eine Erreichung des Ziels scheint bereits aus heutiger Sicht kaum noch machbar, zumal industrielle Ansiedlungserfolge der Einsparung entgegenwirken.
- Schließlich die **CO₂-Emissionen**. In etwa die Hälfte des Ziels ist erreicht. Wie dargelegt, sind in dieser Studie keine weiteren Aussagen zu den künftigen CO₂-Emissionen enthalten. Es wird auf den Klimaplan verwiesen.

Abbildung 2: Monitoring der Zielerreichung der Energiestrategie 2030



* Veränderung gegenüber dem Jahr 2007 zum Teil vorläufige Werte / Schätzungen

** Veränderung gegenüber dem Jahr 1990

Quelle: (WFBB, Energieagentur Brandenburg, 2020)

4 Rahmenannahmen der Untersuchung

Szenarien sind «Wenn-dann»-Aussagen. Jedes wissenschaftliche Szenario muss daher die Annahmen dokumentieren, unter denen die Analyse durchgeführt wurde. Nur unter der Annahme dieser Prämissen wird sich das ermittelte Ergebnis einstellen. Um die Wirkungen abweichender Entwicklungen abzuschätzen, bietet sich für wichtige Parameter das Verfahren der Sensitivitätsanalyse an (vgl. Kapitel 0 und Kapitel 7).

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Annahmen dokumentiert, die Prognos bei der Erstellung des Leitszenarios zugrunde gelegt hat. Nicht jede Annahme geht „rechnerisch“ in das Ergebnis ein. Die Summe der Annahmen beschreibt aber die „Szenarien-Philosophie“ bzw. gibt Auskunft über das Szenario-Design.

Das Leitszenario im Überblick

Es wurde vereinbart, dass das Leitszenario die gültige Gesetzeslage zum 1. Januar 2021 abbildet. Dabei sind Gesetze und Verordnungen auf verschiedenen räumlichen Ebenen relevant, was aus der nachfolgenden Darstellung hervorgeht.




Das Leitszenario übernimmt dabei die in Gesetzen konkret fixierten Entwicklungslinien. Absichtserklärungen ohne Untersetzung in Maßnahmen werden nicht berücksichtigt.

Darüber hinaus wurde vereinbart, dass sich die vorliegende Untersuchung auf das Gutachten „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021) stützt. Diese Studie bildete die Grundlage des sogenannten Nationalen Energie- und Klimaplan (National Energy and Climate Plan, NECP).

Grundsätzliches Ziel des integrierten Nationalen Energie- und Klimaplan ist eine verbesserte Koordinierung der europäischen Energie- und Klimapolitik, um die Klimaziele im Jahr 2030 zu erreichen. Entsprechend den Verordnungen müssen alle EU-Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021 bis 2030 einen NECP erstellen. Die finale Fassung des deutschen NECP wurde am 10. Juni 2020 durch das Bundeskabinett beschlossen und anschließend an die EU-Kommission übermittelt. Vor diesem Hintergrund besitzen die NECP-Szenarien eine große Bedeutung auf europäischer Ebene. Der deutsche NECP beinhaltet ein Referenzszenario und ein Szenario mit Klimaschutzprogramm. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird auf das Szenario mit Klimaschutzprogramm Bezug genommen. In diesem Szenario wird eine Treibhausgasminderung von 87,5 % gegenüber dem Jahr 1990 erreicht.

Für weitere Informationen wird auf die ausführliche Dokumentation des oben genannten Gutachtens verwiesen.

Abbildung 3: Auswahl gesetzlicher Regelungen die im Leitszenario berücksichtigt wurden

 <p>Europa</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Richtlinie über das EU-ETS ▪ Lastenteilungsverordnung ▪ CO₂-Emissionsnormen für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verordnung über Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF); ▪ Energieeffizienz-Richtlinie; ▪ Erneuerbare-Energien-Richtlinie <p>...</p>
 <p>Deutschland</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kohlenausstiegsgesetz ▪ EEG (2021) ▪ Bundesimmissionsschutzgesetz ▪ Energiesicherungsgesetz (EnSiG) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KWKG ▪ TEHG ▪ Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) ▪ Bundesberggesetz (BBergG) <p>...</p>
 <p>Brandenburg</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Koalitionsvertrag ▪ Landesentwicklungsplan ▪ Energiestrategie 2030 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Windenergieanlagen Abgabengesetz <p>...</p>

4.1 Demografie, Wirtschaft, Energiepreise

Energiewirtschaftliche Szenarien benötigen Annahmen über die demografische und wirtschaftliche Entwicklung der Region, für die sie eine Aussage treffen.

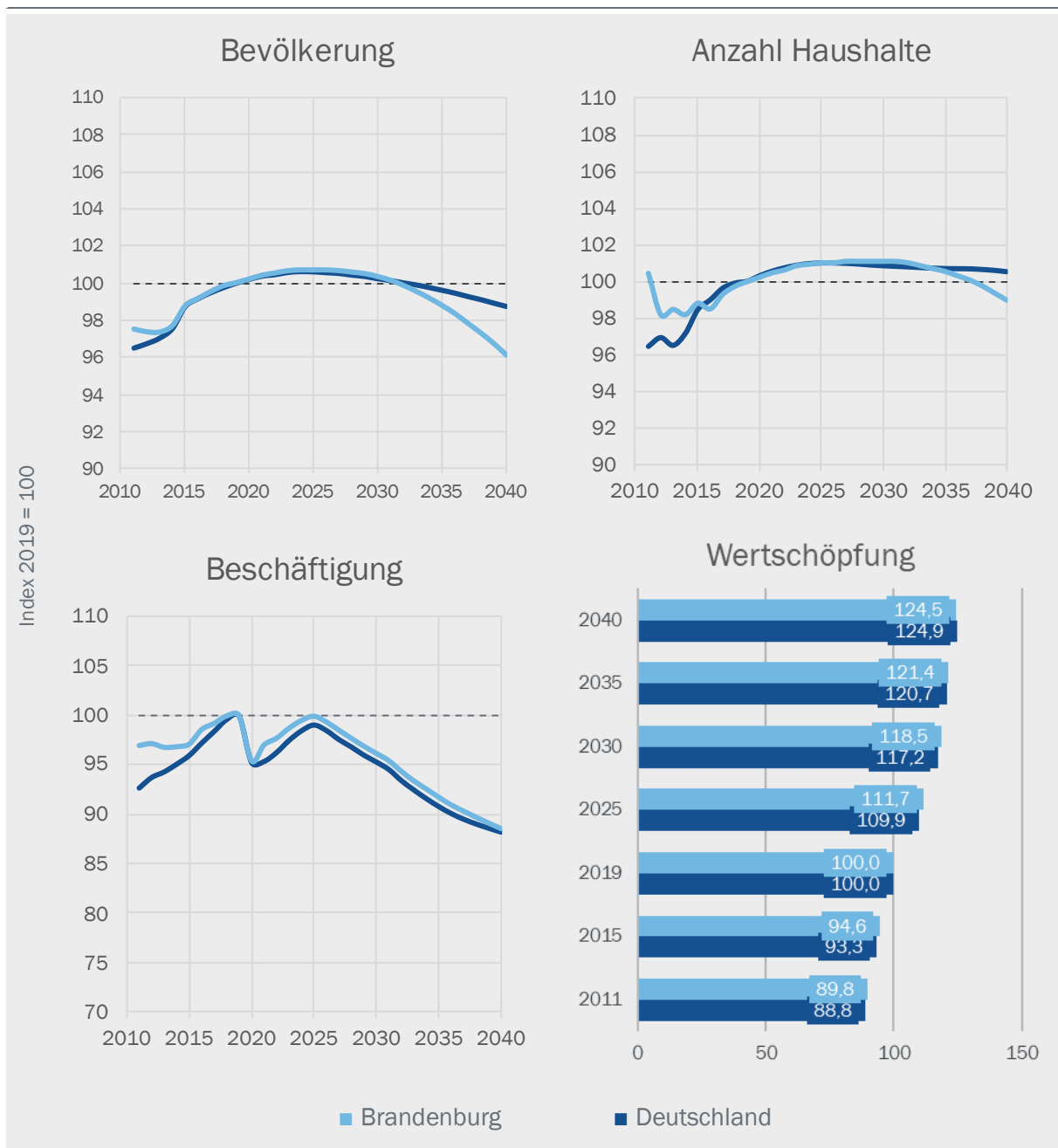
- Private Haushalte fragen beheizten Wohnraum nach und verwenden Elektrogeräte. Somit beeinflusst die Bevölkerungszahl den Energieverbrauch.
- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen nutzen ebenfalls (beheizte) Gebäude und Geräte (z.B. PC), die Energie verbrauchen. In der Modellierung wird meist davon ausgegangen, dass sich der Energiebedarf dieses Sektors proportional zur Erwerbstätigkeit verhält.
- Der Energiebedarf im verarbeitenden Gewerbe (Industrie) hingegen ist vor allem von der Produktion abhängig. Diese wird aus Gründen der Vereinheitlichung in Wertgrößen (und nicht etwa in physikalischen Einheiten wie Stückzahlen gemessen. Der verwendete Indikator ist die Bruttowertschöpfung.
- Der Energiebedarf, der durch Mobilität (= Personenverkehr) und Transport (= Güterverkehr) verursacht wird, unterliegt hingegen den „gefahrenen Distanzen“, meist gemessen in „Personenkilometern“ und „Tonnenkilometern“.

Im Folgenden sind die wichtigsten demografischen und wirtschaftlichen Kennzahlen als Indices dargestellt. Diese wird gewählt, weil so ein einfacher Vergleich mit dem Vergleichsraum Deutschland möglich ist.

2019 lebten rund 2,51 Mio. Menschen im Land Brandenburg. Die **Bevölkerungszahl** wird Mitte der 20er Jahre ihren Höchststand erreichen. Danach sind moderate Bevölkerungsverluste infolge des demografischen Wandels zu erwarten.

2019 waren rund 1,26 Mio. **private Haushalte** in Brandenburg gemeldet. Der anhaltende Trend zum Einpersonenhaushalt (und die zunehmende Bevölkerung) lässt nach anfänglicher Steigerung bis nach 2030 eine stabile Haushaltsentwicklung erwarten. Die Schwankungen von +/- 1 % fallen kaum ins Gewicht.

Abbildung 4: Indexentwicklungen demografischer und wirtschaftlicher Kennzahlen



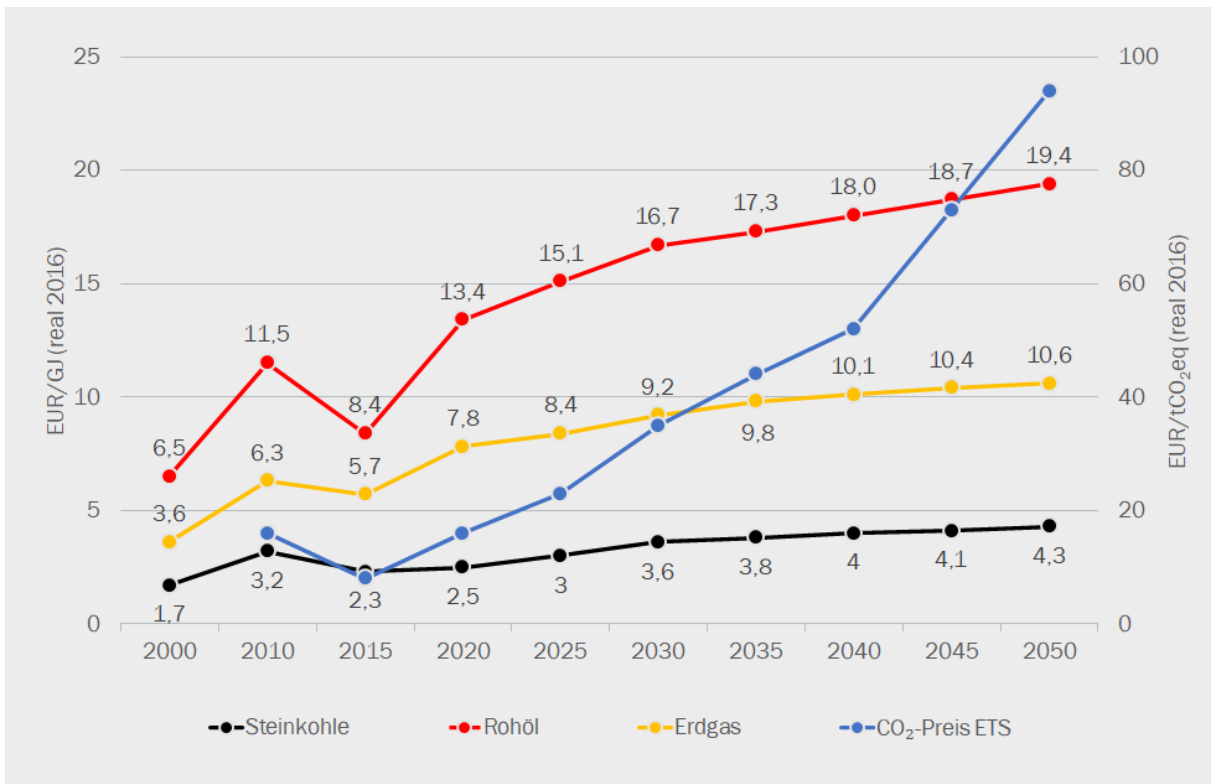
Quelle: Eigene Berechnung auf Basis des Statistischen Landesamtes und des REGINA-Modells

Die Darstellung zeigt ein Wirtschaftswachstum, welches recht nah am deutschen Wachstum von 1,1 % p.a. liegt und einen Rückgang der Beschäftigung um in etwa 12 % gegenüber 2019. Da das Erwerbspersonenpotenzial, also die Zahl der Personen im erwerbsfähigen Alter durch die Alterung der Bevölkerung noch stärker zurückgeht, ist mit dieser Entwicklung kein Anstieg der Arbeitslosigkeit zu erwarten. Vielmehr dürfte sich der Fachkräftemangel weiter verschärfen, ein Aspekt, der allerdings für die energiewirtschaftliche Prognose außer Betrachtung bleibt.

Weitere Parameter, die insbesondere in der Strommarktmodellierung eine Rolle spielt, sind die **Energiepreise**. Weltweit ist Rohöl der wichtigste fossile Energieträger und wird international gehandelt. Der Ölpreis wird als „Leitwährung“ der Energiemärkte bezeichnet und gibt die grundsätzliche Richtung der angenommenen Preisentwicklungen für Erdgas und Kohle in den Szenarien vor. Es lässt sich zeigen, dass zwar jeder Energieträger sein „Eigenleben“ hat, aufgrund der immer noch bestehenden Bindungen aber auch noch eine Korrelation (Anlegbarkeit) zwischen den Energiepreisen besteht. Dabei werden Energieträger mit höherem CO₂-Fußabdruck aufgrund der steigenden CO₂-Preise tendenziell teurer. Prognos leitet aus den internationalen Ölpreisen Brennstoffpreise (Gas/Kohle) für die deutschen Kraftwerke ab, die dann Eingang in die Strommarktmodellierung finden. Die Kosten für CO₂-Emissionen sind Bestandteil der Grenzkosten der Kraftwerke und beeinflussen somit auch den Kraftwerkseinsatz.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Energiepreisannahmen, die in die Studie „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen“ eingeflossen sind. In der Interpretation der Grafik ist zu berücksichtigen, dass die verwendeten Energiepreispfade am aktuellen Rand deutlich über den Marktpreisen liegen. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse für das Jahr 2020 zu berücksichtigen. Auch die CO₂-Preise sind mittlerweile höher. Dazu ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Abfassung des zugrundeliegenden Gutachtens noch keine Zielstellung der Bundesregierung für eine Klimaneutralität bereits im Jahr 2045 vorlag. Die hier gezeigte Annahme ist aber konsistent mit dem zugrunde gelegten Gutachten.

Abbildung 5: Reale Grenzübergangpreise und CO₂-Preis im ETS (in €2016 / GJ Hu)



Quelle: (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021)

4.2 Energie- und Klimapolitik

Die Energie- und Klimapolitik hat gegenüber dem letzten Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg nochmals an Tempo gewonnen. Die nachfolgende Tabelle enthält eine Gegenüberstellung der wichtigsten Änderungen seit 2017 in den unterschiedlichen Regelungsbereichen. Es zeigt sich, dass insbesondere die Diskussion und politische Festlegung auf ein klimaneutrales Deutschland im Jahr 2050 wichtige Impulse ausgelöst hat. Allerdings reichen die heute fixierten Maßnahmen noch nicht aus, um bis 2050 eine ausgeglichene THG-Bilanz zu erreichen.

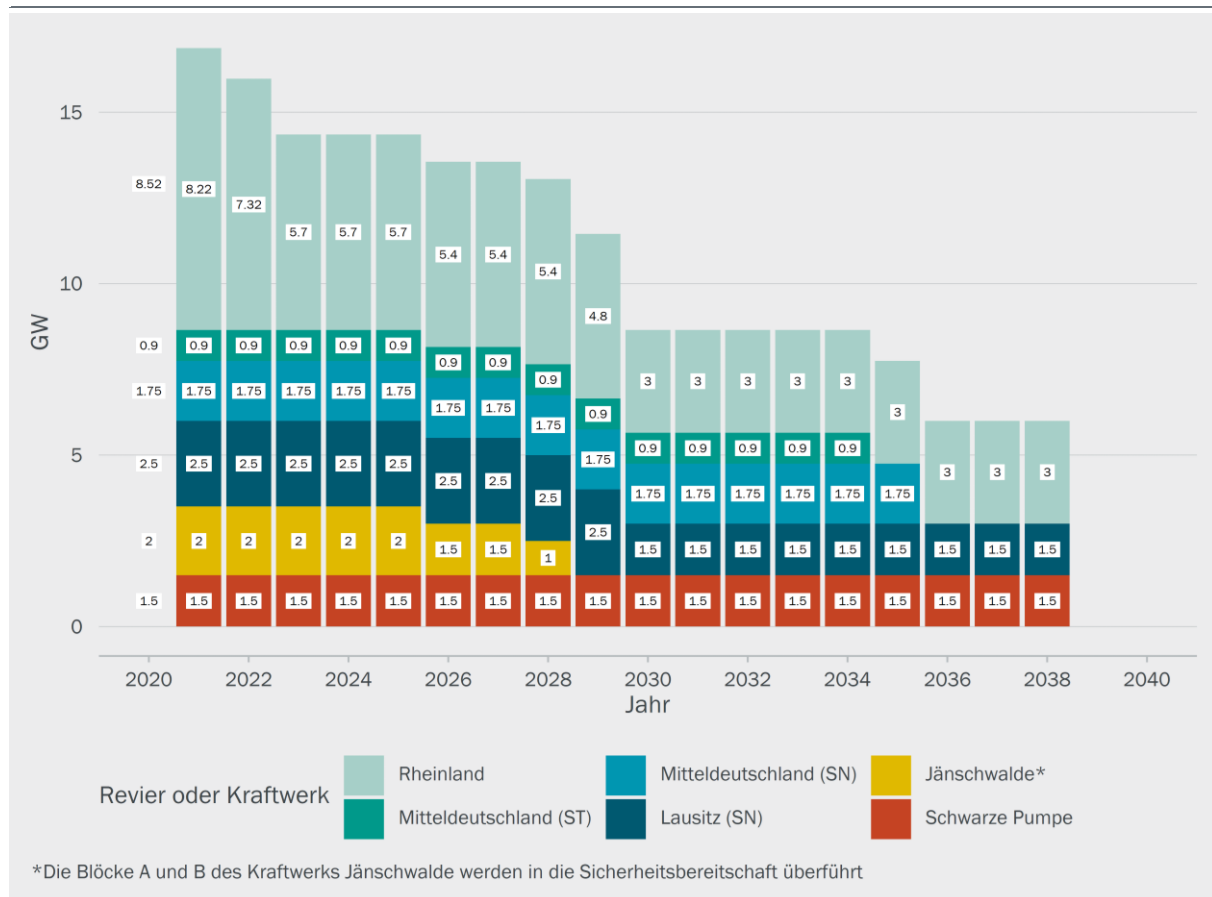
Tabelle 1: Vergleich der Energie- und Klimapolitik 2017 und 2020

	Jahr	Inhalt
Internationa- ler Klima- schutz	2017	Klimavertrag von Paris 2015 (2 Grad-Ziel bzw. 1,5 Grad-Ziel)
	2020	<ul style="list-style-type: none"> ■ European Green Deal bis 2050 THG Netto-Null ■ Diskussion um Anhebung des Ziels für das Jahr 2030 von -40 % auf -55% bis -60%
Klimaziele Deutschland	2017	2030: Klimaschutzplan 2050 mit sektoralen THG-Zielen für 2030: Energiewirtschaft 175 - 183 MtCO ₂ äq. 2050: 80%- bis -95%-THG-Reduktion im Vergleich zu 1990
	2020	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2030: Klimaschutzprogramm 2030 10/2019 zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 ■ Brennstoffemissionshandelsgesetz BEHG 12/2019 neue CO₂-Bepreisung für Verkehr und Wärme ab 2021 (nEHS) ■ Bundes-Klimaschutzgesetz 12/2019 mit zulässigen Jahresemissionsmengen und sektorscharfen Zieldefinitionen für 2030: z.B. Energiewirtschaft 175 MtCO₂äq ■ Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung (Kohleverstromungsbeendigungsgesetz – KvbG = Kohleausstiegsgesetz) und Änderung weiterer Gesetze 08/2020 jedoch Zielverfehlung mit diesen Maßnahmen 2050: Erste Diskussionen und Szenarien zur Klimaneutralität (THG-Emissionen Netto-Null) bis spätestens 2050 - Einsatz von CO ₂ -Entnahme-Methoden dafür notwendig.
Erneuerbare Energien	2017	Anteil EE am Stromverbrauch (EEG 2017): 40 % bis 45 % in 2025 und 55 % bis 60 % in 2035
	2020	Anteil EE am Bruttostromverbrauch in 2030 mindestens 65 % (Kohleausstiegsgesetz) Mindestabstand von 1.000-Meter für Wind Onshore mit Opt-in-Regel für Bundesländer 52-GW-Photovoltaik-Deckel wurde aufgehoben 06/2020. 12/2020: EEG 2021
Energie- effizienz	2017	„Efficiency First“; Entwurf Gebäudeenergiegesetz
	2020	Energieeffizienzstrategie 12/2020; Gebäudeenergiegesetz (GEG) 11/2020
Wasserstoff	2017	Brandenburg arbeitet bereits an Wasserstoffthemen und an einem Eckpunktepapier. 2019 wird eine Potentialstudie veröffentlicht.
	2020	Wasserstoffstrategie der Bundesregierung 06/2020, einzelner Bundesländer und der Europäischen Kommission 07/2020
CCS	2017	Keine Aktivitäten
	2020	Diskussionen über Einsatz von CCS in der Industrie (Zement, Chemie, Stahl), zur Herstellung von Blauem Wasserstoff und zur Erzeugung negativer CO₂-Emissionen
CO ₂ -Ent- nahme-Me- thoden	2017	Noch kein Thema
	2020	Erste Diskussionen zu CO₂-Entnahme-Methoden zur Generierung negativer Emissionen für die Kompensation residueller Emissionen (Landwirtschaft etc.)

Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Besonders erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist das **Kohleausstiegsgesetz**, da es unmittelbar auf den Bestand der Kohlenkraftwerke in Brandenburg Einfluss nimmt. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Stilllegungsfahrplan laut Kohleausstiegsgesetz. In den Jahren 2022, 2026, 2029 und 2032 sollen Überprüfungen stattfinden, um eine mögliche frühere Stilllegung bereits zum 31.12.2035 in Betracht zu ziehen (§ 47 Kohleausstiegsgesetz).

Abbildung 6: Stilllegungsfahrplan laut Kohleausstiegsgesetz



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

Ein wesentlicher Treiber der Ausbautzahlen von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung (EE-Anlagen) ist seit 1998 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). EE-Anlagen werden nach EEG mithilfe einer festen Einspeisevergütung oder Marktprämie gefördert. Außerhalb des Förderregimes des EEG entstehen nur wenige EE-Anlagen aus Eigenwirtschaftlichkeit.

Das EEG wurde zuletzt zum Jahreswechsel 2020/2021 reformiert und legt u.a. einen Ausbaupfad für Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung auf Bundesebene fest. Die jährlichen Ausschreibungsvolumina auf Bundesebene für Wind an Land, Photovoltaik, Bioenergie sowie Innovationsausschreibungen - welche die Basis für die in diesem Szenario angenommenen Zubauzahlen in Brandenburg bilden - sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Ausschreibungsvolumina stellen dabei eine Obergrenze der durch das EEG geförderten Anlagen dar: die Volumina werden nicht zwingend ausgeschöpft – hier kommt es auf Gebotsmengen und Realisierungswahrscheinlichkeiten der

Projektiert an. Neu im EEG 2021 ist eine Verordnungsermächtigung, welche es der Bundesregierung erlaubt, Ausschreibungsmengen mittels Verordnung anzupassen.²

Tabelle 2: Jährliche Ausschreibungsvolumina nach EEG 2021

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Wind an Land	4,5	2,9	3,0	3,1	3,2	4,0	4,8	5,8	...
PV	2,15	1,9	2,0	2,0	2,05	1,95	1,95	1,95	...
... davon Dachanlagen, gestaffelt	0,3	0,3	0,35	0,35	0,4	0,4	0,4	0,4	...
... davon Freiflächenanlagen (FFA)	1,85	1,6	1,65	1,65	1,65	1,55	1,55	1,55	...
Innovationsausschreibungen	0,5	0,6	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	...
Bioenergie	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	...
... davon feste Biomasse und Biogas	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	...
... davon Biomethan	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	...

Quelle: EEG 2021 §28a-c

© Prognos AG, 2021

Weitere wichtige Vorgaben des EEG betreffen Vorgaben zur Förderung von Biomasseanlagen. Hier wird neben der Vergütung von Arbeit über die Flexibilitätsprämie, bzw. den Flexibilitätszuschlag die Bereitstellung von Leistung vergütet, die im Anschluss flexibel eingesetzt wird (§39i, §50).

4.3 Entwicklung der Energieeffizienz

Die Umsetzung der Energiewende muss europäisch und international gedacht werden. Ein wichtiges Instrument in diesem Zusammenhang ist der integrierte Nationale Energie- und Klimaplan (NECP). In den NECPs müssen die EU-Mitgliedstaaten umfassend zu ihrer nationalen Energie- und Klimapolitik für den Zeitraum von 10 Jahren berichten. In diesem Zusammenhang spielen die Punkte Energieeffizienz und der Ausbau erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle. Beispielsweise legt die Energieeffizienzstrategie 2050 (EffSTRA) eine Minderung des Primärenergieverbrauchs um 30% gegenüber 2008 bis zum Jahr 2030 als deutschen Beitrag zum EU-2030-Ziel fest. Der deutsche NECP widmet sich ab Seite 97 intensiv dem Thema Energieeffizienz (NECP).

Im deutschen NECP werden ein Referenzszenario und ein Szenario mit Klimaschutzprogramm dargestellt. Im Referenzszenario werden Politiken und Maßnahmen abgebildet, die bis zum 31. Dezember 2017 durchgeführt oder verabschiedet wurden. Das Szenario mit Klimaschutzprogramm, auf welchem das in dieser Studie dargestellte Leitszenario beruht, berücksichtigt zusätzliche geplante weiterführende Maßnahmen, die danach auf den Weg gebracht wurden. Dies umfasst beispielsweise die Beschlüsse des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung vom Herbst 2019 und die daraus abgeleiteten konkreten Gesetzesänderungen und Maßnahmen.

Neben den Treibern des Energieverbrauchs, die in den vorstehenden Kapiteln dargestellt sind, ist die Entwicklung der Energieeffizienz ein entscheidender Einflussfaktor der künftigen Entwicklung

² Nach dem 21.12.2020 vorgenommene Änderungen an den Ausschreibungsvolumina konnten aufgrund des Redaktionsschlusses der Studie nicht mehr in den Modellierungen berücksichtigt werden.

und ein wichtiger Baustein für das Gelingen der Energiewende. Die deutsche Gesetzgebung, die z. B. Bestimmungen für die Sanierung von Bestandsgebäuden und für den Neubau enthält, gilt selbstverständlich auch für das Land Brandenburg. Dementsprechend werden die Wärmedämmstandards aus der EnEV in der Modellierung des Energiebedarfs zugrunde gelegt.

4.4 Erneuerbare Energien

Die Erzeugungstechnologien im Bereich der erneuerbaren Energien (EE), insbesondere die Windenergie, unterliegen weiterhin bedeutenden technischen Weiterentwicklungen. Für die Szenariobildung müssen daher einige Annahmen bezüglich der Technologieentwicklung getroffen werden. Die wichtigsten Annahmen sind der Flächenbedarf pro installierter Leistung, die **erzielbaren** Volllaststunden sowie die technischen Lebensdauern der Anlagen. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Entwicklung technischer Prämissen zur erneuerbaren Stromerzeugung

Variable	Einheit	2020	2030	2040
Wind an Land				
Volllaststunden	h	1830	2033	2173
Leistungsdichte auf Flächen	MW / km ²	21,7	20,8	18,5
Lebensdauer	a	25	25	25
Photovoltaik Freifläche				
Volllaststunden	h	950	975	1000
Leistungsdichte auf Flächen	MW / km ²	50	50	50
Lebensdauer	a	25	25	25
Photovoltaik Dachfläche				
Volllaststunden	h	831	818	817
Leistungsdichte auf Flächen	MW / km ²	100	100	100
Lebensdauer	a	25	25	25
Biomasse				
Volllaststunden*	h	6040	4900	4300
Lebensdauer	a	25	25	25
Wasserkraft				
Volllaststunden	h	4000	4000	4000
Lebensdauer	a	50	50	50

* Parameter sind Resultate der Strommarktmodellierung

5 Ergebnisse Leitszenario

5.1 Endenergie

In diesem Kapitel wird die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für das Land Brandenburg im Leitszenario dargestellt. Dabei wird der Endenergieverbrauch sowohl nach den Verbrauchssektoren als auch nach Energieträgern ausgewiesen.

Die Ermittlung des Endenergieverbrauchs für das Land Brandenburg basiert grundsätzlich auf dem NECP-Szenario „Klimaschutzprogramm“. Für die Regionalisierung dieses Szenarios wurde für die einzelnen Sektoren unterschiedlich vorgegangen.

Für die Ist-Analyse wurde auf den aktuellen Monitoring-Bericht und die vorliegende Energiebilanz des Landes Brandenburg zurückgegriffen. Für den Bereich der Privaten Haushalte wurde die brandenburgische Beheizungsstruktur der Wohnungen analysiert. Zusammen mit den spezifischen Bedarfsentwicklungen der Wohnungen (unter der Berücksichtigung von Sanierungen) wurde der Raumwärmebedarf ermittelt. Der Warmwasserbedarf wurde auf Basis der Beheizungsstruktur und der Bevölkerungsentwicklung ermittelt. Für die sonstige Prozesswärme in diesem Bereich war die Haushaltszahl der entscheidende Parameter.

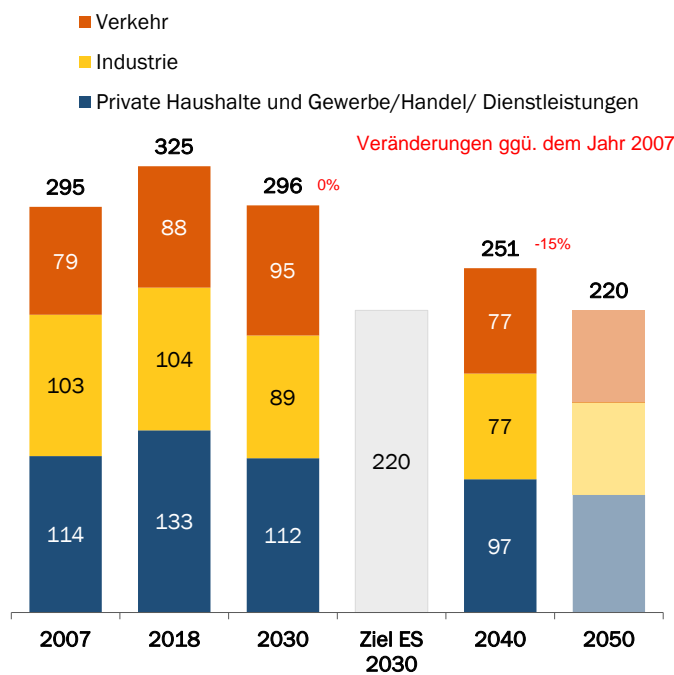
Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Sektoren Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen und Industrie wurde anhand wirtschaftlicher Indikatoren ermittelt. Für den GHD-Bereich erfolgte die Fortschreibung anhand der Erwerbstätigkeit. In der Industrie stellt die Entwicklung der Bruttowertschöpfung den entscheidenden Parameter dar.

Die Regionalisierung im Verkehrsbereich erfolgte anhand der Bevölkerungsentwicklung.

Der Endenergiebedarf wird kontinuierlich insbesondere aufgrund einer steigenden Energieeffizienz zurückgehen. Parallel dazu kommt es zu einem Energieträgerwechsel zu Erneuerbaren bzw. treibhausgasneutralen Energieträgern. Die Entwicklung fällt auch aufgrund spezifischer Effekte in den einzelnen Verbrauchssektoren und für die Energieträger unterschiedlich aus.

Im betrachteten Szenario geht der Endenergieverbrauch von rund 325 PJ im Jahr 2018 auf rund 251 PJ im Jahr 2040 (-23 %) zurück. Dabei zeigen sich Unterschiede in den Verbrauchssektoren. Der Rückgang in den Sektoren Private Haushalte, GHD und Industrie liegt bei rund einem Viertel.

Abbildung 7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren (in PJ, temperaturbereinigt)



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

Dagegen ist im Verkehrsbereich kurz- bis mittelfristig durch die Inbetriebnahme des BER mit einem Anstieg des Endenergieverbrauchs zu rechnen. Dementsprechend fällt der Rückgang bis zum Jahr 2040 in diesem Sektor geringer aus.

Für das Erreichen dieses Rückgangs ist eine Transformation in allen Sektoren erforderlich. Im Vergleich zum Jahr 2007 ist der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2018 gestiegen. Es wird davon ausgegangen, dass die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen (z.B. erhöhte Sanierungsrate, Prozessoptimierungen, Implementierung neuer Verfahrenstechniken, Energieträgerwechsel) in allen Sektoren erfolgt. Hierfür sind einerseits weitere Verschärfungen der regulatorischen Rahmenbedingungen aber auch weitere wirtschaftliche Anreize wie Förderprogramme erforderlich. Beide liegen nur teilweise im Handlungsspielraum des Landes.

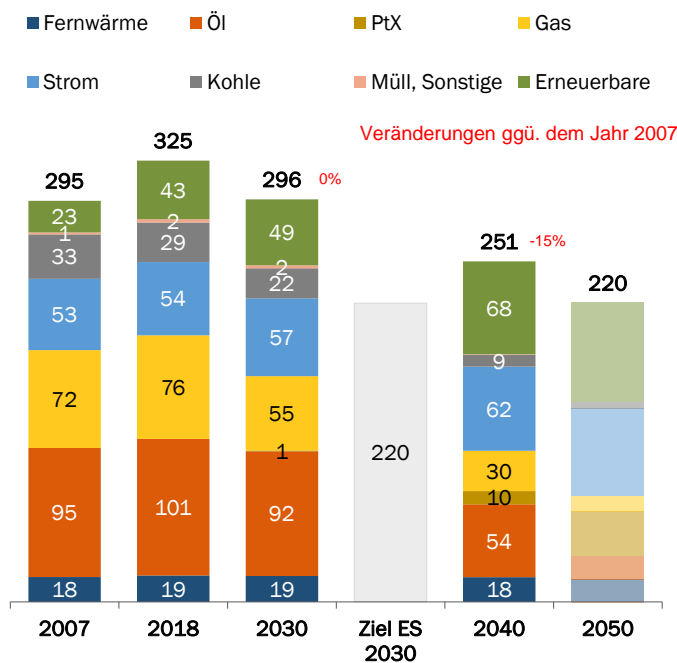
Durch die Inbetriebnahme des BER wird davon ausgegangen, dass sich der brandenburgische Endenergiebedarf im Verkehrssektor erhöht. Da der Flugverkehr nicht mehr von Berlin, sondern ausschließlich von Brandenburg aus startet, fällt der Endenergieverbrauch des Flugverkehrs nun in Brandenburg an. Es wird zudem davon ausgegangen, dass sich Endenergieverbrauch des Flugverkehrs durch die Corona-Krise bis 2025 auf das alte Niveau erholt und nach 2025 konstant bleibt. Ohne den „BER-Effekt“ würde der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor im Jahr 2040 bei rund 59 PJ liegen und damit rund ein Drittel unter dem Niveau des Jahres 2018. Sollte zukünftig eine Neuordnung bei den Länderenergiebilanzen erfolgen, wonach Berlin und Brandenburg sich den Endenergieverbrauch des BER bilanziell aufteilen, würde sich ein Wert ungefähr zwischen 59 PJ und 97 PJ ergeben. Die zunehmende Elektrifizierung des Verkehrs führt generell zu einem Rückgang des Energiebedarfs.

Im Leitszenario zeigen sich auch deutliche Unterschiede bei der Entwicklung der einzelnen **Energieträger**. Strom (Elektrifizierung) und Erneuerbare können zulegen, fossile Energieträger verlieren Marktanteile. Es kommt zu einer deutlichen Substitution hin zu strombasierten und treibhausgasneutralen Energieträgern in allen Sektoren (z.B. bei der Heizungsstruktur der Gebäude oder den Antriebstechnologien im Verkehrssektor).

Im Leitszenario verbleiben in allen Sektoren fossile Energieträger, da hier keine Klimaneutralität unterstellt wurde. Im Verkehrsbereich erfolgt der Einsatz von Wasserstoff und strombasierter flüssiger Kraftstoffe. Wasserstoff, synthetische Gase und Kraftstoffe werden als „PtX“ ausgewiesen. Die Bedeutung der erneuerbaren Energieträger (Biomasse, Solarthermie, Geothermie) wird weiter deutlich zunehmen.

Der Fernwärmebedarf bleibt über den Betrachtungszeitraum konstant. Dabei kann die Fernwärme weitere Marktanteile an der Heizungsstruktur gewinnen. Bereits heute liegt der Anteil der Fernwärme an der Heizungsstruktur in Brandenburg deutlich über dem Bundesdurchschnitt, dies wird auch in Zukunft so bleiben. Gebäudesanierungen und weitere Effizienzmaßnahmen wirken dieser positiven Flächenentwicklung (d.h. die mit Fernwärme beheizte Fläche steigt) entgegen.

Abbildung 8: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern (in PJ, temperaturbereinigt)



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

5.2 Erneuerbare Energien

Die Entwicklung eines Ausbaupfads der erneuerbaren Energien im Land Brandenburg muss vor dem Hintergrund der in Kapitel 4.4 dargelegten Mengensteuerung des EEG2021 erfolgen. Seit dem EEG2017 erfolgte eine grundsätzliche Umstellung des Fördersystems für erneuerbare

Energien weg von einer Preissteuerung mit gesetzlich festgelegten Vergütungssätzen. Die ermittelten Ausbaumengen basieren daher auf dem angenommenen mengengesteuerten Ausbau in Deutschland, welcher dann auf das Land Brandenburg regionalisiert (anteilig verteilt) wird.

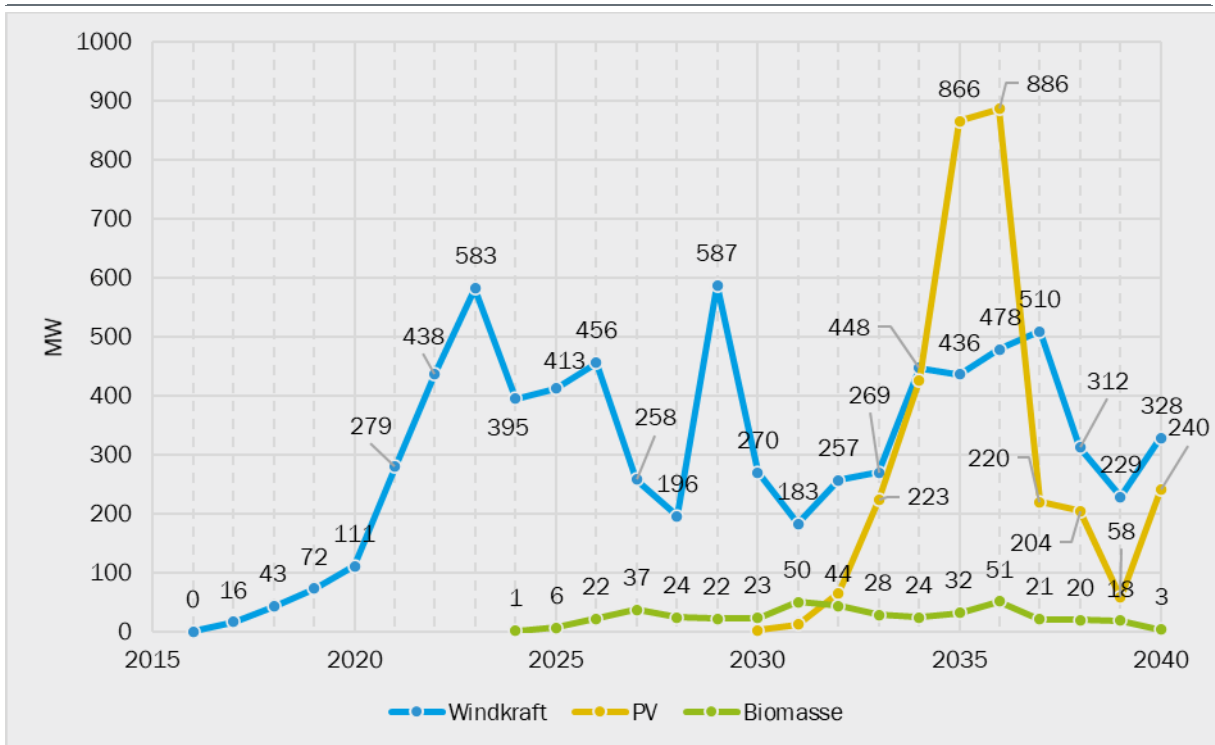
Tabelle 4 zeigt die angenommene Entwicklung des Verhältnisses der in Brandenburg installierten Leistung zur bundesweit installierten Leistung in Prozent. Der Anteil der in Brandenburg installierten Windkraftleistung bleibt in etwa konstant bei 12 %. Der Anteil bei der PV Freifläche nimmt leicht ab. Hier hat Brandenburg im Jahr 2018 einen Anteil von 21 %. Es wird erwartet, dass auch in anderen Bundesländern die PV-Freifläche stärker ausgebaut wird und es somit zu einer langfristigen Verringerung dieser Position kommt. Der Anteil der PV-Dachfläche wird mit 3 % als etwa konstant angenommen. Auch der Anteil der Biomasseleistung bleibt etwa konstant.

Tabelle 4: Entwicklung der Anteile der in Brandenburg installierten Leistung an der installierten Leistung in Deutschland.

	2018	2030	2040
Wind an Land	12 %	12 %	12 %
PV Freifläche	21 %	19 %	16 %
PV Dachfläche	3 %	3 %	3 %
Biomasse	6 %	6 %	6 %

Um den tatsächlichen Zubau (Nettozubau) in Brandenburg zu ermitteln, muss vom Bruttozubau zunächst der zu erwartende Rückbau abgezogen werden. Ab dem Jahr 2020 endet erstmals der EEG-Vergütungsanspruch (BWE, 2020). Für Betreiber von Altanlagen stellt sich die Frage, ob Anlagen danach weiter betrieben werden, mittels Ersatzneubau ersetzt werden (Repowering) oder ersatzlos zurück gebaut werden. Für Windenergie an Land ist ein signifikanter Rückbau ab dem Jahr 2020 zu erwarten, der im Leitszenario in den Jahren 2023 und 2029 sogar zu einem Rückgang der insgesamt in Brandenburg installierten Leistung führen kann. In dieser Studie wird angenommen, dass eine hohe Anzahl an Altanlagen mittels Repowering ersetzt wird. Für Solar PV wird ein starker Rückbaueffekt erst ab dem Jahr 2033 erwartet, 25 Jahre nach den starken Zubaujahren 2008 bis 2012.

Abbildung 9: Ende der EEG-Förderung nach Jahr



Quelle: Prognos AG

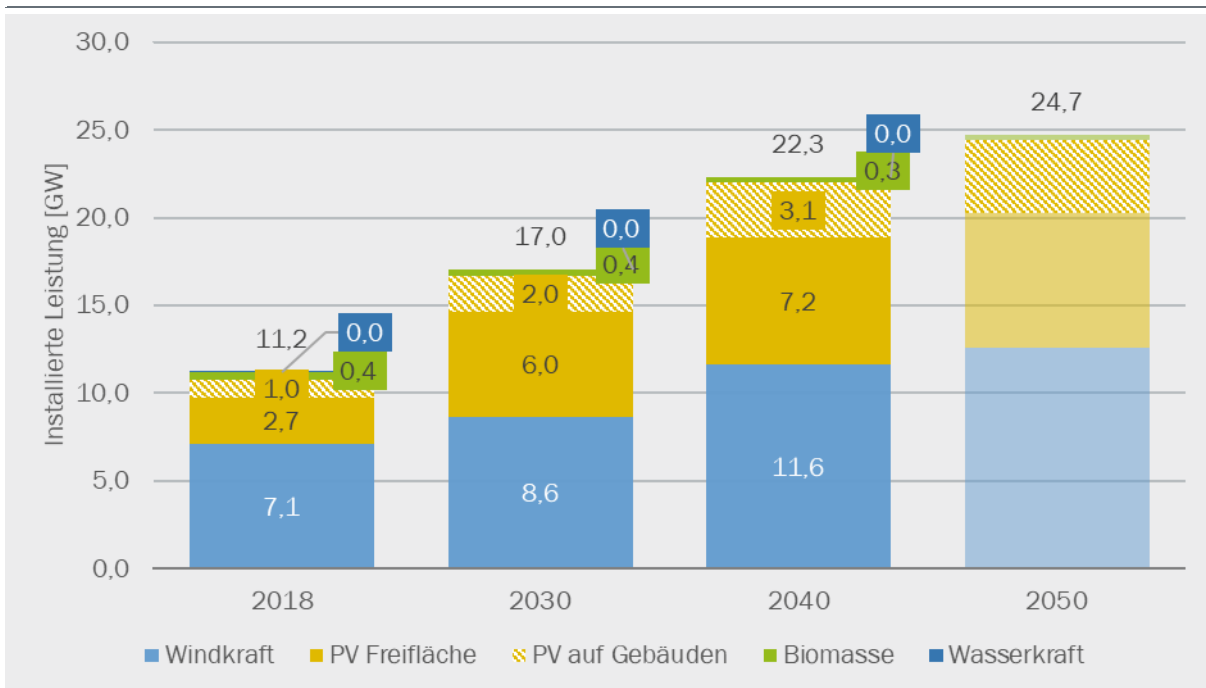
© Prognos AG, (2021)

Die aus der Berücksichtigung der Ausschreibungsmengen, Realisierungswahrscheinlichkeiten, deren regionaler Verteilung sowie dem Rückbau von Altanlagen resultierende Leistung von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung ist in Abbildung 10 dargestellt.

Aufgrund der hohen Unsicherheiten bezüglich der Realisierung sowie der hohen Rückbauzahlen für **Windkraftanlagen** ist hier nur eine moderate Erhöhung der installierten Leistung zu erwarten. Das in der Energiestrategie formulierte Ziel einer installierten Leistung von Windkraftanlagen von 10,5 GW im Jahr 2030 wird im Leitszenario nicht erreicht. Zu ähnlichen Einschätzungen kommen auch der BWE und VKU in Brandenburg (energateg-messenger, 2021). Die Flächenbereitstellung für Windkraft stockt, da vier von fünf Regionalplanungen von Gerichten für unwirksam erklärt worden sind. Die Beteiligung der Kommunen wurde in Brandenburg mithilfe des Windenergieanlagenabgabengesetzes seit 2019 verbessert, was einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz haben dürfte. Dennoch gestaltet sich ein positiver Nettozubau in Brandenburg aufgrund der angespannten Flächenbereitstellung schwierig. Ein Repowering auf bestehenden Flächen erhöht zwar die installierte Leistung, wird allerdings nicht reichen, um das Ausbauziel bis 2030 zu erreichen.

Ein starker Zuwachs ist im Bereich der **Photovoltaik** zu erwarten. Durch deutlich angehobene Ausschreibungsmengen und einem stabilen Anteil Brandenburgs an den zu erwartenden Gebotsmengen erhöht sich die Leistung im Segment PV-Freifläche von 2,7 GW im Jahr 2018 auf 7,2 GW im Jahr 2040. Die installierte Leistung der PV-Dachanlagen im Brandenburg lag im Verhältnis zur bundesweit installierten Leistung etwa konstant bei 3 %. Dieser Trend wird als konstant angenommen, was sich in einer Steigerung der installierten PV-Dachanlagenleistung von 1,0 GW im Jahr 2018 auf 3,1 GW im Jahr 2040 äußert.

Abbildung 10: Installierte Leistung Anlagen erneuerbarer Stromerzeugung



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

Biomasse wird für die Energieversorgung als Feststoff (z.B. Scheitholz, Hackschnitzel), flüssig (z.B. Biotreibstoffe) oder gasförmig (z.B. Biogas in einem BHKW) eingesetzt. Dabei wird von den Haushalten und im Gewerbe meist feste Biomasse, z.B. Holz für die Beheizung von Öfen) verwendet. In der Industrie kommt Biomasse als Zufeuerung zum Einsatz. Im Verkehrssektor findet überwiegend flüssige Biomasse ihren Einsatz z.B. als Biodiesel oder Beimischung in Otto-Kraftstoffen. Biogas ist auch in Fahrzeugen einsetzbar – nicht nur in stationären Blockheizkraftwerken.

Die installierte Leistung der **Biomasseanlagen zur Stromerzeugung** verringert sich leicht. Zwar wurden mit dem EEG die Ausschreibungsmengen angehoben und mit der Anhebung der Höchstgebote ein Anreiz für neue Projekte geschaffen. Allerdings ist durch die Regelungen zu Flexibilitätsprämien und den Flexibilitätszuschlag die Situation von Altanlagen und Anschlussinvestitionen teils verschlechtert worden.

Die sehr geringe Leistung der **Wasserkraftanlagen** wird als konstant angenommen.

Die Entwicklung der installierten Anlagenleistung ist ein wesentlicher Parameter in der Entwicklung der zukünftigen erneuerbaren Stromerzeugung in Brandenburg. Photovoltaik, Wind und Wasserkraft folgen in der Stromerzeugung dem natürlichen Energiedargebot in Verbindung der technischen Anlagenleistung. Die Stromerzeugung der Biomasse resultiert aus einer bundesweiten Strommarktmodellierung in der auch der Flexibilisierungsaspekt des EEG Einfluss findet.



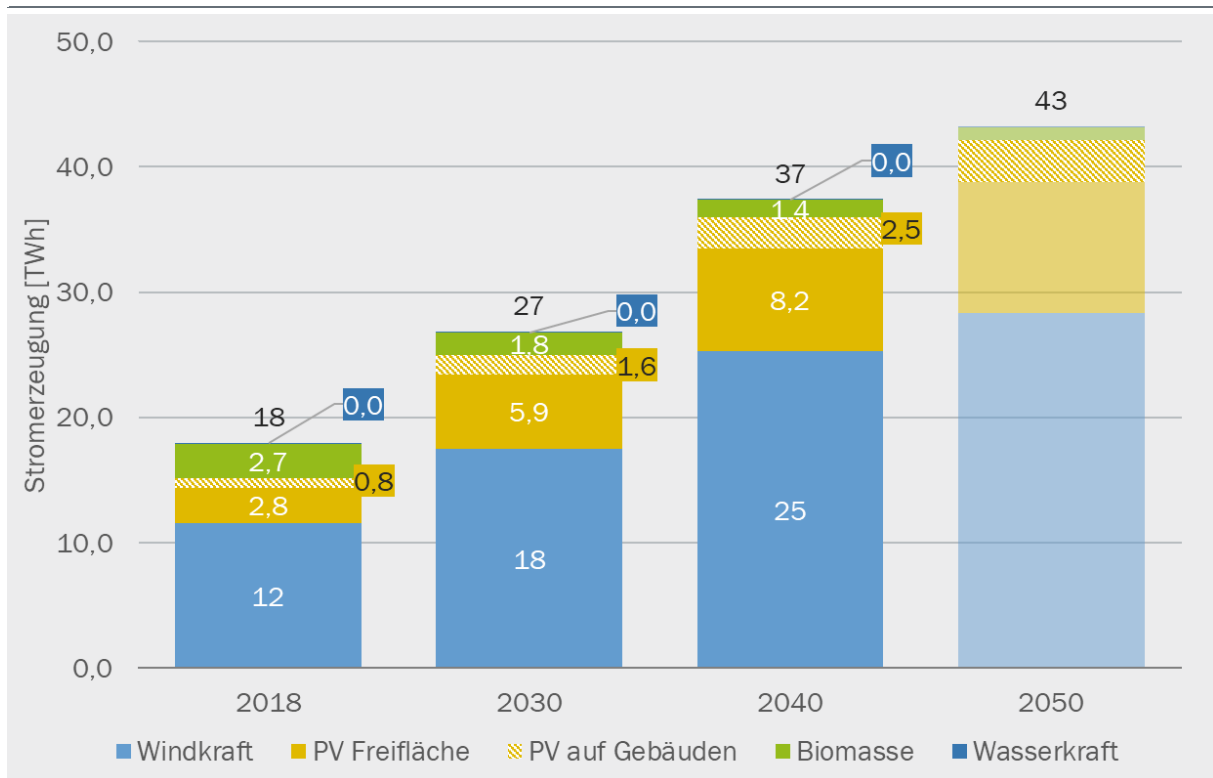
Biomasse

Während der Projektbearbeitung zeigte sich, dass die Einschätzungen über den Einsatz der Biomasse zwischen Prognos und den kommentierenden Fachreferaten auseinander gingen. Dies ist teilweise methodisch begründet – Prognos hat ein Szenario von Deutschland mit Hilfe von Schlüsseln auf das Bundesland Brandenburg übertragen. Naturgemäß kann die Einschätzung vor Ort von derartigen Analysen abweichen. Aus Sicht von Prognos zeigt sich allerdings der Bedarf, im Rahmen der anstehenden Arbeiten zum Klimaplan vertieft über die Rolle von Biomasse zu diskutieren.

Der größte Posten erneuerbarer Stromerzeugung in Brandenburg ist und bleibt das Segment der Stromerzeugung aus **Windkraftanlagen**. Hier ist mit einem Anstieg von 12 TWh im Jahr 2018 auf 25 TWh im Jahr 2040 zu rechnen. Analog zur Entwicklung der Leistung nimmt auch die Stromerzeugung aus PV-Freiflächenanlagen in Brandenburg stark zu. Hier ist eine Zunahme der Stromerzeugung von 2,8 TWh im Jahr 2018 auf 8,2 TWh im Jahr 2040 zu erwarten. Die Stromerzeugung mittels PV-Dachfläche entwickelt sich stabil von 0,8 TWh auf 2,5 TWh im Jahr 2040. Einen Rückgang der Stromerzeugung ist bei der Biomasse zu erwarten. Hier verringert sich die Anlagenauslastung deutlich aufgrund zunehmender Notwendigkeit des flexiblen Einsatzes dieses speicherbaren, erneuerbaren Brennstoffes aufgrund abnehmender Residuallast³. In Summe nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Brandenburg im Leitszenario von 18 TWh im Jahr 2018 auf 38 TWh im Jahr 2040 zu. Die Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung in Brandenburg ist grafisch in Abbildung 11 dargestellt.

³ Stromnachfrage abzüglich der nicht regelbar einspeisenden erneuerbaren Stromerzeugung

Abbildung 11: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien



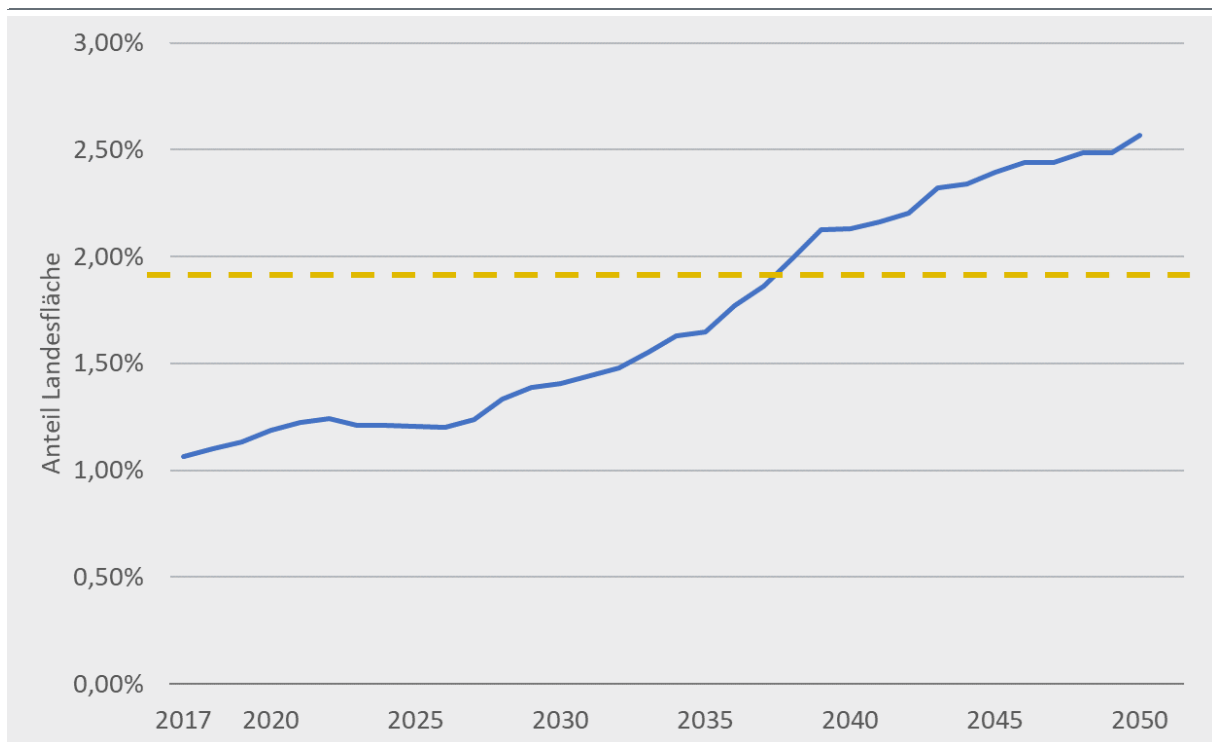
Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

Der Ausbau von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung geht mit einer zunehmenden Inanspruchnahme von **Flächen** für die Stromerzeugung einher. Insbesondere die Flächeninanspruchnahme der Windkraft ist aufgrund der Leistungszahlen sowie der hohen Sichtbarkeit im Landschaftsraum Gegenstand einer gesellschaftlichen Diskussion. Die Flächeninanspruchnahme durch die Windkraft beträgt im Jahr 2018 etwa 324 km² und somit 1,1 % der Brandenburger Landesfläche.⁴ Durch die zu erwartende Entwicklung im Bereich der installierten Leistung steigt die Flächeninanspruchnahme im Leitszenario auf 628 km² und somit **2,13** % der Brandenburger Landesfläche im Jahr 2040. Bei einem stärkeren Ausbau der Windkraft in Brandenburg – etwa um Wasserstoff zu erzeugen oder Berlin zu versorgen – müsste dementsprechend von einer noch höheren Inanspruchnahme durch die Windkraft ausgegangen werden (siehe Kapitel 7). Eine bessere Flächenbereitstellung sehen auch die Verbände BWE und VKU als wesentliche Möglichkeit Brandenburgs bezüglich eines ambitionierteren Windenergieausbaus an (BWE, VKU, 2021). Die Flächeninanspruchnahme durch Windkraftanlagen in Brandenburg im Leitszenario ist grafisch in Abbildung 12 dargestellt.

⁴ Ermittelt über die installierte Leistung und den durchschnittlichen spezifischen Flächenbedarf. Bei dieser Betrachtung werden die Abstände zwischen den Windkraftanlagen mitbetrachtet.

Abbildung 12: Inanspruchnahme der Brandenburger Landesfläche durch Windkraftanlagen



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

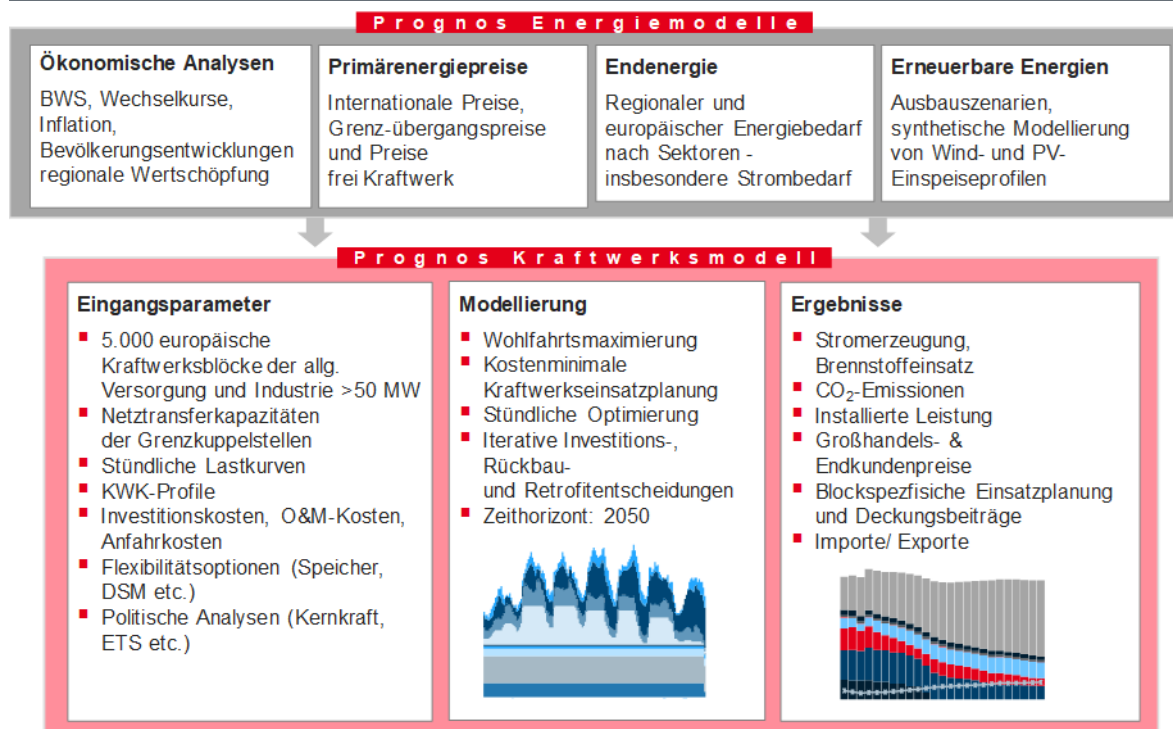
5.3 Fossile Stromerzeugung, Speicherung und Strombilanz

Die Entwicklung des thermischen Kraftwerksparks in Brandenburg ist in hohem Maße von der Entwicklung abhängig, die sich im deutschen und europäischen Strommarkt ergibt. Aus diesem Grund sind zunächst Annahmen für die Entwicklung des deutschen Strommarktes zu dokumentieren, bevor die Entwicklung in Brandenburg beschrieben wird. Für die dargestellte Analyse bildeten die europaweiten Strommarktmodellierungen der Publikation „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ von Prognos im Auftrag des BMWi die Grundlage (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021). Aus den Ergebnissen der Europäischen Strommarktmodellierung wurden die Ergebnisse für Brandenburg abgeleitet.

Das Prognos Kraftwerksmodell optimiert bis zum Jahr 2050 stundenscharf den Einsatz der einzelnen Kraftwerksblöcke in Europa. Im Modell erfolgt der Kraftwerkseinsatz realitätsnah entsprechend der jeweiligen Lastnachfrage nach der Grenzkostenlogik (Merit Order). Das Kraftwerk mit den niedrigsten Grenzkosten wird zuerst eingesetzt, alle weiteren Kraftwerke sortieren sich gemäß ihren Grenzkosten ein, bis die Last für jede einzelne Stunde des Betrachtungszeitraumes gedeckt ist. Dabei bestimmt das jeweils zuletzt eingesetzte Kraftwerk mit den höchsten Grenzkosten den Preis. Pumpspeicher, Speicherwasserkraftwerke und Batteriespeicher nutzen Spreads in den Strompreisen, um ihren Ertrag zu maximieren.

Die nachfolgende Abbildung stellt Eingangsgrößen und Modellaufbau schematisch dar.

Abbildung 13: Schematischer Aufbau des Prognos Kraftwerksmodells



Quelle: Prognos AG

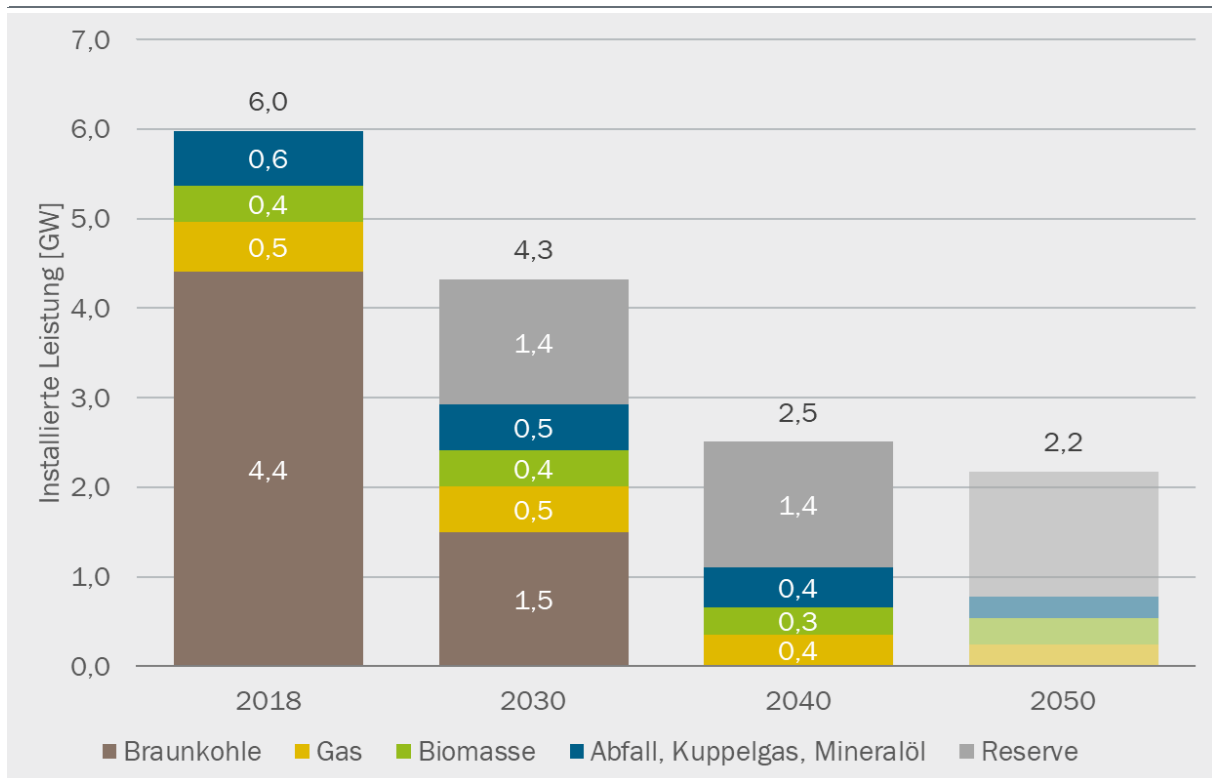
Der fossile Kraftwerkspark in Brandenburg hatte im Jahr 2018 eine installierte **Nettleistung** von 6 GW. Insbesondere die sich in Brandenburg befindlichen Braunkohlenkraftwerke Jänschwalde und Schwarze Pumpe bilden einen wesentlichen Teil dieser Kraftwerksleistung. Durch die Bestimmungen des Kohlenausstiegsgesetzes kommt es hier zu einer sukzessiven Verringerung der Kraftwerksleistung. Die jeweils 465 MW Nettleistung starken Blöcke E und F des Kraftwerks Jänschwalde wurden gegen Ende 2018, bzw. Ende 2019 in die Sicherheitsbereitschaft überführt und somit vorläufig stillgelegt. Das Kohlenausstiegsgesetz sieht weiterhin vor, auch die Blöcke A und B der gleichen Größe zum jeweiligen Ende der Jahre 2025 bzw. 2027 in die Sicherheitsbereitschaft zu überführen. Die installierte Nettleistung der Braunkohle beträgt somit im Betrachtungsjahr 2030 1,5 GW, während zum Ende des Jahres 2038 mit der Abschaltung der beiden Kraftwerksblöcke des Kraftwerks Schwarze Pumpe der Kohleausstieg vollends vollzogen sein wird.

Im Leitszenario entsteht durch den höheren Anteil erneuerbarer Energien ein **Bedarf an Reservekraftwerken**, die lediglich zur Leistungsabsicherung betrieben werden und daher nur wenige Stunden im Jahr laufen. Sie sind in der Abbildung 14 in grau dargestellt. Hier wurde von einem gasbetriebenen Kraftwerk bzw. mehreren Kraftwerksblöcken (z.B. Gasmotoren) mit einer elektrischen Gesamtleistung von 1.400 Megawatt ausgegangen.

Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, müssen neben der Flexibilisierung der Nachfrage und der weiteren Einbindung Deutschlands in das europäische Verbundnetz auch weiterhin regelbare Kraftwerke am Strommarkt agieren. Diese Kraftwerke werden eine geringe Anzahl an Benutzungsstunden aufweisen und sich über Spitzenlastpreise oberhalb der Grenzkosten der

jeweiligen Einsatzstunden refinanzieren. Die Standortentscheidung dieser „Reservekraftwerke“, welche größtenteils Gasmotorenkraftwerke mit einem möglichen Einsatz von Wasserstoff sind, ist bislang unklar und hängt von einer Vielzahl an Parametern ab. Im Leitszenario wird davon ausgegangen, dass – unter anderem aufgrund der vorhandenen Netzinfrastruktur - etwa 1,4 GW in Brandenburg gebaut werden.

Abbildung 14: Nettoleistung regelbarer Kraftwerke in Brandenburg



Quelle: Prognos AG

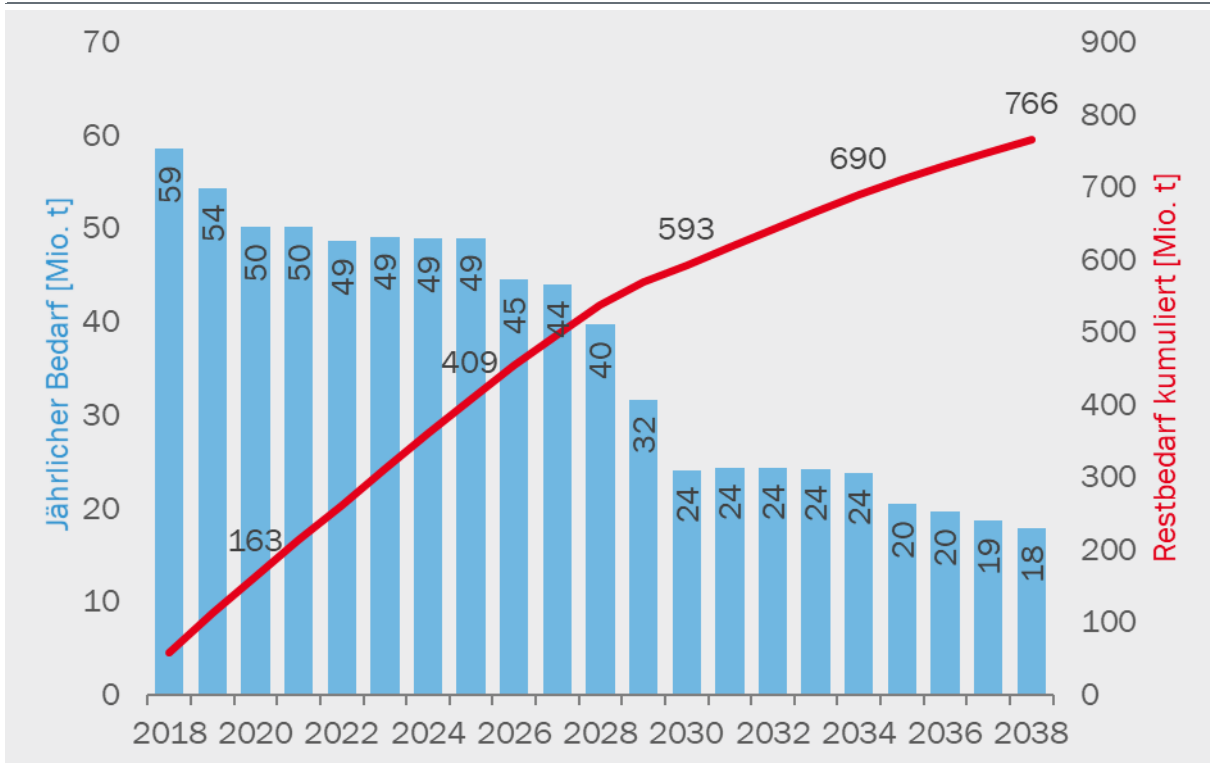
© Prognos AG, 2021)

Was den **Braunkohlenbedarf** betrifft, so sind die Kraftwerke und Tagebaue aufgrund der Versorgungssituation in der Lausitz im Verbund zu betrachten. Der Braunkohlenbedarf der Kraftwerke und der sonstigen Nutzer von Braunkohle (im Wesentlichen die Veredelungsanlage) ist aus den genehmigten und aufgeschlossenen Tagebauen zu decken. In Brandenburg verfügen die Tagebaue Jänschwalde und Welzow-Süd (Teilabschnitt I) noch über Abbaufelder, die bereits genehmigt sind. Der geplante Teilabschnitt II des Tagebaus Welzow-Süd wird durch die LEAG nicht mehr in Anspruch genommen werden. Nach der bundespolitischen Entscheidung für einen beschleunigten Kohleausstieg bis Ende 2038 hat die LEAG ihre Revierplanung entsprechend angepasst (LEAG, 2021). In der sächsischen Lausitz liegen die aktiven Tagebaue Nochten und Reichwalde. Zum Tagebau Nochten zählt das Sonderfeld Mühlrose, welches sich laut LEAG noch in Planung befindet (LEAG, 2021b).

Für die nachfolgende Ermittlung von Kohlemengen wurde vorrangig der Bedarf der Kraftwerke modelliert. Der Bedarf der Veredelungsanlage wurde aufgrund seiner geringen Menge lediglich abgeschätzt. Wir gehen davon aus, dass die Veredelung parallel zur Außerbetriebnahme der Kraftwerke beendet wird, da der Tagebau nicht für die geringen Mengen des Veredelungsbetriebs

offengehalten wird. Der Braunkohlebedarf der Lausitzer Braunkohlekraftwerke wird im Verbund in Abbildung 15 dargestellt. Basisjahr für den kumulierten Restbedarf ist das Jahr 2018.

Abbildung 15: Braunkohlenbedarf in der Lausitz

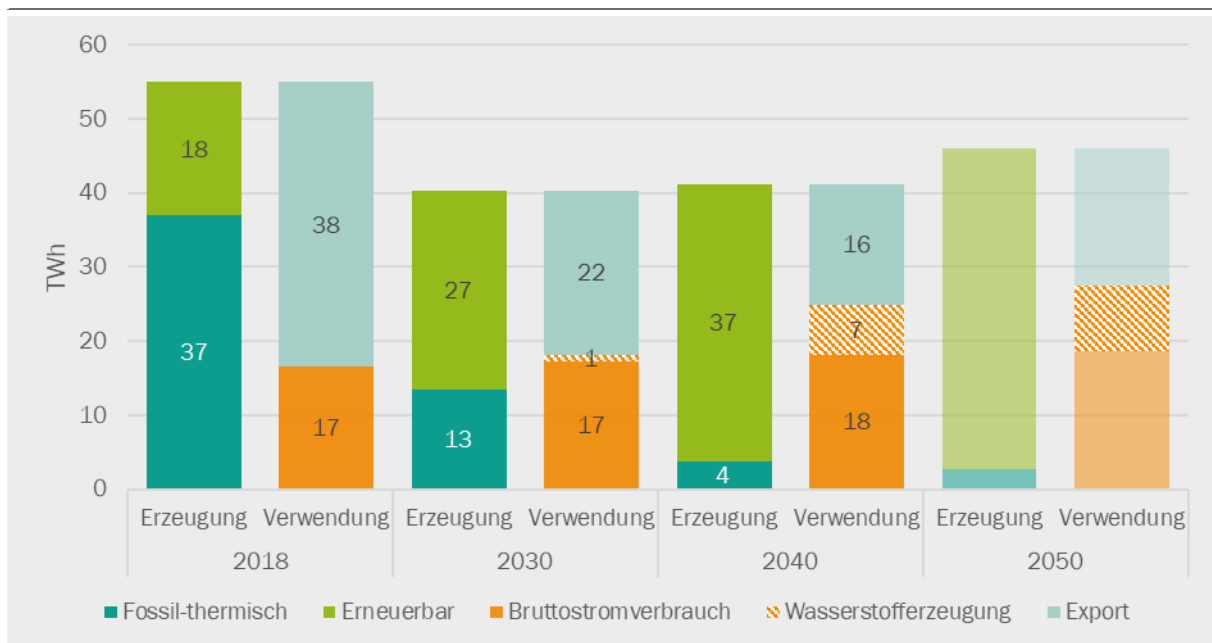


Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021)

In Summe bleibt die Stromerzeugung im Leitszenario weit oberhalb des Brandenburger Strombedarfs. In 2018 betrug die Stromerzeugung in Brandenburg etwa 55 TWh, wobei mit 30 TWh ein starker Anteil auf die Stromerzeugung aus der Braunkohleverstromung entfiel. Etwa 38 TWh des erzeugten Stroms wurden nicht in Brandenburg verbraucht und trug damit zur Stromversorgung anderer Regionen im Verbundnetz bei. Aufgrund des Kohleausstiegs geht die Stromerzeugung aus konventionellen Technologien schon 2030 stark zurück. 2040 ist noch ein Restsockel konventioneller Erzeugung zu erwarten. Dementgegen nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie in Kapitel 5.2 erläutert stetig zu. Der Stromverbrauch des Leitszenarios steigt leicht an – von 16,6 TWh in 2018 auf 18,2 TWh in 2040. Sensitivitäten des Stromverbrauchs sind in Kapitel 7 dargestellt. In Summe bleibt Brandenburg ein Stromexportland, wobei die Exportquote sinkt. Aufgrund des steigenden Strombedarfs in Brandenburg als auch der sinkenden Stromerzeugung bleibt ein geringerer Anteil für den Export.

Abbildung 16: Strombilanz im Leitszenario



Quelle: Eigene Berechnungen.

Eine durch das MWAE in Auftrag gegebene Studie von E-Bridge (2018) hat die Auswirkungen auf der Energiewende in Brandenburg auf die **Netzsituation** sowie die Möglichkeiten von Speichern und Flexibilisierungsmöglichkeiten untersucht. Flexibilitätspotenziale wie Elektroautos, Wärmepumpen, netzdienlich optimierte Heimspeicher und andere Anwendungen ermöglichen es, den erneuerbar erzeugten Strom mittels Speicherungen und Lastverschiebungen besser in das Stromsystem zu integrieren. Laut E-Bridge ist das Potenzial an Stromspeichern und Anwendungsflexibilisierung in Brandenburg im Verhältnis zu der erneuerbaren Stromerzeugung in dem Bundesland gering (etwa 600 MW zeitgleicher Lastverschiebung).

Aus den regionalen Disparitäten zwischen erneuerbarer Stromeinspeisung im ländlichen Raum und den Verbrauchszentren im urbanen Raum ergibt sich zudem laut der Untersuchung von E-Bridge ein weiterer **Ausbaubedarf für das Netz** in Brandenburg. Der anfallende Ausbaubedarf betrifft hierbei insbesondere das Verteilnetz⁵. Der Ausbaubedarf auf der Hochspannungsebene in Brandenburg beträgt bis 2030 etwa 1.600 km, somit 35 % der bestehenden Netzlänge. Hierbei handelt es sich laut E-Bridge (E-Bridge, 2018) jedoch überwiegend um Leitungsverstärkung. Ein Ausbaubedarf auf Mittel und Niederspannungsebene ist vor allem nach 2030 aufgrund der Durchdringung an E-Mobilität zu erwarten.

⁵ Das Verteilnetz umfasst Niederspannung, Mittelspannung und Hochspannung bis 110 kV. Höchstspannung ab 220 kV wird dem Übertragungsnetz zugerechnet

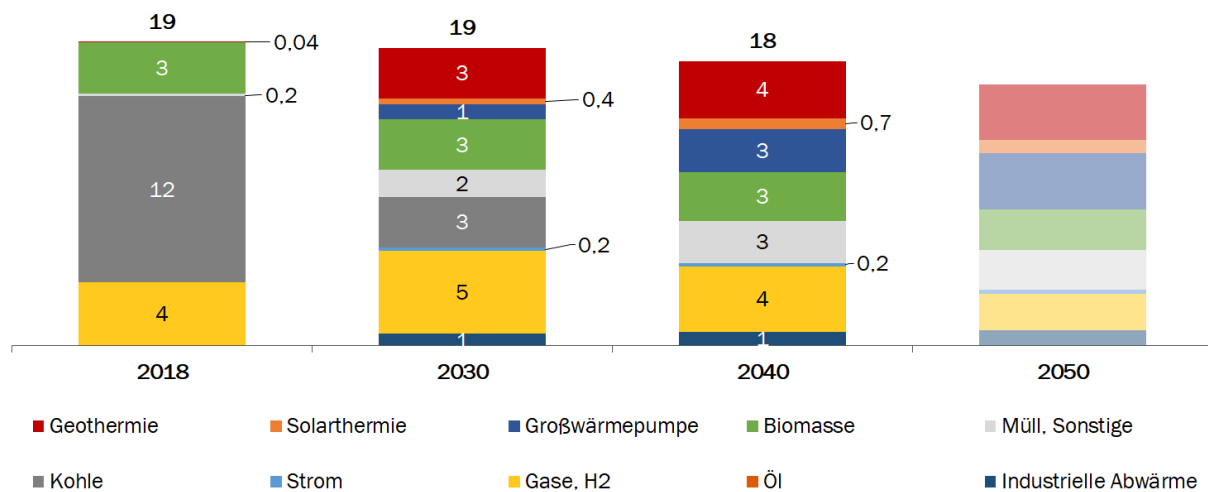
5.4 Übrige Energieumwandlung

5.4.1 Fernwärme

Im Jahr 2018 wurden insgesamt rund 19 PJ Endenergie als Fernwärme verbraucht. Davon stammte (und stammt) der überwiegende Teil aus fossilen Brennstoffen (ca. 83 %). Hauptsächlich kamen zur Wärmeerzeugung Stein- und Braunkohle und Erdgas KWK und Heizwerke zum Einsatz. Die restliche Wärme wurde mit erneuerbaren Energien (ca. 17 %) bereitgestellt. Es kamen hier insbesondere Biomasse und zu einem kleinen Anteil Tiefengeothermie zum Einsatz.

Die Fernwärmeversorgung muss langfristig genauso wie die restliche Energiebereitstellung dekarbonisiert werden. Zwei Effekte spielen hier eine besondere Rolle: Zum einen wird die Versorgung aus Kohle-KWK und Heizwerken aufgrund des Kohlenausstiegs zurückgehen. Zum anderen werden die Anteile aus erneuerbaren Energien am Wärmepotenzial steigen. Prognos hat auf Basis einer Berechnung auf kommunaler Ebene die langfristigen Fernwärmepotentiale aus erneuerbaren Energien ermittelt (IFEU, IREES, Prognos AG, 2021). Diese Berechnung orientiert sich an den Vorgaben und Berechnungen aus dem NECP. Die Jahre zwischen heute und der Erschließung des Potenzials (voraussichtlich in 2050) wurden interpoliert.

Abbildung 17: Fernwärme – Erzeugungsstruktur in Brandenburg [PJ, temperaturbereinigt]



Quelle: (AGFW, 2018), (LAK, 2018), (IFEU, IREES, Prognos AG, 2021), eigene Berechnungen

Von 2018 bis 2030 ersetzen überwiegend Gas-KWK die wegfallende Wärmebereitstellung aus Kohle-KWK. Erneuerbare Energien aus Solarthermie, Geothermie, Großwärmepumpen (Umweltwärme) werden ebenfalls eine immer größere Rolle spielen. Zudem wird für einige bestehende Müllverbrennungsanlagen (z.B. Rüdersdorf) angenommen, dass das bisher ungenutzte Fernwärmeauskopplungspotenzial erschlossen wird. Darüber hinaus wird Abwärme aus industriellen Prozessen zunehmend genutzt. Mit einer höheren Durchdringung von erneuerbaren Energien bis 2040/2050 werden Gas-KWK dann zunehmend für die Spitzenlastdeckung an sehr kalten Tagen

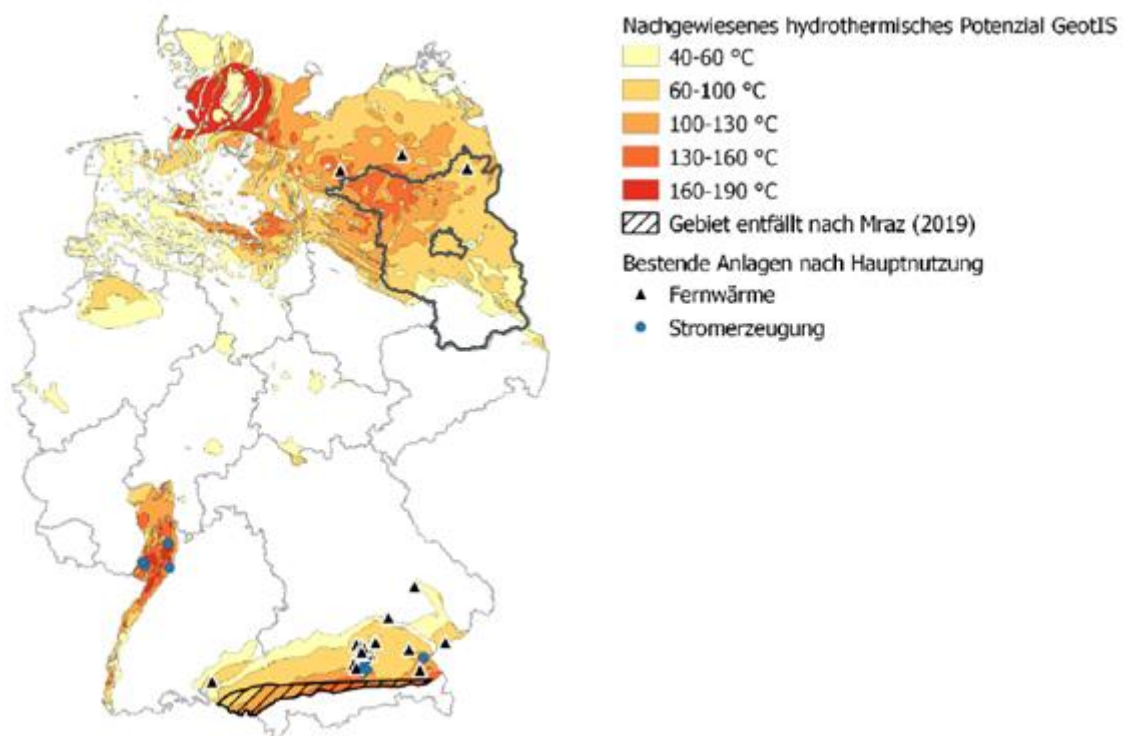
eingesetzt. Methan in Gas-KWK könnte als Anteil fossiler Energie in 2040/2050 verbleiben. Dieser Anteil könnte sich aber auch langfristig reduzieren, wenn Hybridlösungen genutzt werden, bei denen sowohl Erdgas als auch Wasserstoff zum Einsatz kommen. Solche Hybridlösungen sind heute bereits technisch möglich. Zudem besteht die Möglichkeit Gas-KWK umzurüsten bzw. bei anstehenden Neuinvestitionen reine Wasserstoff-KWK zu installieren.

5.4.2 Geothermie

Insbesondere im Norden und Osten Deutschlands gibt es ein hohes hydrothermisches Tiefengeothermiefpotenzial. In Brandenburg könnten rund 8 GW thermische Entzugsleistung mit einem Temperaturniveau von größer 65°C theoretisch genutzt werden (IFEU, IREES, Prognos AG, 2021).

Dieses Potenzial kann nicht vollständig ausgeschöpft werden. Zwei Faktoren sind hier maßgeblich: Es muss eine Wirtschaftlichkeit gegenüber anderen Formen der Wärmebereitstellung (siehe Kapitel 5.4.1) gegeben sein, und es muss die Nähe zu Verbrauchern mit entsprechender Wärmedichte vorhanden sein. Auf Basis dieser zwei Faktoren ergibt sich in einer Betrachtung von (IFEU, IREES, Prognos AG, 2021) auf kommunaler Ebene ein wirtschaftliches Potenzial für Geothermie von 1,1 TWh für Brandenburg.

Abbildung 18: Geothermiefpotenzial in Brandenburg



Quelle: eigene Berechnungen auf Basis (IFEU, IREES, Prognos AG, 2021)
* Potenzial jeweils auf Gemeindeebene

Das Wärmepotenzial besteht insbesondere im Nordwesten von Brandenburg. Hier zeigen die Gemeinden in den Landkreisen Prignitz, Ostprignitz Ruppin, Uckermark, Oberhavel, Havelland, Potsdam-Mittelmark ein hohes Potenzial für die Geothermienutzung.

Oberflächennahes Geothermiepotenzial wie es üblicherweise mit Wärmepumpen zur Anwendung kommt, wurde an dieser Stelle nicht detailliert betrachtet. Diese Energieform ist jedoch im Primärenergieverbrauch (siehe Kapitel 0) berücksichtigt.

5.4.3 Raffinerie

Durch die Raffinerie in Schwedt ist Brandenburg heute Netto-Exporteur von Mineralölprodukten. Mineralöl stellt deutschlandweit seit Jahren stabil ein Drittel des Primärenergieverbrauchs zur Verfügung. Außerdem wird es zur Erzeugung zahlreicher Produkte der Petrochemie eingesetzt.

Für den Individualverkehr und den leichten Transport im Straßenverkehr ist bereits jetzt aufgrund der Ankündigungen der Mehrheit der Automobilhersteller absehbar, dass vor allen Dingen der batterieelektrische Antrieb zum Einsatz kommen wird. Im schweren Güterverkehr wird vorwiegend Wasserstoff mit Brennstoffzellen genutzt werden. Infolgedessen werden flüssige Energieträger dann hauptsächlich noch im Flug- und Schiffsverkehr zur Anwendung kommen. Perspektivisch werden Mineralölprodukte durch synthetische flüssige Energieträger (Power-to-Liquid, „PtL“), die aus erneuerbarem Wasserstoff und biogenem oder aus der Luft abgeschiedenem Kohlenstoff gewonnen werden, ersetzt. Insofern wird die heutige auf fossile Rohöl basierende Mineralölverarbeitung abgelöst werden (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019).

Deutschland verfügt nicht über ausreichende Potenziale erneuerbarer Energien, um treibhausgasneutrales PtL in ausreichender Menge auf Basis von inländischem Wasserstoff zu erzeugen. Es wird daher davon ausgegangen, dass PtL auf Basis von Wasserstoff direkt im Ausland produziert wird, wo es wegen besserer Wind- und Sonnenbedingungen sowie ausreichendem Flächenangebots günstiger erzeugt werden kann. Dies zeigt z.B. das Photovoltaik-Projekt „Shuaibah IPP PV“ in Saudi-Arabien. Bei einer Ausschreibung für dieses 600 MW-Projekt wurde als niedrigstes Gebot 1,04 US-ct/ kWh erzielt. (energiezukunft, 2021) Auch wenn dieser Wert sich in der Realisierung erst noch materialisieren muss, zeigt sich daran doch gut die zu erwartende Entwicklung in den Potenzialländern, die zudem teilweise auch über eine erhebliche Öl-Infrastruktur verfügen. Zudem lassen sich PtL-Kraftstoffe auch leichter transportieren als Wasserstoff.

In der nationalen Wasserstoffstrategie wird die Herstellung von blauem Wasserstoff, also Wasserstoff aus Methan mit CO₂-Abscheidung und Speicherung, nicht explizit genannt. Sollte dieser gesellschaftlich akzeptiert sein und ausreichend zur Verfügung stehen, bestünde die theoretische Option am Standort Schwedt eine Syntheseanlage zur Erzeugung von PtL aufzubauen.

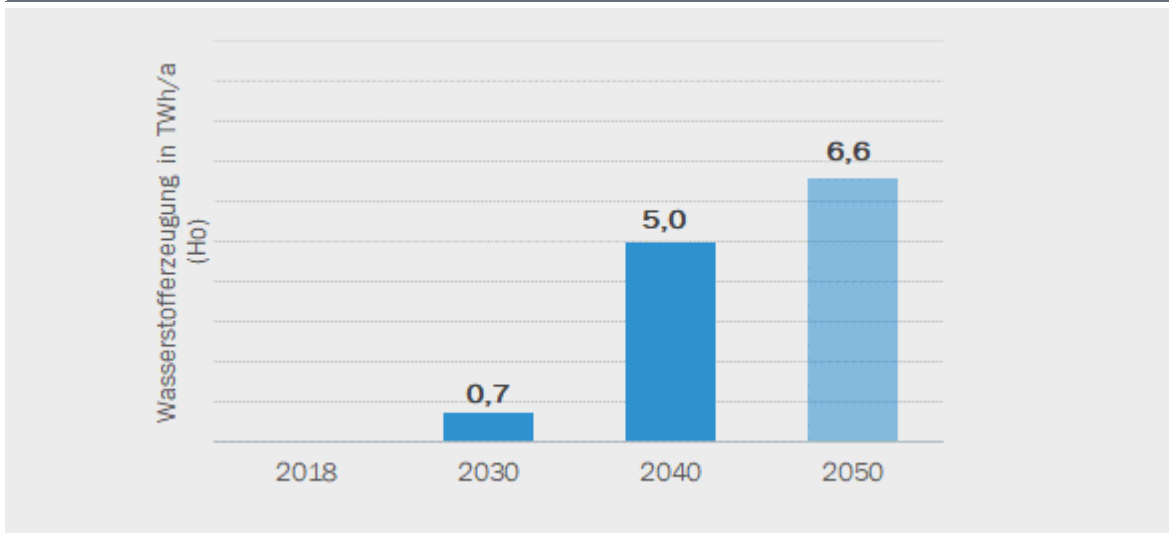
Um bereits vor dem Wegfall der Mineralölverarbeitung CO₂ zu sparen, kann grüner statt „grauer“ Wasserstoff in der Raffinerie eingesetzt werden. Unter grauem Wasserstoff wird solcher verstanden, der aus Methan ohne Abscheidung des CO₂ (also mit entsprechenden Emissionen) meist mit Hilfe der Dampfreformierung-Verfahrens erzeugt wird. Auch in einem weitestgehend CO₂-freien Zielbild kann die Raffinerie in Schwedt jedoch weiterhin zur Herstellung von Basischemikalien (u.a. für die Kunststoffproduktion) genutzt werden (näheres siehe Kapitel 5.5).

5.5 Wasserstoffherzeugung und -nutzung

In Brandenburg befinden sich auf Basis einer Literaturrecherche bislang nur wenige Elektrolyseure in Betrieb. Die derzeit installierte Leistung beträgt ca. 3,1 MW (BDEW, 2021). Knapp 90 MW Elektrolyseurleistung ist im Bau oder in der Planung (DWV, 2019). Aktuell erarbeitet das Reiner Lemoine Institut eine Wasserstoffanalyse für das Land Brandenburg, deren Ergebnisse zum Redaktionsschluss noch nicht vorlagen. Ggf. ergeben sich aus dieser Analyse höhere Werte für die sich im Bau oder in der Planung befindlichen Elektrolyseursleistungen.

Ausgehend von dem Klimaschutzszenario der NECP-Studie (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021) für Deutschland wurde die mögliche **Wasserstoffherzeugung** für Brandenburg abgeleitet. Im NECP wurde in einer Simulationsrechnung eine Erzeugung von rund 54 TWh (Heizwert, Hu) im Jahr 2050 ermittelt (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021). Dies entspricht rund 64 TWh (Brennwert, Ho) bei einem Umrechnungsfaktor von 1,18⁶. Die maßgeblichen Rahmenbedingungen für diese Rechnung sind, dass soweit möglich die Stromproduktion direkt genutzt wird und Elektrolyseure vorwiegend in Zeiten mit niedriger Residuallast zum Einsatz kommen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass hohe Einspeisungen aus erneuerbaren Energien und geringe Strompreise vorhanden sind. Diese Annahme ist auch im Einklang mit Vorgaben im NEP Strom. Im NEP-Strom werden 3.500 Vollbenutzungsstunden (NEP Strom, 2020) für den Betrieb von Elektrolyseuren angesetzt. Dies entspricht ungefähr einer Nutzung der Elektrolyseure in 40 %⁷ der Stunden im Jahr.

Abbildung 19: Wasserstoffherzeugungspotenzial in Brandenburg



Quelle: eigene Berechnungen auf Basis NECP (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021)

Da zukünftig der Ausbau der erneuerbaren Energien die maßgebliche Größe für das Produktionspotenzial von grünem Wasserstoff ist, wurde in einem ersten Schritt die prognostizierte bundesweite Erzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien mit der prognostizierten fluktuierenden Erzeugung erneuerbarer Energien in Brandenburg ins Verhältnis gesetzt. Im Ergebnis beträgt

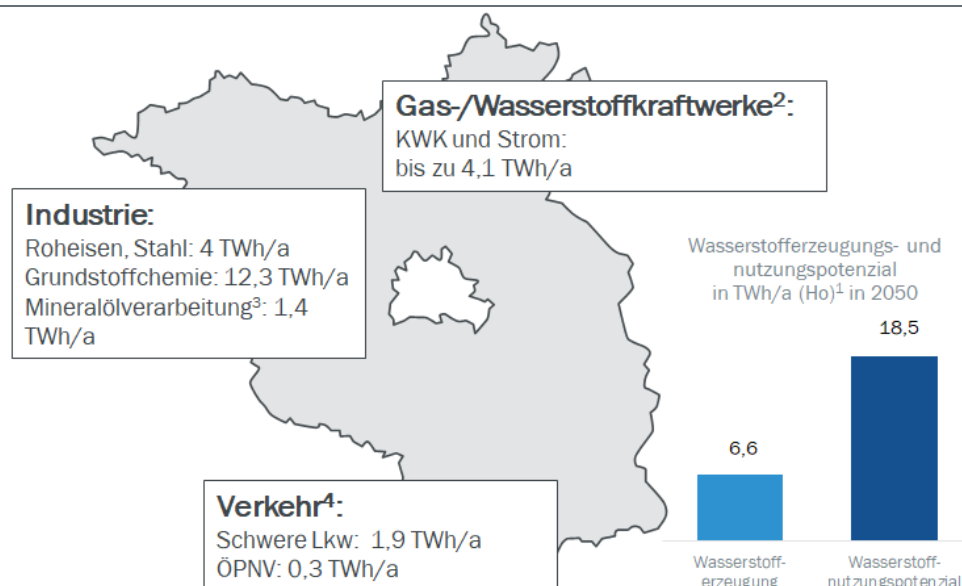
⁶ https://www.linde-gas.at/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_v110_tcm550-169419.pdf

⁷ 3500 Volllaststunden / 8760 Jahresstunden ~ 40%

die abgeleitete erneuerbare Erzeugung in Brandenburg ca. 10,3 % der bundesweiten Erzeugung. In einem zweiten Schritt wurde der Anteil Brandenburgs mit der im NECP prognostizierten Wasserstoffherzeugung multipliziert. Hieraus ergibt sich ein Wasserstoffherzeugungspotential aus erneuerbaren Energien von ca. 5 TWh/a (Ho) bis 2040 (und ca. 6,6 TWh/a (Ho) bis 2050). Der entsprechende Strombedarf für diese Wasserstoffmenge beträgt 7,5 TWh/a in 2040 (und 8,8 TWh/a in 2050) bei einem Wirkungsgrad der Elektrolyseure von 75 % (Ho). Die benötigte installierte Elektrolyseurleistung beträgt ca. 2.140 MW in 2040 (und 2.500 MW in 2050), wenn wie im NEP Strom Vollbenutzungsstunden von 3.500 Stunden angenommen werden.

Das **Nutzungspotenzial** von Wasserstoff in Brandenburg liegt bei 18,5 TWh und damit deutlich oberhalb der potenziellen Wasserstoffherzeugung in Brandenburg. Falls dieses Nutzungspotenzial ausgeschöpft wird, entsteht ein erheblicher Importbedarf für Wasserstoff, sofern nicht andere Erzeugungsoptionen wie Pyrolyse genutzt werden können. Die allgemeine Annahme, dass der bundesweite Wasserstoffbedarf nicht allein durch die heimische Produktion gedeckt werden kann, ist im Einklang mit den bundesweiten Ergebnissen im NECP und weiterer Studien wie z.B. Klimaneutrales Deutschland (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020) und der dena-Leitstudie (dena, 2018). In einer Betrachtung auf Bundesebene könnte sich theoretisch ein anderer Import-Export-Saldo ergeben, falls die Erzeugung die Nachfrage übersteigt. Im Falle von Brandenburg trifft dies jedoch nicht zu, da einige Industriestandorte (u.a. Raffinerie in Schwedt, Stahlwerk in Eisenhüttenstadt) einen hohen nicht-energetischen Rohstoffbedarf aufweisen. Dieser muss perspektivisch mit grünem Wasserstoff substituiert werden, sodass für Brandenburg in Summe ebenfalls ein Importbedarf entsteht. Eine größere Technologieoffenheit könnte den Importbedarf reduzieren.

Abbildung 20: Wasserstoffnutzungspotenzial in Brandenburg



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von (PCK Schwedt, 2021), (Hölling, Weng, & Gellert, 2017), (WV Stahl, 2017), (e-mobilBW, 2016), (Prognos, Sphera, LBST, 2021), (KBA, 2020), (BASF, 2017)

1) Alle Angaben in Brennwert, ohne derzeitiger genutzter grauer Wasserstoff aus fossilen Energieträgern

2) Keine Berücksichtigung im Wasserstoffnutzungspotenzial - Erläuterung siehe Text

3) Mineralölverarbeitung fällt bis 2050 weg, daher keine Berücksichtigung im Wasserstoffnutzungspotenzial

4) Ohne Flug- und Schiffsverkehr

Die einzelnen Nutzungspotenziale werden im Folgenden erläutert:

Roheisen, Stahl

Wasserstoff kann in der Stahlproduktion als Reduktionsmittel zur Anwendung kommen. In der Stahlproduktion ist zu unterscheiden zwischen der Hochofen- und der Elektrostahlroute.

Bei der Produktion über die Hochofenroute wird hauptsächlich Koks auf Kohlebasis zur Reduktion des Eisenoxides (Roheisen) verwendet. Bereits jetzt könnten geringe Mengen Wasserstoff oder wasserstoffhaltiges Gas in diesem Prozess eingesetzt werden. Der Einsatz von Wasserstoff ist allerdings stark durch das notwendige Temperaturniveau von über 2.000 C° limitiert, das bei einem zu hohen Wasserstoffanteil nicht erreicht werden könnte.

Die alternative Herstellungsform von Stahl ist die Produktion mittels Direktreduktion. Bei diesem Prozess wird Wasserstoff als Reduktionsmittel anstelle von Koks verwendet. Zusätzlich ist eine elektrische Beheizung erforderlich. In Deutschland gibt es bisher einen Standort in Hamburg, der nach dieser Methode Stahl produziert. Bei der Produktion mittels Direktreduktion entsteht ein Wasserstoffbedarf von rund 2,1 MWh (Ho) / t Stahl. (Hölling, Weng, & Gellert, 2017) Einzig die Stahlhütte in Eisenhüttenstadt produziert derzeit in Brandenburg in der Hochofenroute Eisenoxid. Wird diese Produktion auf die Direktreduktion umgestellt, entsteht bei einer Produktionsmenge von 1.900 Kilotonnen Stahl (WV Stahl, 2017) ein jährliches Abnahmepotenzial von rund 4 TWh (Ho) Wasserstoff. Da der weltweite Stahlmarkt von Überkapazitäten geprägt ist, wird unter dieser Konkurrenzsituation eine solche Investition in eine Direktreduktionsanlage nur bei günstigen Rahmenbedingungen und bei einer Entscheidung für die Erhaltung des Standortes realisiert werden können.

Bei der Herstellung von Elektrostahl kommt es nicht zu einem Einsatz von Reduktionsmitteln. Daher ist auch kein Einsatz von Wasserstoff in den Elektrostahlwerken in Hennigsdorf und Brandenburg notwendig.

Raffinerien und Grundstoffchemie

Raffinerien der mineralölverarbeiten Industrie weisen eine Reihe von Prozessen auf, die Wasserstoff verbrauchen und wiederum andere Prozesse, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt.

Wasserstoff wird einerseits zur Entschwefelung von Rohölen und Mineralölprodukten verwendet. Daneben ist der Einsatz von Wasserstoff in Raffinerien bei der Aufspaltung langkettiger Rückstände in Hydrocrackern notwendig. Neben diesen Verbrauchsprozessen fällt Wasserstoff bei der katalytischen Reformierung zur Erhöhung der Oktanzahl von Ottokraftstoffen an.

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben, die einen hohen Entschwefelungsgrad der Mineralölprodukte vorschreiben, übersteigt der Wasserstoffverbrauch in allen deutschen Raffineriestandorten die eigene Erzeugung. Aus diesem Grund muss Wasserstoff über eine externe Produktion hinzugeführt werden. Diese, in der Regel über Dampfreformierung aus Erdgas, erzeugte Menge bildet das Potenzial an grauen Wasserstoff, welches durch grünen Wasserstoff mittels Elektrolyse ersetzt werden kann.

Der jährliche Gesamtverbrauch an Wasserstoff der Raffinerie in Schwedt liegt bei rund 2,4 TWh (MWV, 2020). Da die Raffinerien aber über die oben genannten Prozesse einen Anteil ihres Bedarfs als Nebenprodukt selbst herstellen, liegt der substituierbare Bedarf von grauem

Wasserstoff bei 1,4 TWh (MWV, 2020). Wie bereits in Kapitel 5.4.3 beschrieben, wird langfristig die mineralölverarbeitende Industrie wegfallen. Nur für den Flug- und Schiffsverkehr werden weiterhin Kraftstoffe benötigen. Diese werden synthetisch mit anderen Prozessen und in anderen Anlagen (u.a. Methanolsynthese, Fischer-Tropsch-Synthese) hergestellt. Somit kann zwar in der Übergangsphase in der Raffinerie grauer durch grünen Wasserstoff ersetzt werden, jedoch wird dieser Bedarf langfristig wegfallen und wird somit für das Wasserstoffnutzungspotenzial in 2050 nicht summiert.

Die Herstellung von Olefinen und Aromaten könnte in der Raffinerie bestehen bleiben, da diese u.a. essenzielle Basischemikalien für die Herstellung von Kunststoffen sind. Ausgangsrohstoff für die Produktion von Olefinen und Aromaten ist das Naphtha, das eine Fraktion der Erdöldestillation ist. Fossiles Naphtha kann durch synthetisches „grünes“ Naphtha ersetzt werden. Eines der verwendeten alternativen Verfahren zur synthetischen Naphthaherstellung ist die Fischer-Tropsch-Synthese. Es wird zunächst mit Wasserstoff und Kohlenstoff ein Synthesegas erstellt. Dieses wird anschließend zu langkettigen Kohlenwasserstoffen umgesetzt. In der Raffinerie in Schwedt werden derzeit 0,44 Mio. t Olefine und 0,17 Mio. t Aromate hergestellt⁸. Der Bedarf an Naphtha für diese Produktionsmenge beträgt ca. 0,9 Mio. t (VCI, 2019). Der stoffliche Bedarf von Wasserstoff für diesen Prozess wird auf 13,6 MWh pro Tonne Naphtha geschätzt (VCI, 2019). Insgesamt entsteht dadurch ein Wasserstoffbedarf von ca. 12,2 TWh für die in Schwedt benötigte Menge an Naphtha. Alternativ zu der Produktion von Naphtha können mittels der Fischer-Tropsch-Synthese andere Substitute der Mineralölverarbeitung insbesondere synthetische Kraftstoffe in gleicher Größenordnung erstellt werden.

Derzeit kann noch nicht vorhergesagt werden, ob das Naphtha in Deutschland u.a. durch heimischen und importierten Wasserstoff produziert wird oder gleich als „grünes“ Naphtha nach Deutschland eingeführt wird (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020). Da der Transport von Naphtha sich einfacher gestaltet als der von verflüssigtem Wasserstoff, ist ein Import nahe liegender. Der Grund hierfür ist, dass Naphtha bereits in verflüssigter Form vorliegt und es eine höhere Energiedichte hat, während Wasserstoff bei sehr niedrigen Temperaturen verflüssigt werden muss. Es besteht ein industriepolitisches Risiko, dass auch die nachgelagerten chemischen Prozesse ins Ausland verlagert werden könnten und es insgesamt zu einer De-Industrialisierung an den Standorten in Brandenburg kommt.

Die BASF Schwarzheide GmbH ist ein weiterer Standort in Brandenburg, in dem verschiedene Chemieprodukte wie u.a. Polyurethane, technische Kunststoffe, Schaumstoffe, Pflanzenschutzmittel, Veredlungschemikalien und Lacke hergestellt werden. Nähere Informationen zu den einzelnen Prozessen sind nicht veröffentlicht. Laut eigenen Angaben besteht am Standort Schwarzheide ein Wasserstoffbedarf in Höhe von 23 GWh/a, von dem 14 GWh/a durch „grünen“ Wasserstoff substituierbar sind.⁹

Gas- und Wasserstoffkraftwerke

Bis zum Jahr 2050 werden wie in Kapitel 5.3 dargestellt, fossile Kraftwerke weitestgehend durch erneuerbare Energien ersetzt. Gasbetriebene Erzeugungskapazitäten werden weiterhin für die Bereitstellung von Fernwärme in Spitzenlastsituation benötigt. Zudem kommen sie zur Absicherung der Versorgungssicherheit zum Einsatz. Insgesamt wird ein Erdgasbedarf von 4,1 TWh für die Gaskraftwerke notwendig. Bereits jetzt zeichnet sich jedoch laut Herstellerangaben ab, dass Gaskraftwerke langfristig auf Wasserstoff umgerüstet oder als Hybridkraftwerke genutzt werden

⁸ Website PCK Schwedt - <https://www.pck.de/unternehmen>

⁹ Mitteilung BASF

können. Zudem besteht die Möglichkeit, dass bei einer anstehenden Neuinvestition Wasserstoff statt Gaskraftwerke installiert werden. Insofern bestünde die Möglichkeit bis 2050 den Erdgasbedarf vollständig durch Wasserstoff zu substituieren. Im NECP (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021) wurde jedoch berechnet, dass dieser Bedarf noch durch Erdgas gedeckt wird, da noch fossile Brennstoffe in 2050 eine gewisse Rolle spielen. Aufgrund dieser Möglichkeit wird der Wasserstoffbedarf aufgeführt, jedoch nicht in dem Wasserstoffnutzungspotenzial summiert.

Schwerer Güterverkehr und ÖPNV

Im Verkehrsegment gibt es bereits eine starke Tendenz zu einer Elektrifizierung des Pkw- und des Transportverkehrs. Die meisten nationalen und internationalen Automobilhersteller haben sich auf batteriebetriebene Fahrzeuge für diese Fahrzeugsegmente festgelegt.¹⁰ Wasserstoff wird – neben anderen Energieträgern wie Biomethan – insbesondere für schwere Lkws im Güterfernverkehr und für ÖPNV in ländlichen Regionen zum Einsatz kommen. Aber auch im Güterverkehr gibt es Pläne schwere Lkws perspektivisch über Oberleitungen zu elektrifizieren und ergänzend batterieelektrisch zu betreiben.

Prognos hat in einer Erhebung für einen großen Automobilhersteller das Wasserstoffpotenzial für schwere Lkw untersucht.¹¹ Für die schweren Lkw größer 16 Tonnen im Fernverkehr (Prognos, Sphera, LBST, 2021) wurden die Fahrzeugkilometer auf Basis der einzelnen Fahrten bottom-up ermittelt. Insgesamt ergeben sich im Land Brandenburg für diese Fahrzeugsegmente rund 700 Mio. Fahrzeugkilometer pro Jahr. Eine Veränderung des Güterverkehrsaufkommens bis 2050 wurde nicht unterstellt. Bei einem unterstellten Verbrauch von 7 kg Wasserstoff pro 100 km pro Fahrzeug ergibt sich ein Wasserstoffbedarf von 49.700 Tonnen pro Jahr. Dies entspricht einem Wasserstoffnutzungspotenzial von 1,9 TWh pro Jahr.

Für die Ermittlung des Potenzials im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) wurde das zukünftige Potenzial durch die Abnahme von Wasserstoff in Kraftomnibussen untersucht. Hierbei wurde das maximale Potenzial anhand der Zulassungszahlen für Kraftomnibusse des Jahres 2017 auf Kreisebene ermittelt (KBA, 2020). Aufgrund kürzerer Fahrstrecken und besserer Lademöglichkeiten wird angenommen, dass der städtische ÖPNV eher elektrifiziert wird. Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge werden eher in den ländlichen Regionen mit längeren Fahrstrecken zum Einsatz kommen. In den ländlichen Kreisen in Brandenburg sind 2.096 Kraftomnibusse zugelassen. Es wurden Annahmen aus einer Erhebung über durchschnittliche Fahrleistung und spezifische Verbräuche zu Grunde gelegt (e-mobilBW, 2016). Auf Basis dieser Erhebung beträgt die durchschnittliche Fahrleistung 50.000 km/a pro Bus und der perspektivische Verbrauch 8 kg Wasserstoff pro 100 km. Hieraus ergibt sich ein Wasserstoffnutzungspotenzial von rund 0,3 TWh.

Nicht aufgeführte Potenziale

Die Nutzungspotenziale von Wasserstoff in Objektheizungen¹² wurden in dem Gutachten nicht aufgeführt. Dies wird insbesondere damit begründet, dass Wasserstoff in der nationalen Wasserstoffstrategie zunächst prioritär für die Industrie und den Verkehr vorgesehen ist und im Wärmebereich eine untergeordnete Rolle spielt. Wie bereits oben aufgeführt, wird Wasserstoff insbesondere in der Fernwärme zur Anwendung kommen. In Objektheizungen werden Wärmepumpen und Power-to-Heat Anwendung prioritär verwendet werden, da sie die verfügbare Erzeugung aus

¹⁰ Z.B. WirtschaftsWoche – Die Batterie hat gewonnen. <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/e-mobility/vw-power-day-die-batterie-hat-gewonnen/27007708.html>. Zugriff [29.04.2021].

¹¹ Daimler Studie

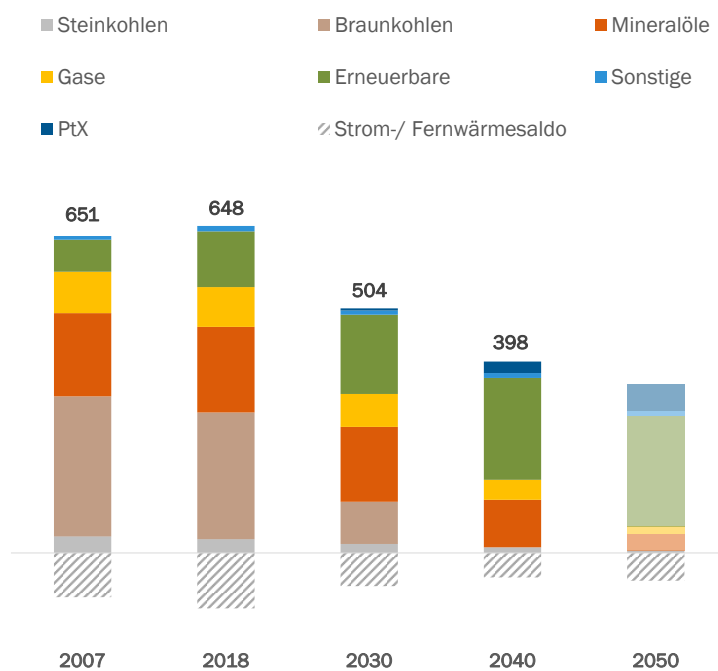
¹² Ob sich der Wasserstoffeinsatz in Quartierskonzepten oder Nahwärmelösungen lohnt, ist vom Einzelfall abhängig und wurde nicht vertiefend untersucht.

erneuerbaren Energien am effizientesten ausnutzen. Der darüber hinaus gehende Einsatz von Wasserstoff in Objektheizungen ist insbesondere davon abhängig, wie hoch die Verfügbarkeit von Wasserstoff ist. Es wurde oben jedoch gezeigt, dass voraussichtlich heimischer Wasserstoff nicht im ausreichenden Maße verfügbar ist.

6 Primärenergieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch im Land Brandenburg ergibt sich als Summe des Energieeinsatzes der einzelnen Sektoren einschließlich des Umwandlungssektors. Im Einzelnen zeigt sich für das Leitszenario folgende Entwicklung.

Abbildung 21: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs (in PJ, temperaturbereinigt)



Quelle: Prognos AG

© Prognos AG, 2021

Im Leitszenario ist ein Rückgang des Primärenergieverbrauchs von rund 648 PJ im Jahr 2018 auf rund 504 PJ im Jahr 2030 zu erwarten. Dies entspricht einem Rückgang um knapp einem Viertel. Dabei steigt der Anteil der Erneuerbaren kontinuierlich, während die Bedeutung der fossilen Energieträger deutlich abnimmt. Der Außerbetriebnahme der Braunkohlekraftwerke im Land Brandenburg führt zu einem deutlichen Rückgang des Primärenergieverbrauchs. Der Strom- und Fernwärmesaldo ist dabei die Differenz der tatsächlichen Flüsse aus angrenzenden Regionen nach Brandenburg bzw. aus Brandenburg in die angrenzenden Regionen.

PtX (synthetische Gase, Wasserstoff und Kraftstoffe) werden nach 2030 an Bedeutung gewinnen. Biomasse wird bei den Erneuerbaren weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Im Bereich des Endenergieverbrauchs steigt ihr Einsatz von etwas über 40 PJ auf rund 60 PJ im Jahr 2040, was einer Zunahme von rund 50 % entspricht. Im Bereich der Stromerzeugung kommt es ungefähr zu einer Halbierung des Biomasseeinsatzes zwischen den Jahren 2018 und 2040. In Summe steigt der Primärenergieverbrauch der Biomasse von rund 75 PJ im Jahr 2018 leicht auf rund 80 PJ im Jahr 2040, was auf eine verstärkte industrielle Biomassenutzung ab 2030 zurückzuführen ist.

7 Vertiefungen und Sensitivität des Strombedarfs

In diesem Kapitel werden die zusätzlichen Strombedarfe für Industrie- und Gewerbeansiedlungen sowie der voraussichtliche zusätzliche Stromexportbedarf nach Berlin dargestellt. Die zusätzlichen Strombedarfe werden abschließend in einer Gesamtbetrachtung zusammengetragen, um dann Schlussfolgerungen für den Ausbaupfad erneuerbarer Energien zu ziehen. Die hier dargestellten Überlegungen haben ausdrücklich nicht den Charakter von Szenarien. Somit stellen sie keine umfassende und konsistente Modellierung dar, sondern beleuchten Einzelaspekte, soweit das im Rahmen des Auftrags möglich und verabredet war. Naturgemäß kann hier nur der Stand der Rahmenbedingungen zum Redaktionsschluss einfließen, da Veränderungen nach diesem Zeitpunkt nicht mehr angemessen analysiert werden können.

7.1 Höherer Strombedarf aus Industrie und Gewerbe

Ein höherer Strombedarf wird durch neue Industrie- und Gewerbeansiedlungen in Brandenburg erwartet. Die derzeit größten erwarteten Stromabnehmer sind das Tesla-Werk in Grünheide sowie mögliche Ansiedlungen von Rechenzentren.

Tesla

Der Leistungsbedarf von Tesla für die geplante Autofabrik soll laut den Planungen 109 MW betragen. Prognos schätzt die Volllaststunden (VLH) aufgrund von Angaben aus dem Netzentwicklungsplan Strom für große Industrieabnehmer auf 6.000 Stunden (NEP Strom, 2020). Daraus ergibt sich ein Strombedarf von rund 650 GWh pro Jahr. Zusätzlich zu dem sich bisher im Bau befindlichen Tesla-Werk wird beabsichtigt, am Standort auch eine Batterieproduktion aufzubauen. Laut Mitteilung des MWAE würde der Leistungsbedarf auch nach vollständigem Ausbau der Werke ca. 400 MW betragen. Hieraus ergibt sich ein zusätzlicher geschätzter Strombedarf von ca. 2.400 GWh pro Jahr. Das oben dargestellte Leitszenario enthält die erste Ausbaustufe, in der Sensitivität ist hingegen der zusätzliche Strombedarf von ca. 1.750 GWh pro Jahr durch die weiteren Ausbaustufen berücksichtigt.

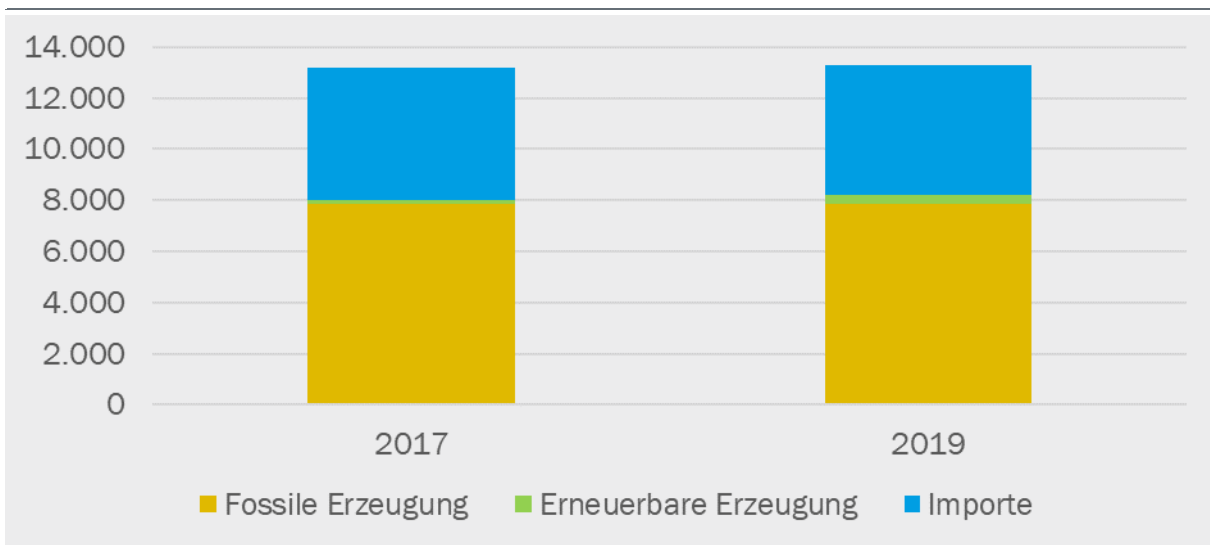
Rechenzentren

Aufgrund günstiger Rahmenbedingungen (u.a. Flächenangebot, ausreichende Stromnetzkapazitäten) wird laut einer Mitteilung des MWAE angenommen, dass sich ca. 10 Rechenzentren in Brandenburg ansiedeln werden. Eine Recherche ergab, dass der Leistungsbedarf von Rechenzentren sehr heterogen ausfällt (Borderstep, 2018). Als Tendenz kann jedoch für große neue Rechenzentren ein typischer Leistungsbedarf von 25 MW beobachtet werden. Prognos schätzt die Volllaststunden aufgrund Angaben aus dem Netzentwicklungsplan Strom für Rechenzentren auf 6.000 Stunden (NEP Strom, 2020). Daraus ergibt sich ein Strombedarf von rund 150 GWh pro Jahr pro Rechenzentrum. Für 10 Rechenzentren ergibt sich hieraus ein Strombedarf von 1,5 TWh pro Jahr.

7.2 Strombedarf von Berlin und Möglichkeiten der Deckung aus Brandenburg

Der heutige Stromverbrauch von Berlin von ca. 13 TWh wird bereits zu 38 % aus anderen Bundesländern bezogen und fließt somit durch Netze in Brandenburg. Der Importbedarf wird daher physikalisch u.a. aus Brandenburg bereitgestellt. Berlins heimische Stromerzeugung wird heute fast ausschließlich aus fossilen Quellen gedeckt. Erneuerbare Energien spielen eine untergeordnete Rolle. Relevante erneuerbare Erzeugungsmengen stammen aus Fotovoltaikanlagen.

Abbildung 22: Stromerzeugung und Verbrauch in Berlin (in GWh)



Quelle: 2017: Statistik Berlin-Brandenburg | 2019: Stromnetz Berlin, fossile Erzeugung 2019 wie 2017 angenommen

Eine detaillierte Analyse für den zukünftigen Berliner Strombedarf wurde nicht durchgeführt, da es außerhalb der Aufgabenbeschreibung lag. Der Strombedarf in Berlin wird durch zwei Effekte beeinflusst: Zum einen wird es Energieeffizienzgewinne geben, die den Strombedarf vermindern. Zum anderen werden bisherige auf Brenn- und Kraftstoffen basierende Anwendungen vermehrt mit Strom betrieben (Elektromobilität, Wärmepumpen usw.). Diese erhöhen den Strombedarf. In Summe wird zwar ähnlich wie auf Bundesebene der Primärenergieverbrauch in Berlin sinken, jedoch wird der Strombedarf voraussichtlich auf gleichem Niveau bleiben oder steigen. Vereinfacht wurde daher für den Strombedarf in Berlin angenommen, dass dieser ungefähr auf dem gleichen Niveau bis 2050 verharrt.

Wenn zudem angenommen wird, dass die fossile Stromerzeugung in Berlin langfristig ausläuft und zu 100 % durch Strom aus Brandenburg ersetzt würde, dann entstünde ein zusätzlicher Stromerzeugungsbedarf in Brandenburg von ca. 7,8 TWh. Dies würde sich vermindern, wenn deutlich mehr erneuerbare Energien (insbesondere Fotovoltaik) in Berlin installiert werden (Näheres siehe Box), eine Erhöhung des Strombedarfs in Berlin hätte aber einen gegenteiligen Effekt.



PV Gesetz in Berlin in Planung

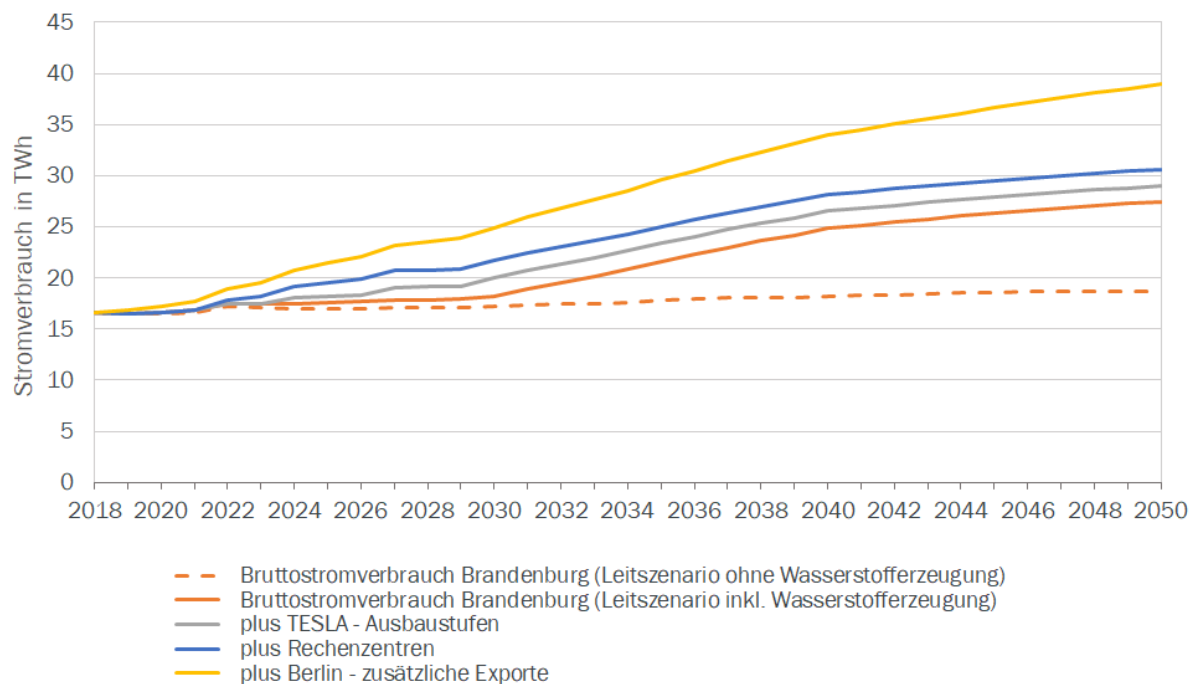
Am 02.03.2021 hat der Berliner Senat den Entwurf eines Solargesetzes beschlossen. Mit dem Gesetz soll ab dem 1. Januar 2023 eine verpflichtende Regelung für den Bau und Betrieb von Solaranlagen bei Neubauten und bei umfangreichen Dachsanierungen gelten. Berlin will bis spätestens 2050 ein Viertel des Berliner Strombedarfs aus Solarenergie decken. Die Installation und der Betrieb von Fotovoltaikanlagen sind dann für Neubauten und Bestandsgebäude, bei denen das Dach wesentlich umgebaut wird, mit einer Gebäudenutzfläche von mehr als 50 Quadratmeter verpflichtend. Neubauten müssen mindestens 30 Prozent ihrer Bruttodachfläche, Bestandsbauten mindestens 30 Prozent ihrer Nettodachfläche mit Fotovoltaikanlagen bedecken. Anstelle von Photovoltaikanlagen auf dem Dach können auch solarthermische Anlagen oder Fassaden-PV-Anlagen gebaut werden. Der Gesetzentwurf wird zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Gutachtens im Abgeordnetenhaus beraten.¹³ Das BMWi sieht aufgrund des Gebäudeenergiegesetzes nach erster Einschätzung keine Gesetzgebungskompetenz der Länder für eine Solarpflicht auf Neubauten. Auch diese Diskussion war zum Redaktionsschluss noch nicht abgeschlossen.

7.3 Fazit Strombedarf

In der Abbildung unten ist der zusätzliche Strombedarf durch die Ansiedlung von Tesla, den Rechenzentren und einem maximalen Exportbedarf nach Berlin zusammengefasst. Insgesamt ergibt sich ca. ein Strombedarf von rund 34 TWh im Jahr 2040 und 39 TWh im Jahr 2050. Damit liegt der Strombedarf im Jahr 2040 um 37 % über dem Leitszenario inkl. Wasserstoffherzeugung (im Jahr 2050 um 42 %).

¹³ Pressemitteilung Berliner Senat vom 02.03.2021: <https://www.berlin.de/rbmskzl/aktuelles/pressemitteilungen/2021/pressemitteilung.1058907.php>

Abbildung 23: Sensitivität Strombedarf Brandenburg

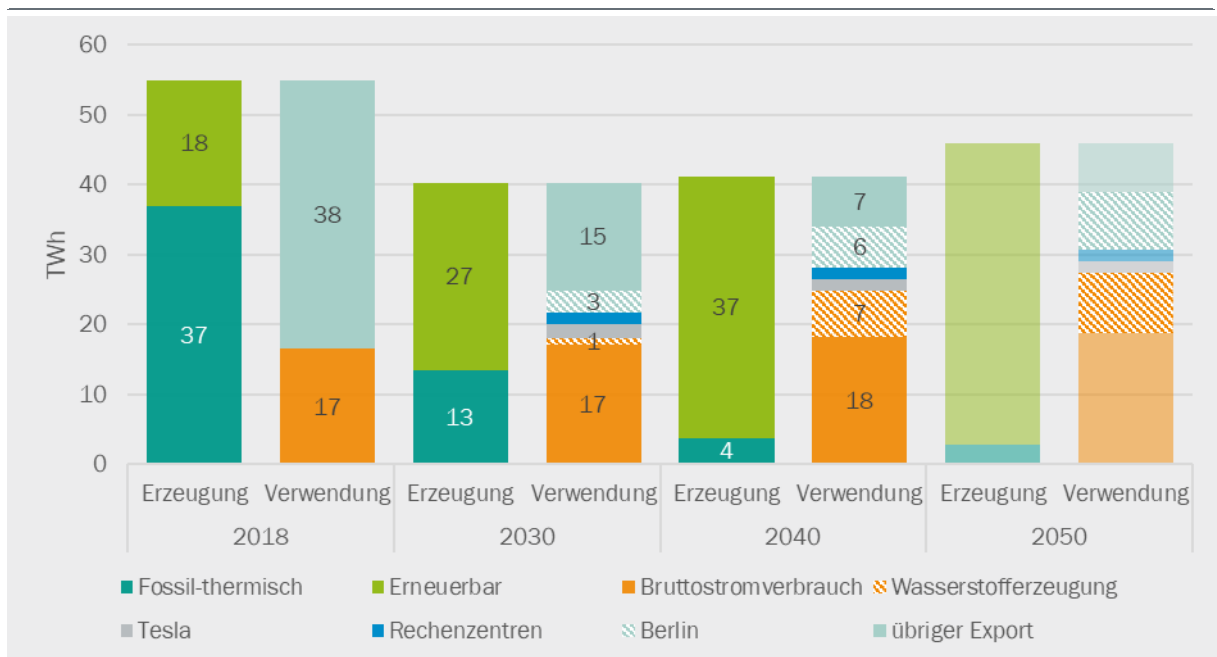


Quelle: eigene Berechnung Prognos AG auf Basis von (Borderstep, 2018), Mitteilung MWAE, Statistik Berlin-Brandenburg, Stromnetz Berlin, (Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI, 2021)

Insgesamt wirken sich insbesondere die Wasserstoffherzeugung und die potenzielle Versorgung von Berlin am stärksten auf den zusätzlichen Strombedarf im Land Brandenburg aus.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Brandenburg bereits heute erheblich zur Deckung des Strombedarfs in anderen Bundesländern beiträgt. So wurden im Jahr 2018 etwa 55 TWh Strom erzeugt, aber nur knapp 17 TWh verbraucht, 38 TWh wurden exportiert. Wenn gegenüber der im Leitszenario erwarteten Stromerzeugung ein zusätzlicher Strombedarf auftritt, steht entsprechend weniger Strom für den Export zur Verfügung (siehe Abbildung).

Abbildung 24: Entwicklung des Exportpotenzials für Strom aus Brandenburg



Quelle: Eigene Berechnung Prognos

7.4 Schlussfolgerung für den Ausbaupfad erneuerbarer Energien

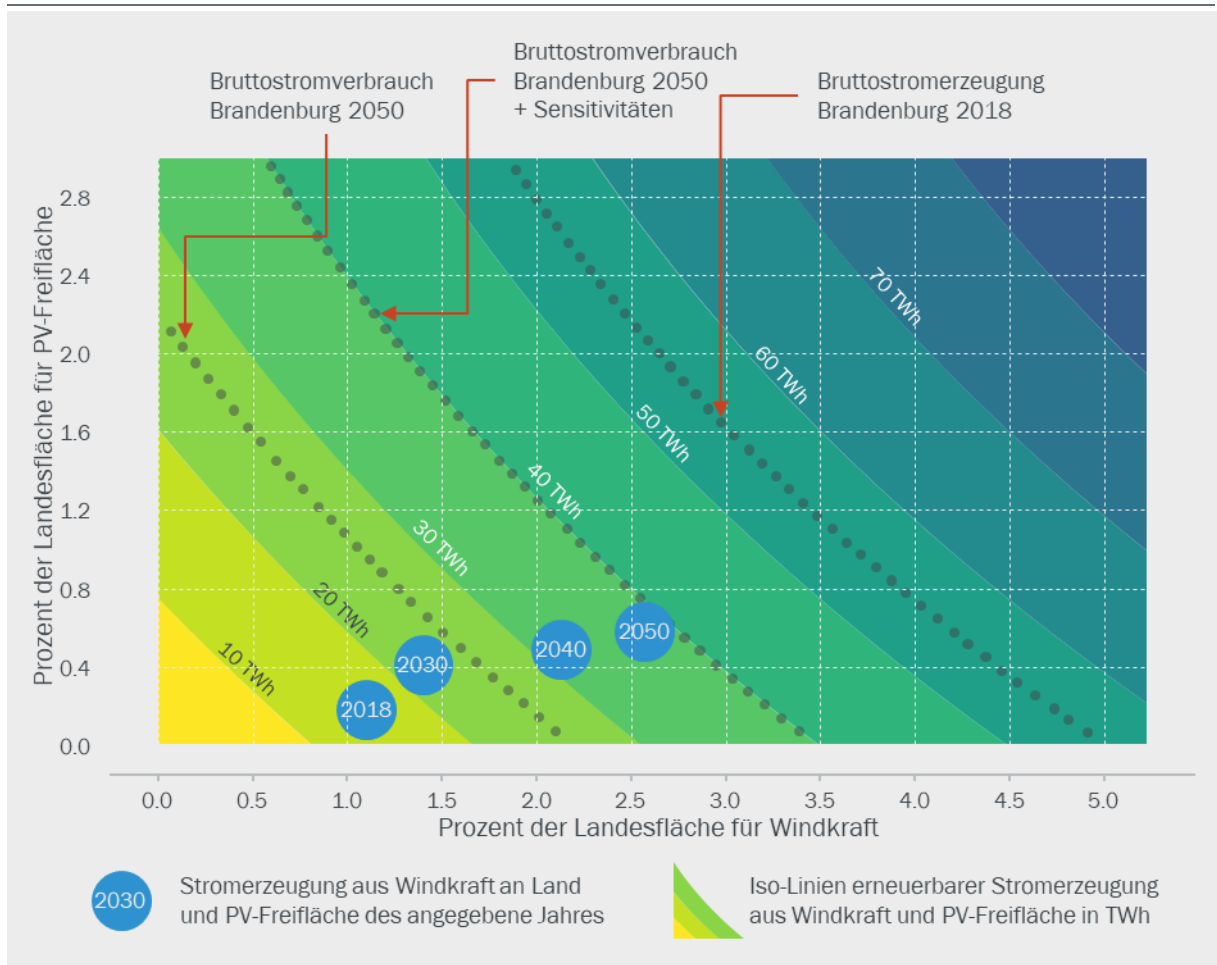
Brandenburg ist als windreiches Flächenland sehr gut für die Nutzung von Windenergie und PV-Freifläche aufgestellt. Dennoch wird das Land Brandenburg das selbst gesteckte Ausbauziel von 10,5 GW Windkraftleistung im Jahr 2030 im Leitszenario verfehlen. In den Jahren 2018 und 2019 kam es in Brandenburg wie auch bundesweit aufgrund von unsicheren Planungsbedingungen für Projektierer zu Unterzeichnungen der Ausschreibungsrunden. Zwar konnte sich der Zubau 2020 etwas erholen, doch fallen in den kommenden Jahren viele Anlagen aus der Förderung, was zusätzlichen Bedarf an Neubau und Repowering schafft. Die unsichere Planungslage in Bezug auf in Regionalplänen ausgewiesenen Windeignungsflächen muss verbessert werden. Andere Ansatzpunkte für ein stärkeres Wachstum der Windleistung könnten Anreize für den Weiterbetrieb von Windkraftanlagen sein, die aus der EEG-Förderung fallen. Auch avisierte Änderungen beim Umgang mit dem Naturschutz beim Windenergieausbau könnten Wirkung zeigen. Selbstverständlich könnte auch eine Anhebung der Ausschreibungsmengen oder Sonderausschreibungen eine stimulierende Wirkung auf den Windenergieausbau in Brandenburg haben, solange noch Flächen verfügbar sind.

In der PV Freifläche sind in den kommenden Jahren die größten Zuwächse zu erwarten. Zum einen ergeben sich hier nicht die gleichen Planungsunsicherheiten wie bei der Windkraft. Zum anderen ist mit starkem Rückbau von Altanlagen erst ab 2035 zu rechnen. Darüber hinaus sind erste Projekte auch abseits des EEG realisiert worden. Biomasse fällt in Bezug auf die Leistung weniger ins Gewicht, ist aber als regelbare erneuerbare Quelle zur Stromerzeugung ein weiterer wichtiger Energieträger zur Stromerzeugung. Hier wurden über das EEG2021 die Ausschreibungsmenge sowie die Höchstgebote angehoben. Allerdings ist durch die Ausgestaltung von Flexibilitätsprämie und -zuschlag die notwendige Flexibilisierung von Bestandsanlagen nicht optimal angereizt.

Der Zusammenhang zwischen Strombedarf und dem Exportpotenzial des Landes wurde im letzten Kapitel erläutert. Soll der Export gleichbleiben oder gesteigert werden (z.B. für Berlin), so sind entsprechend höhere Installationszahlen bei Wind, Photovoltaik und ggf. weiteren erneuerbaren Energieträgern notwendig. Hierfür sind die Rahmenbedingungen in Bund und Land entsprechend auszusteuern. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Inanspruchnahme von Landesfläche in Abhängigkeit der jeweiligen Stromerzeugung. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei der Darstellung jeweils nur um die Stromerzeugung aus Windkraft und PV-Freifläche handelt. Nicht mit abgetragen ist der jeweilige Betrag der Stromerzeugung aus PV Dachfläche, Biomassen sowie sonstige Stromerzeugung wie bspw. der Abfallverbrennung. Im Jahr 2030 beträgt die Stromerzeugung aus diesen Quellen etwa 16,8 TWh, im Jahr 2040 etwa 7,7 TWh und im Jahr 2050 etwa 7,1 TWh. Es wird deutlich, dass der Strombedarf Brandenburgs und die dargestellten Sensitivitäten mit dem im Leitszenario präsentierten Ausbaupfaden mit erneuerbaren Energien „made in Brandenburg“ gedeckt werden könnten.

Hierbei ist zu beachten, dass das Exportpotenzial Brandenburgs unter der Berücksichtigung des Ausbaupfades des Leitszenarios sowie der betrachteten Sensitivitäten des Stromverbrauchs deutlich zurückgehen würde. Bereits bei der Betrachtung des Strombilanz in Abbildung 16 wird deutlich, dass eine Zunahme des Stromverbrauchs in Brandenburg mit einer Abnahme des exportierten Stroms einhergeht. 2018 hat das Land Brandenburg etwa 2/3 des in Brandenburg erzeugten Stroms nicht im Land verbraucht, sondern in andere Regionen exportiert. Aufgrund des Rückgangs der Stromerzeugung sowie einer Zunahme des Stromverbrauchs in Brandenburg (bspw. im Falle einer netzentlastenden Wasserstoffproduktion in der räumlichen Nähe zur erneuerbaren Stromerzeugung) nimmt das Exportpotenzial ab.

Abbildung 25: Stromerzeugungspotenzial aus Windkraft und PV-Freifläche in Brandenburg
in Abhängigkeit von der Landesfläche



Es gilt zu beachten, dass nur die Stromerzeugung aus Windkraft und PV-Freifläche gezeigt ist. Stromerzeugung aus PV-Dachfläche, Abfallverbrennung u.ä. sind nicht enthalten

Quelle: Eigene Berechnung Prognos

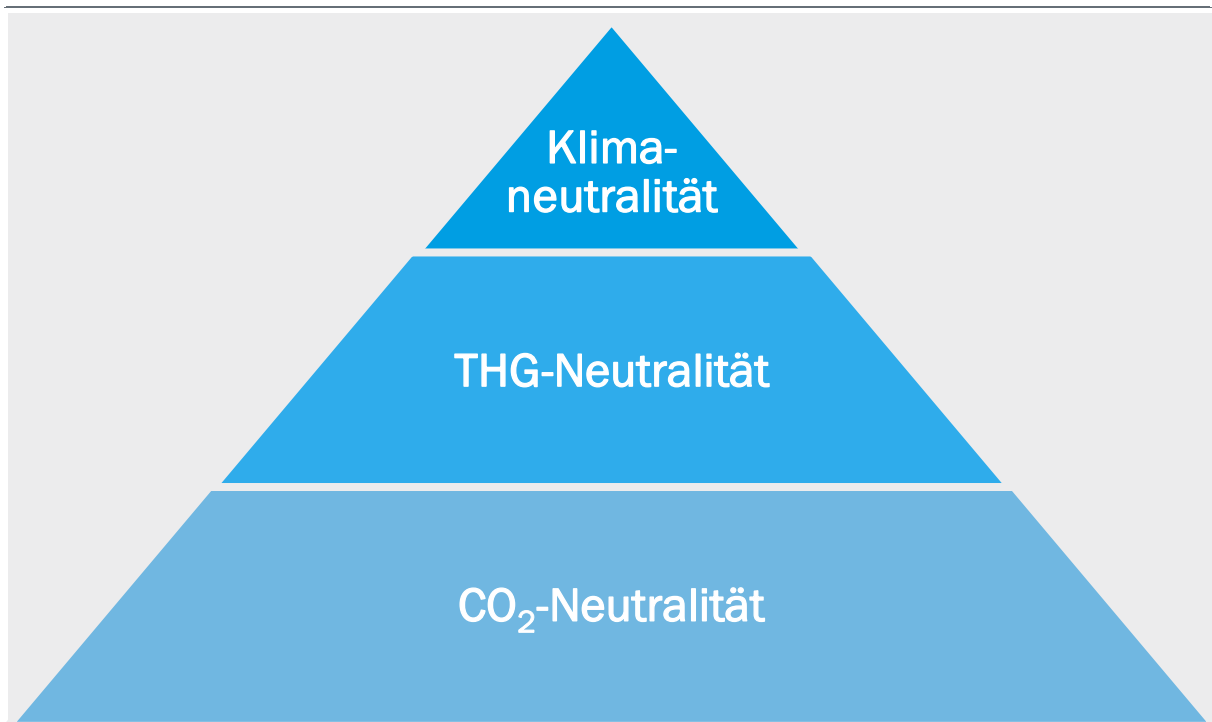
Wenn dies nicht gewünscht ist, müssen zusätzliche Flächen für Windenergie und Photovoltaik bereitgestellt und die Ausbaudynamik erhöht werden, um mehr Strom zu erzeugen. Wenn Brandenburg im Jahr 2040 genau so viel Strom wie 2018 exportieren will (als es noch Braunkohlenkraftwerke gab), müssten im Jahr 2040 voraussichtlich ca. 66 TWh Strom erzeugt werden.

8 Ausblick Klimaneutralität 2050

8.1 Stand der Diskussion zur Klimaneutralität

Das Leitszenario enthält keine Ausrichtung auf Klimaneutralität bis zum Jahr 2050. In diesem Kapitel wird diskutiert, welche Auswirkungen die Zielstellung der Klimaneutralität für das Jahr 2050 hätte. Auf der politischen Ebene gibt es verschiedene Zieldefinitionen mit unterschiedlichen Ambitionsniveaus. Abbildung 26 stellt die Zielpyramide mit abnehmendem Ambitionsniveau dar.

Abbildung 26: Zielpyramide CO₂-Neutralität, THG-Neutralität und Klimaneutralität



Quelle: Eigene Darstellung

© Prognos AG, 2021

- **Klimaneutralität** wird oft synonym mit dem Begriff Treibhausgas (THG)-netto-null verwendet. Aber in einer engeren Definition würden alle bekannten Einflüsse auf das Klima mit einbezogen, z. B. die Effekte durch schwarzen Kohlenstoff, Nicht-CO₂-Effekte beim Fliegen und Albedo-Veränderungen¹⁴. Damit stellt Klimaneutralität das am weitestgehende Klimaziel dar.
- **THG-Neutralität** umfasst CO₂ und alle anderen THG-Emissionen. THG-Neutralität ist der Status, in dem ein Gleichgewicht zwischen den schwer vermeidbaren (residualen) THG-Emissionen und der Aufnahme von Kohlenstoff durch Kohlenstoffsinken besteht. Residuale THG-Emissionen, vor allem Methan- und Lachgase aus der Landwirtschaft, können über natürliche und technische Kohlenstoffsinken ausgeglichen werden.

¹⁴ Darunter sind z.B. Veränderungen in der Strahlungsbilanz aufgrund Gletscherschmelze oder Wolkenbildung zu verstehen.

- **CO₂-Neutralität** hingegen beinhaltet nur die CO₂-Emissionen und ist somit das am wenigsten ambitionierte Zielniveau. Es ist der Status, in dem entweder keine CO₂-Emissionen mehr emittiert werden oder residuale CO₂-Emissionen über natürliche und technische Kohlenstoffsenken ausgeglichen werden.
- **CO₂-Netto-Negativ** geht noch einen Schritt weiter. Es ist der Status, in dem mehr CO₂-Emissionen aus der Atmosphäre entfernt als emittiert werden. Negative CO₂-Emissionen können über natürliche und technische CO₂-Senken generiert werden. **Natürliche Senken** entstehen in einem natürlichen System, das mehr Kohlenstoff aufnimmt als es abgibt. Die wichtigsten natürlichen Kohlenstoffsenken sind Böden, Wälder und Ozeane. **Technische Senken** sind technische Maßnahmen, die CO₂ aus der Atmosphäre entfernen. Die bekanntesten technischen CO₂-Entnahmetechnologien sind die direkte CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre mit anschließender geologischer Speicherung (DACCS), die Kombination aus Biomasseverbrennung mit anschließender Abscheidung und geologischer Speicherung (BECCS) oder die beschleunigte Verwitterung.

Sowohl auf europäischer als auch auf Bundesebene gab es einige Fortschritte in der Debatte um die Klimazielerreichung für 2050. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die wesentlichen Diskussionen und Beschlüsse für das Ziel Klimaneutralität.

Das bisherige Ziel der Energiestrategie des Landes Brandenburg, ist die Minderung des energiebedingten CO₂-Ausstoßes bis zum Jahr 2030 um 72 % gegenüber 1990. Mit dem Kabinettsbeschluss 55/20 und dem Kernpunkt der Erarbeitung eines Klimaplan wird der Weg zu THG-Neutralität bis spätestens 2050 (vor)bereitet.

Tabelle 5: Klimaneutralität in der Energie- und Klimapolitik Status-quo

Ebene	Regulierungsinhalt
Europa	<ul style="list-style-type: none"> ■ Das erste europäische Klimagesetz soll das im europäischen Grünen Deal vorformulierte Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 verankern ■ Anhebung des THG-Reduktionsziels für das Jahr 2030 von derzeit -40 % auf -55 % netto-Reduktion im Vergleich zu 1990
Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> ■ Klimaschutzprogramm 2030 (2019): Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 ■ Brennstoffemissionshandelsgesetz BEHG (2019): Neue CO₂-Bepreisung für den Verkehrs- und Wärmesektor ab 2021 (nEHS) ■ Klimaschutzgesetz (2019): Zulässige Jahresemissionsmengen und sektorscharfe Zieldefinitionen für 2030: z.B. Energiewirtschaft Reduktion auf 175 MtCO₂äq. in 2030 ■ Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung (Kohleverstromungsbeendigungsgesetz – KvbG = Kohleausstiegsgesetz) (2020) ■ Erste Diskussionen und Szenarien zur Treibhausgasneutralität bis spätestens 2050
Brandenburg	<ul style="list-style-type: none"> ■ Koalitionsvertrag für die 7. Legislaturperiode Brandenburg (2019 - 2024): ■ Kabinettsbeschluss 55/20 Bekenntnis zu den Pariser Klimaschutzzielen (Treibhausgasneutralität in Brandenburg bis 2050), um einen Beitrag zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs zu leisten ■ Kernpunkt ist die Erarbeitung eines Klimaplans als verbindliche Klimaschutzstrategie einschließlich eines Maßnahmenplans zur Treibhausgasminderung mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis spätestens 2050 ■ Das bisherige Klimaschutzziel Brandenburgs im Rahmen der Energiestrategie 2030 sieht eine Minderung des energiebedingten CO₂-Ausstoßes um 72 % gegenüber 1990 vor. Für die anderen relevanten Treibhausgase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) gibt es noch keine Minderungsziele.

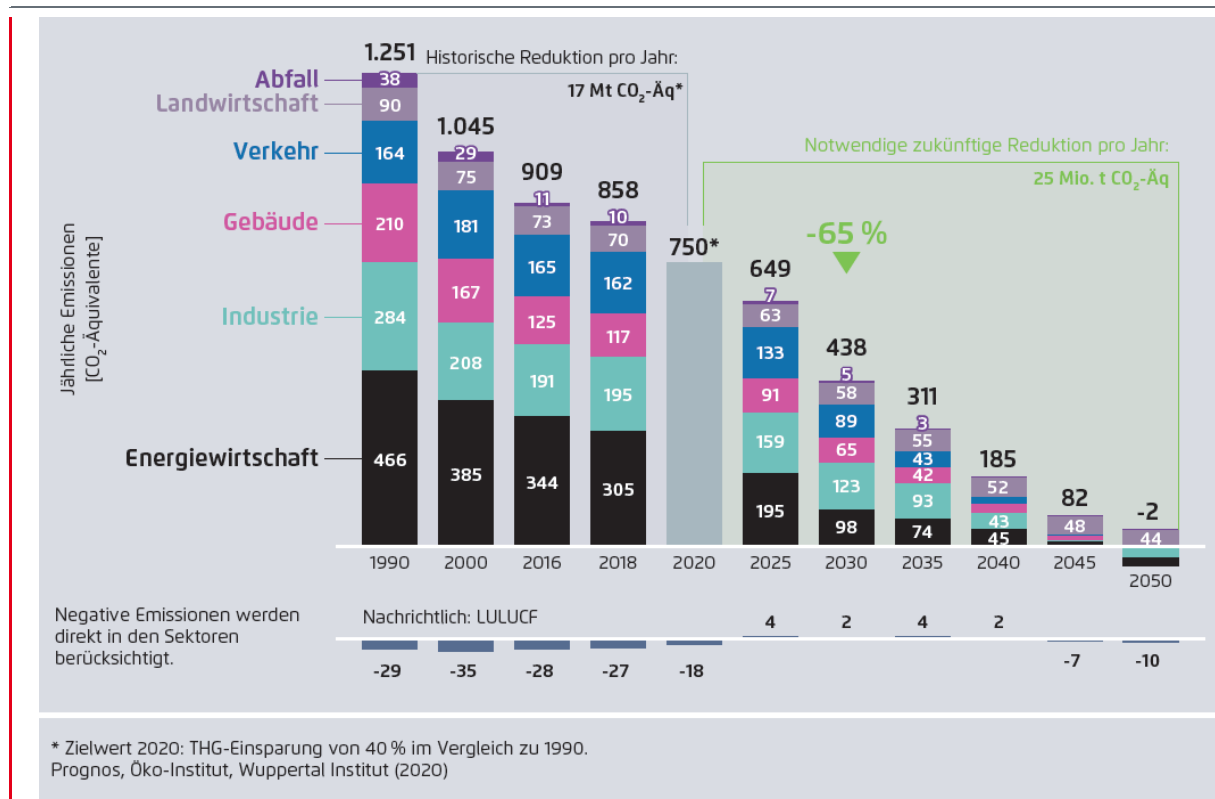
Quelle: Eigene Darstellung

8.2 Klimaneutralität in Deutschland – Zentrale Ergebnisse vorliegender Untersuchungen

Wie ein möglicher Pfad zur Klimaneutralität bis 2050 für Deutschland aussehen kann, zeigt die Studie (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020). Die Szenariestudie legt dar, dass das Ambitionsniveau nochmals um einiges gegenüber dem Zielpfad des alten Energiekonzepts der Bundesregierung (-80 % bis -95 %) gesteigert werden muss, um im Gesamtsystem klimaneutral zu wirtschaften.

Abbildung 27 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen nach Sektoren bis 2050 aus der Studie von (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020). Innerhalb der **Energiewirtschaft** braucht es einen beschleunigten und höheren EE-Ausbau, den Wechsel von Erdgas und Kohle auf erneuerbaren Strom und Wasserstoff, eine inländische Wasserstoffproduktion und einen Ausbau von direkter CO₂-Abscheidung aus der Umgebungsluft (DAC).

Abbildung 27: Entwicklung THG-Emissionen nach Sektoren bei Klimaneutralität in 2050



Die **Industrie** wird in diesem Szenario einen steigenden Bedarf an erneuerbarem Wasserstoff und Biomasse haben, einen Technologiewechsel innerhalb der energieintensiven Industrie durchführen müssen und es wird für die übrigen THG-Emissionen eine CCS-Infrastruktur benötigt. Im **Verkehrssektor** wird bis 2030 die Elektrifizierung im PKW-Bereich enorm zunehmen, nach 2032 werden keine neuen Verbrenner-PKW mehr zugelassen und PtL wird vor allem in der Schifffahrt und in der Luftfahrtindustrie eingesetzt. Für die Dekarbonisierung des **Gebäudesektors** wird vor allem ein beschleunigter Ausbau von Wärmepumpen und Wärmenetzen benötigt, eine Erhöhung

der Sanierungsrate notwendig und ein Austausch aller Heiztechnologien bis 2045 umgesetzt. Im **Landwirtschaftssektor** lassen sich die THG-Emissionen durch die Reduktion der Tierbestände, durch eine Erhöhung des Ökolandbaus und durch die Ausweitung der Moorwiedervernässung und Erhöhung der Biodiversitätsflächen reduzieren. Trotz dieser Maßnahmen wird der Landwirtschaftssektor im Jahr 2050 noch den größten Anteil der residualen THG-Emissionen aufweisen (44 MtCO₂äq.), die durch negative Emissionen ausgeglichen werden müssen.

Um spätestens im Jahr 2050 Klimaneutralität zu erreichen, werden die residualen THG-Emissionen durch technische CO₂-Senken ausgeglichen. Dafür wird vor allem die Biomasseverbrennung mit anschließender CO₂-Abscheidung und geologischer CO₂-Speicherung (BECCS) in der Industrie und die direkte CO₂-Abscheidung aus der Umgebungsluft anschließender geologischer CO₂-Speicherung (DACCS) im Energiewirtschaftssektor eingesetzt.

8.3 Ausbau erneuerbarer Energien

In den Szenarien der Studie „Klimaneutrales Deutschland“ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020) liegt der Bruttostrombedarf über dem des im Leitszenario verwendeten Szenarios. Die Sektorkopplung wird schneller vollzogen, da Deutschland bereits 2030 eine Treibhausgas-minderung von 65 % erreichen muss. Eine Verknappung der Emissions-Zertifikate in den ETS-Sektoren führt zu einer früheren Beendigung der Stromerzeugung aus Kohle (bereits um 2030). Als Konsequenz wird die Bereitstellung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien bei einem klimaneutralen Szenario verstärkt. Insbesondere die Ausbaupfade für PV und Wind, aber auch Biomasse liegen in einem solchen Szenario oberhalb der heutigen Ausbaupfade des EEG 2021.

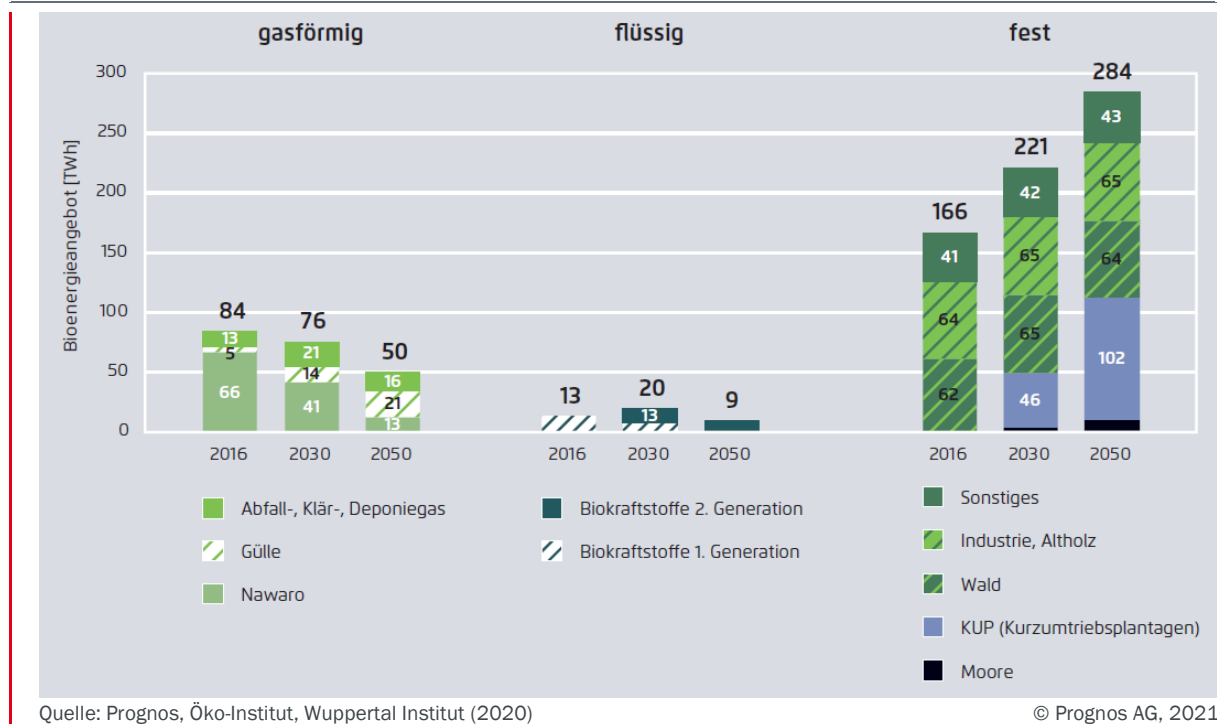
Das Szenario KN2050 aus der Studie „Klimaneutrales Deutschland“ sieht bis 2030 einen Ausbau der **Windkraft** auf 80 GW vor. Bis 2040 erhöht sich die installierte Leistung der Windenergie an Land nochmals auf 119 GW. Der für die regionalen Betrachtungen in Brandenburg zugrunde gelegte Ausbaupfad des EEG 2021 sieht eine installierte Leistung von 71 GW in 2030 vor. Nähme man den Anteil der in Brandenburg installierten Leistung von 11,5 % aus den vorhergehenden Analysen als konstant an, ergäbe dies eine installierte Leistung von 9,2 GW in 2030 bzw. 13,7 GW in 2040.

Die Ausbaupfade für **PV** (Dachfläche und Freifläche) des Szenarios KN2050 sehen eine installierte Leistung von 150 GW für 2030 bzw. 252 GW für 2040 vor. Diese Ausbaupfade sind deutlich ambitionierter als die heutigen Ausbaukorridore des EEG 2021. Die Szenarien, die dem zukünftigen Ausbau zugrunde liegen betragen in Summe 98 GW in 2030 und 150 GW in 2040. Die starke Zunahme im Bereich PV ist insbesondere den Schwierigkeiten bei der Ausweisung von Flächen für die Windkraftnutzung verschuldet. Ein starker Ausbau des Dachflächenpotenzials hat dagegen wenig Flächenkonkurrenzen. Ein weiterer Faktor ist die Möglichkeit des Ausbaus von Freiflächen-PV-Anlagen in südlichen, windärmeren Regionen Deutschlands.

Für die Erreichung des Ziels der Klimaneutralität auf Bundesebene nimmt der Einsatz der **Biomasse** in der Studie (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020) eine entscheidende Rolle ein. Dabei wird eine Verlagerung von gasförmiger hin zu fester Biomassenutzung angenommen. Das Angebot fester Biomasse insbesondere durch den Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP) nimmt um rund 70 % bis 2050 zu. Die freiwerdenden Flächen aus dem Rückgang des Anbaus nachwachsender Rohstoffe (NawaRo), wie z.B. Energiemais, können unter anderem für den Anbau von Pappel- und Weideplantagen genutzt werden. Vorteile des KUP-Anbaus gegenüber dem NawaRo-Anbau bestehen vor allem in der höheren Kohlenstoffbindung im Boden, dem geringeren

Düngemittelbedarf und der einfachen und flexiblen Lagerung und Transport der festen Biomasse. Der Energieertrag pro Fläche liegt sowohl für die gasförmige als auch für die feste Biomasseart bei rund 50 MWh/ha/a.

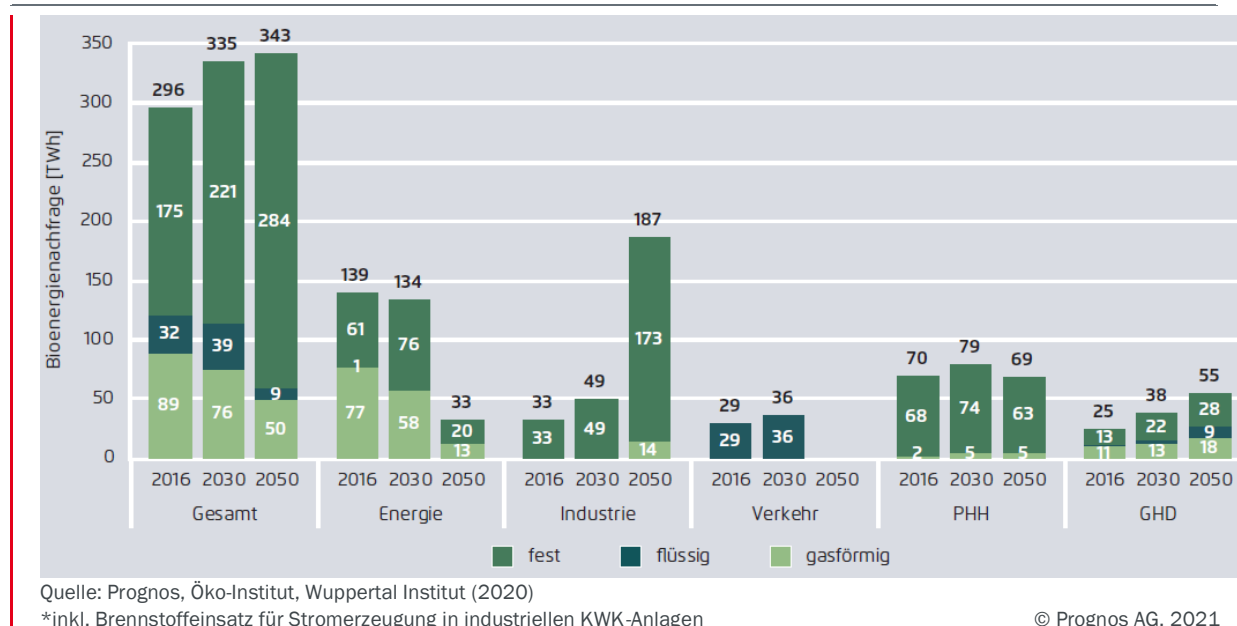
Abbildung 28: Inländisches Biomasseangebot für energetische Nutzung (in TWh)



Nicht nur im Biomasseangebot gibt es eine Verlagerung, sondern auch in der energetischen Nutzung der vorhandenen Biomasse. Es wird eine Verlagerung von der direkten Verstromung aus Biomasse zu der direkten Wärmeanwendung in der Industrie angenommen (siehe Abbildung 29).

Diese Entwicklung ist einerseits bedingt durch das limitierende Angebot von klimaneutralem Wasserstoff. Andererseits werden insbesondere für die energieintensiven Industrieprozesse (Stahl, Zement und Grundstoffchemie) Prozesstemperaturen von >1000 °C benötigt, die sich unter anderem über die Biomassevergasung und Verbrennung des Synthesegases in einem Oxyfuelofen erreichen lassen. Zudem besteht durch den Einsatz der Biomasse in der Industrie der entscheidende Vorteil darin, dass das bei der Verbrennung entstehende CO₂ abgeschieden werden kann und wenn dieses abgeschiedene CO₂ dann auch noch in geeigneten offshore Speicherstätten langfristig gespeichert wird, erzeugt dieser Pfad negative CO₂-Emissionen, die für das Erreichen der Klimaneutralität erforderlich sind.

Abbildung 29: Energetischer Biomasseeinsatz in den Sektoren (in TWh)*



8.4 Übertragung der Ergebnisse auf Brandenburg

Ein verbindliches Leitbild für ein klimaneutrales Deutschland liegt noch nicht vor. Allerdings existieren inzwischen Studien, z.B. (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020) oder (UBA, 2019), die eine Klimaneutralität „durchbuchstabieren“. Wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, kann Klimaneutralität nur erreicht werden, wenn residuale Emissionen (THG-Quellen) und negative Emissionen (CO₂-Senken) ausgeglichen sind. Beide sind regional heterogen über Deutschland verteilt. Bisher gibt es aber noch **kein regional aufgeschlüsseltes** Bild von residualen und möglichen negativen Emissionen. Auch ist noch unklar, welche Sektoren am Ende noch THG-Emissionen ausstoßen dürfen und welche Sektoren negative Emissionen bereitstellen sollen. Zusätzlich ist die Herausforderung, dass das verfügbare nachhaltige **Biomassepotenzial** limitiert ist und effizient eingesetzt werden sollte. In welchem Bundesland und in welchen Regionen Flächen frei werden und Kurzumtriebsplantagen darauf angebaut werden oder ob eine andere Biomasseart dafür eingesetzt wird, müsste in einer neuen Biomassestrategie entwickelt werden. Zusätzlich bedarf es einer vertiefenden Untersuchung, ob ein Bundesland wie Brandenburg innerhalb seiner Landesgrenzen eine ausgeglichene „Nullbilanz“ seiner Emissionen erreichen kann oder sollte. Nach erster Einschätzung erscheint es sinnvoll, zuerst eine deutschlandweite Betrachtung anzustellen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

9 Beschäftigung und Wertschöpfungseffekte

Der Ausstieg aus der Braunkohleverstromung und die weiter voranschreitende Energiewende wird auch in Brandenburg zu deutlichen regionalökonomischen Veränderungen führen. Schneller als noch vor einigen Jahren erwartet wird es zu einem Abbau von Arbeitsplätzen in der Braunkohleindustrie kommen. Zugleich kommt den erneuerbaren Energien auch als Arbeitsmarkt eine noch größere Bedeutung zu. Das folgende Kapitel analysiert die Auswirkungen des beschriebenen Leitszenarios auf die wirtschaftliche Situation im Land Brandenburg. Im Fokus standen dabei die beiden nachfolgenden Arbeitsschritte:

- Quantifizierung der direkten, indirekten und induzierten Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Braunkohleindustrie und der wichtigsten erneuerbaren Energieträger (Wind, PV und Biomasse) im Land Brandenburg für das Jahr 2018
- Fortschreibung der direkten und indirekten regionalwirtschaftlichen Effekte auf Basis geeigneter Kennziffern

Analog zur Vorgängerstudie des Jahres 2017¹⁵ werden nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt. Überblicksartig wird dabei auch auf die methodische Vorgehensweise eingegangen. Die Analyse fußt dabei im Wesentlichen auf Sekundärdaten und den Erfahrungen aus der Vorgängerstudie. Eine erneute Erhebung von Primärdaten erfolgte nicht.

9.1 Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Braunkohleindustrie

Für die Ermittlung des gesamten regionalökonomischen Fußabdrucks der Braunkohleindustrie ist die Betrachtung eines einzelnen Industriezweigs nicht ausreichend. Methodisch wird zwischen direkten, indirekten und sog. einkommensinduzierten Effekten unterschieden. In der Gesamtschau der drei Effekte ergibt sich schließlich der gesamte regionalökonomische Fußabdruck.

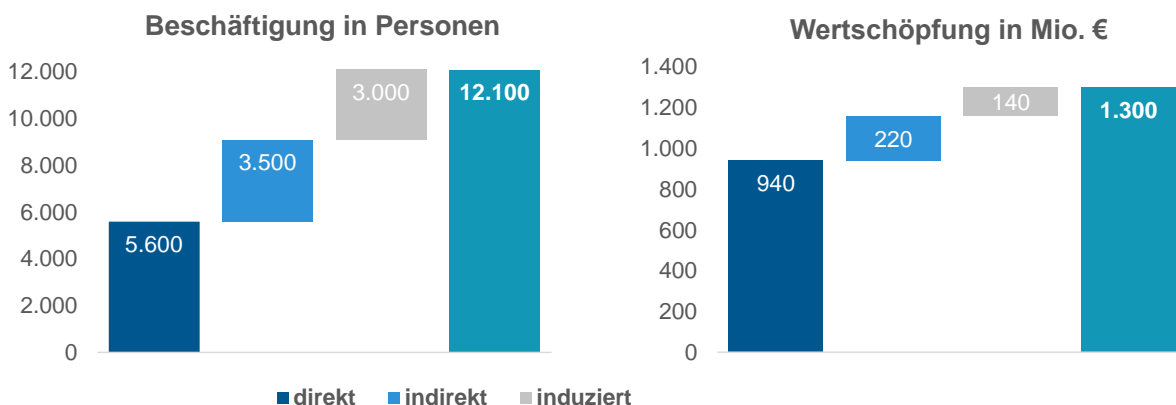
- **Direkte Effekte** bezeichnen die primären Produktions-, Beschäftigungs-, und Einkommenseffekte, die direkt in der Braunkohlenindustrie entstehen. Hierzu zählen die Produktion und die Wertschöpfung der Industrie, die Arbeitsplätze und die Einkommen der Beschäftigten.
- **Indirekte Effekte** entstehen durch die laufenden Ausgaben und Investitionen der Braunkohleindustrie. Diese Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen führt zu einer erhöhten Wertschöpfung und Beschäftigung in den Zulieferbranchen. Diese Branchen setzen Arbeitsleistung für die Produktion von Gütern und Diensten (bspw. Schrauben, Schienen, Maschinen oder auch Sonderreinigungsleistung) ein, welche von der Braunkohleindustrie eingekauft werden. Diese vorleistenden Wirtschaftsbereiche beziehen ihrerseits auch wieder Vorleistungen von anderen Bereichen (Vorleistungsverflechtung). Es ergeben sich folglich indirekte Effekte erster, zweiter ... und „n-ter“ Ordnung, wobei die Größenordnung der Effekte von Stufe zu Stufe abnimmt.
- **Einkommensinduzierte Effekte** entstehen durch die Verdienstaussgaben der direkt und indirekt Beschäftigten. Die in der Braunkohlenindustrie und in zuliefernden Branchen beschäftigten Personen verwenden einen Teil ihrer Einkommen für Konsumausgaben. Aus dieser

¹⁵ Prognos AG (2017): Evaluation und Weiterentwicklung des Leitszenarios sowie Abschätzung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte.

zusätzlichen Nachfrage resultieren sog. induzierte Effekte, die sich in gesteigener gesamt- und regionalwirtschaftlicher Produktion, Beschäftigung und Einkommen äußern.

Im ersten Schritt wurden die **direkten Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte** bestimmt, die durch die Verstromung und Förderung der Braunkohle im Land Brandenburg im Jahr 2018 entstehen. Die Ermittlung erfolgte auf Basis von Sekundärstatistiken und Angaben der LEAG zu ihrer Gesamtbeschäftigung.¹⁶ Auf Grundlage umfangreicher Vorarbeiten der Vorgängerstudie, inklusive Abfragen bei der LEAG zur Zusammensetzung ihrer Beschäftigten, wurden die Beschäftigungsanteile im Land Brandenburg abgeleitet. Im zweiten Schritt wurden die direkten Effekte als Ausgangsgrößen zur Berechnung der indirekten und induzierten Effekte eingesetzt. Analog zur Vorgängerstudie wurde für die Berechnungen ein kennziffernbasierter Ansatz gewählt. Die Beschäftigungs- und Wertschöpfungsmultiplikatoren wurden dabei ebenfalls den Vorgängerstudien entnommen. Die Ergebnisse des zweiten Schritts beschreiben, wie viele Arbeitsplätze und wieviel Wertschöpfung in den Zulieferbetrieben sowie durch induziertes Einkommen, bspw. im Einzelhandel, geschaffen bzw. gesichert werden. In Summe waren im Jahr 2018 gut **12.000 Arbeitsplätze** abhängig von der Braunkohlegewinnung bzw. -verstromung, die gemeinsam eine **Wertschöpfung von rund 1,3 Mrd. Euro** erwirtschafteten (Abbildung 30).

Abbildung 30: Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der Braunkohleindustrie in Brandenburg im Jahr 2018



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Desk-Research und Erfahrungen aus Vorprojekten

Die **Fortschreibung** der Arbeitsplatz- und Wertschöpfungsdaten basiert auf dem in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Leitszenario. Ausgehend vom Basisjahr wurden die Beschäftigungseffekte für das Leitszenario für die Jahre 2025, 2030 und 2040 projiziert sowie als Ausblick für das Jahr 2050. Die Projektion erfolgt getrennt nach den Bereichen Braunkohlenverstromung sowie -förderung und baut auf spezifischen Kennziffern auf. Zentrale Grundlage für die Braunkohlenverstromung bildet die installierte Leistung. Die Fortschreibung der Beschäftigten erfolgt dann über die Kennziffer Beschäftigte je Megawatt installierter Leistung. Im Bereich der Förderung wurde die geplante Fördermenge in den Brandenburger Tagebauen genutzt, um die Beschäftigten über die Kennziffer Beschäftigte je geförderter Menge Braunkohle fortzuschreiben.

¹⁶ Vgl. u. a. LEAG – Die Lausitzer Energie: <https://www.leag.de/de/unternehmen/>

Mit dem sukzessiven Ausstieg aus der Braunkohleverstromung werden nach und nach auch die Kraftwerksblöcke vom Netz genommen (vgl. Kapitel 5.3). Entsprechend geht auch der **Bedarf an Braunkohle** zurück. Da die Lausitzer Tagebaue aber im Verbund betrieben werden, können sie nicht eindeutig bestimmten Kraftwerken zugeordnet werden. Eine exakte und nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimierte Fahrweise der Tagebaue ist nur mit detaillierten Kenntnissen über die Abraum-Kohle Verhältnisse und die Qualität der Braunkohlen in Kombination mit technischen Daten der Kraftwerke möglich. Diese Kenntnisse hat nur die Betreiberin LEAG. Somit könnte auch nur die LEAG eine Aussage darüber treffen, ob brandenburgische und sächsische Tagebaue nach Stilllegung bestimmter Kraftwerke parallel betrieben werden. Analog zur Vorgängerstudie wird für die Abschätzung der zukünftigen Beschäftigungseffekte in Brandenburg ein vereinfachter Ansatz genutzt. Für die Fortschreibung wird davon ausgegangen, dass die genutzte Braunkohle etwa je zur Hälfte aus Brandenburg bzw. aus Sachsen kommt. Die Anteile werden dabei über den gesamten Zeitraum konstant gehalten.

Die Beschäftigtenzahlen in den **Kraftwerken** und den damit verbundenen Vorleistungsbezüge ermitteln sich über die installierten Bruttoleistung. Für die Fortschreibung der Beschäftigungseffekte sowohl in den Tagebauen als auch in den Kraftwerken wurden dabei nachfolgende Annahmen getroffen (vgl. Tabelle 6):

- Es wurden Produktivitäts- und Effizienzveränderungen bei der Förderung der Braunkohle und im Rahmen der Stromerzeugung berücksichtigt.
- Nach Stilllegung eines Kraftwerks oder eines Tagebaus, wird über die folgenden Jahre weiterhin von einer gewissen Sockelbeschäftigung ausgegangen. Anschlusstätigkeit finden sich bspw. für die De-Installation des Kraftwerks oder für die Sanierung der Tagebaue.

Tabelle 6: Annahmen für die Abschätzung der regionalwirtschaftlichen Effekte

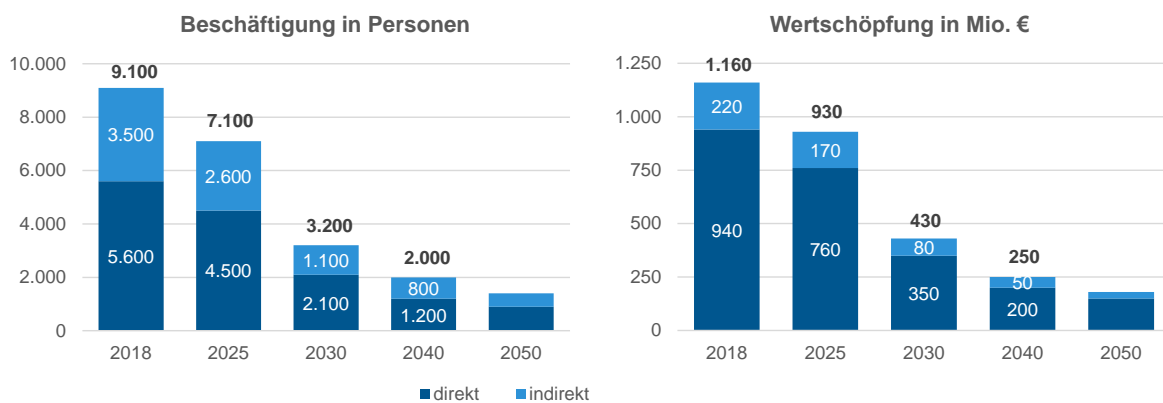
Annahmen zu Produktivitäts- und Effizienzveränderungen (Ø Veränderungen p. a.)		
	Braunkohleförderung	Braunkohleverstromung
Produktivität direkt Beschäftigte	0,3 %	0,6 %
Effizienz im Vorleistungsbezug	0,13 %	0,13 %
Sockelbeschäftigung		
Kraftwerke (Rückbau)	20 % des Ausgangsniveaus (2015) über 10 Jahre	
Tagebaue (Renaturierung, Rekultivierung)	20 % des Ausgangsniveaus (2015) über 15 Jahre	

Quelle: Eigene Annahmen, basierend auf Vorgängerstudie des Jahres 2017

In der Zusammenschau aus dem Status-Quo der Beschäftigten, der geförderten Menge Braunkohle, der installierten Leistung sowie den Annahmen zur zukünftigen Arbeitsproduktivität erfolgt schließlich die Fortschreibung der Beschäftigungseffekte. Die Wertschöpfungseffekte werden schließlich auf Basis der amtlichen Statistik ermittelt (Bruttowertschöpfung je Beschäftigten in der Braunkohleindustrie).

Bis zum Jahr 2030 geht die Zahl der direkt und indirekt Beschäftigten um rund zwei Drittel zurück. **Im Jahr 2040** werden dann rund **2.000 Beschäftigte** in der Braunkohleindustrie erwartet (vgl. Abbildung 31). Die **Bruttowertschöpfung** liegt im selben Jahr **bei rund 250 Mio. Euro**. Davon unberücksichtigt sind potenzielle Beschäftigungseffekte, die sich durch die Einführung des Strukturstärkungsgesetz ergeben könnten.

Abbildung 31: Direkte und indirekte Beschäftigte sowie Wertschöpfung im Land Brandenburg in der Braunkohleindustrie bis ins Jahr 2040



Quelle: Eigene Berechnungen / Schätzungen der Prognos AG
 Hinweis: Beschäftigte in Braunkohlekraftwerken sind nicht berücksichtigt.

9.2 Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte der erneuerbaren Energien

Im Gegensatz zur Braunkohlewirtschaft, die sich einerseits weitestgehend in der amtlichen Statistik wiederfindet und andererseits durch ein marktbestimmendes Unternehmen geprägt ist, verteilen sich die Beschäftigten in den erneuerbaren Energien auf mehrere Erzeugungsbereiche, viele Unternehmen und Betriebe und lassen sich auch nicht direkt aus der amtlichen Statistik ablesen. Die Beschäftigten sind auf unterschiedliche Wirtschaftszweige verteilt, und je nach Erzeugungsbereich sind unterschiedliche Industrien und Dienstleistungen prägend. Im Bereich der Windenergie zeigt sich ein größerer Anteil der Stahlindustrie, die für den Turmbau gebraucht wird. Die Herstellung von Photovoltaikanlagen ist dem Wirtschaftszweig Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen zugeordnet, während Biomasse zum Großteil durch die Landwirtschaft gewonnen wird.

Die Ausführungen verdeutlichen, dass die Erhebung der Arbeitsplatzeffekte ein komplexes Unterfangen ist, welches im Umfang dieser Studie nicht abgedeckt werden konnte. Die Beschäftigten-daten der erneuerbaren Energien für das Jahr 2018 beruhen deshalb ganz wesentlich auf Sekundäranalysen der GWS.¹⁷ Die Analysen geben die Beschäftigten nach Erzeugungsart für den Zeitraum 2012 bis 2016 wieder. Für die vorliegende Studie erfolgt eine genauere Betrachtung der Bereiche Windenergie, Photovoltaik und Biomasse. In Analogie zur Vorgängerstudie wurde bei der Windenergie nur der Onshore-Bereich betrachtet. Entsprechend wurden 440 Beschäftigte, die der Offshore-Windenergie zugerechnet werden, nicht berücksichtigt.¹⁸ Die Basis für die Analyse der

¹⁷ Vgl. GWS (2018): Erneuerbare beschäftigt in den Bundesländern.

¹⁸ Vgl. GWS (2017): Beschäftigung in Deutschland durch Windenergie – Bundesländerergebnisse

erneuerbaren Energien ist wie im Leitszenario das Jahr 2018. Die Daten von GWS wurden dazu anhand der installierten Leistung bzw. des Primärenergieverbrauchs bis 2018 fortgeschrieben. Ein Desk-Research unterstützt die Angaben für das Basisjahr zusätzlich. Hierbei fiel u. a. auf, dass für das Jahr 2020 mit einem Stellenabbau von 500 Arbeitsplätzen in der Windenergie zu rechnen ist.¹⁹

In Summe zeigen sich für das **Jahr 2018** Arbeitsplatzeffekte von **25.100 Beschäftigten** (vgl. Tabelle 7). Davon entstehen rund 17.800 Beschäftigte direkt bzw. indirekt in der erneuerbaren Energien Branchen und etwa 7.300 Beschäftigte durch induziertes Einkommen. Die **Wirtschaftsleistung** summiert sich auf etwa **1,4 Mrd. Euro**. Die Arbeitsplatzeffekte der erneuerbaren Energien in Brandenburg sind damit bereits heute gut doppelt so hoch wie jene in der Braunkohleindustrie.

Tabelle 7: Beschäftigung und Wertschöpfung der erneuerbaren Energien in Brandenburg im Jahr 2018

	Windenergie	PV	Biomasse	Erneuerbare gesamt
Beschäftigung				
direkt und indirekt	7.900*	2.400	7.500	17.800
induziert	3.200	1.000	3.100	7.300
gesamt	11.100	3.400	10.600	25.100
Wertschöpfung in Mio. €				
direkt und indirekt	550	170	520	1.240
induziert	70	20	70	160
gesamt	620	190	590	1.400

Quelle: Beschäftigte in Anlehnung an GWS 2018 und Desk-Research. Induzierte für den Status Quo in Anlehnung an Angaben von DIW Econ 2016 unter der Annahme, dass der induzierte Effekt bei Wind auch für PV und Biomasse gilt. Wertschöpfungsangaben ergeben sich aus der Statistik der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung.

* Nur Onshore-Wind

Die **Fortschreibung** der Beschäftigten und der Wertschöpfung erfolgt wie bei der Braunkohleindustrie anhand des in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Leitszenarios. Zentrale Grundlage bildet die kumulierte installierte Leistung bzw. im Fall der Biomasse der Primärenergieverbrauch. Die Fortschreibung erfolgt kennziffernbasiert anhand der Beschäftigten je MW installierter Leistung bzw. je PJ Primärenergieverbrauch. Ausgangsbasis für die Kennziffern bilden die Entwicklungen im Stützzeitraum 2012 bis 2016. Abweichend von der Windenergie und der Photovoltaik wird für die Biomasse bewusst die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs genutzt. Grund hierfür ist einerseits, dass eine Vielzahl an Beschäftigten und Wertschöpfung beim Anbau der Biomasse entsteht und nicht nur durch die Herstellung, Installation und Wartung der Anlagen. Andererseits wird Biomasse insbesondere in der Industrie und auch im Gebäudesektor zur Wärmeerzeugung

¹⁹ Vgl. rbb 24: Vestas Standort Lauchhammer vorerst gesichert, vom 19.10.2019. Online publiziert. <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2019/10/entlassungen-und-kurzarbeit-bei-vestas-lauchhammer-.html> (Stand: 23.04.2021).

genutzt. Die reine Betrachtung der installierten elektrischen Leistung würde diese Bereiche nicht ausreichend würdigen.

Im Windenergie- und Photovoltaikbereich erfolgt die Fortschreibung anhand der kumulierten installierten Leistung. Im Gegensatz zur jährlich installierten Leistung bietet diese Art der Fortschreibung den Vorteil, dass kurzfristige Schwankungen bei den jährlichen Installationsraten ausgeglichen werden und nicht direkt in einem Beschäftigungsaufbau bzw. -abbau münden. Gleichzeitig trägt der Ansatz den Umstand Rechnung, dass zukünftig die Themen Wartung, Instandhaltung und Betrieb weiter an Bedeutung gewinnen werden. Der relative Anteil an allen Beschäftigten wird mit jeder installierten Anlage steigen, während der relative Anteil der Beschäftigten, die durch die Produktion und Errichtung gesichert werden, abnimmt. Ein weiteres Argument für die Verwendung der kumulierten Leistung ist eine unzureichende Datenlage. Für eine differenzierte Berechnung der Beschäftigten unterteilt nach den Bereichen Produktion sowie Wartung, Instandhaltung und Betrieb liegen keine feingliedrigen sekundärstatistischen Daten vor.

Die Fortschreibung der Beschäftigungswirkungen berücksichtigt für die Bereiche Windenergie und Photovoltaik Produktivitäts- und Effizienzgewinne. Für die Windenergie wird von einem 1 %-igen Produktivitätsfortschritt ausgegangen. Im Photovoltaikbereich werden Produktivitätsveränderungen von jährlich 2 % unterstellt. Der höhere Prozentsatz bei der Photovoltaik begründet sich durch die volatilen Beschäftigtenentwicklungen im Stützzeitraum 2012 bis 2016 sowie den, im Vergleich zur Vorgängerstudie, ambitionierteren Ausbauzielen, die höhere Effizienzgewinne erwarten lassen. Für die Biomasse wird unterstellt, dass es keine Produktivitäts- bzw. Effizienzveränderungen gibt. Die Neuinstallationen im Leitszenario verharren auf einem niedrigen Niveau, welche keine besonderen Skaleneffekte erwarten lassen.

Tabelle 8: Ausgangslage und Fortschreibung der Produktivitäten

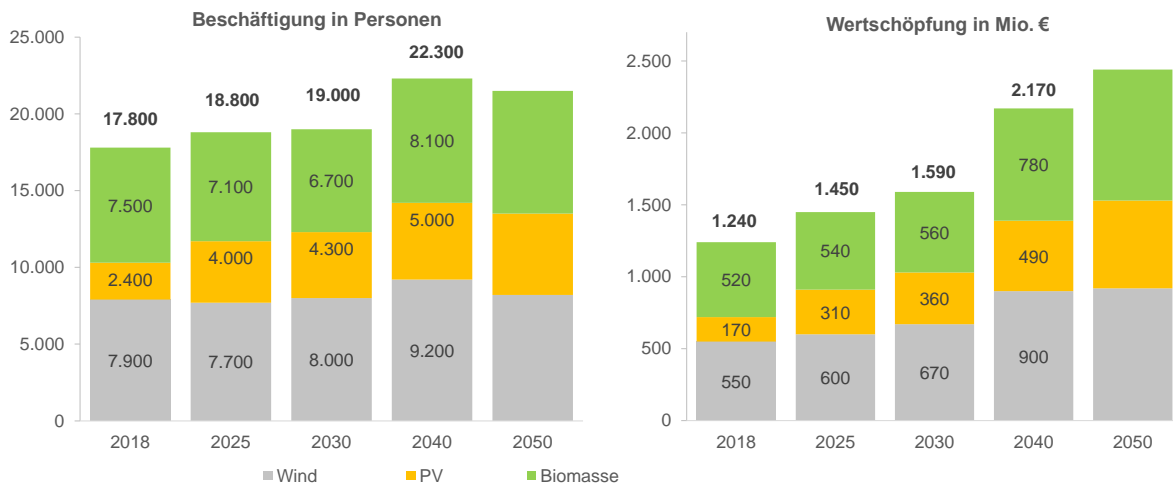
	Windenergie	Photovoltaik	Biomasse
Beschäftigte je MW installierter Leistung/ je PJ Primärenergieverbrauch (Biomasse) (Basisjahr 2018)	1,1	0,7	100,7
Fortschreibung der Produktivitäts-/Effizienzveränderungen	-1,0 % p. a.	-2,0 % p. a.	0,0 % p. a.

Quelle: Ausgangslage auf Basis von Angaben der GWS und des Monitoringberichts. Fortschreibung durch Prognos auf Basis von Entwicklungen im Stützzeitraum in Brandenburg, Deutschland und eigenen Annahmen

Für die kommenden Jahre wird eine weitere Zunahme der Beschäftigten erwartet. **Bis zum Jahr 2040** wächst deren Zahl um rund 25 %, so dass dann **22.300 Personen direkt oder indirekt** durch die erneuerbaren Energien **beschäftigt** werden (vgl. Abbildung 32). Ein wesentlicher Treiber für die Entwicklung ist der Photovoltaikbereich. Bereits in den kommenden Jahren wird ein deutlicher Beschäftigtenanstieg gesehen, der bis zum Jahr 2040 zu einer Verdoppelung der Beschäftigten im Basisjahr führt. Aber auch im Windenergiebereich und bei der Biomasse entwickelt sich der Arbeitsmarkt positiv. Im Jahr 2040 arbeiten rund 17 % mehr Personen in der Windenergiebranche als noch 2018. Für die Biomasse wird ein Wachstum von rund 7 % gesehen. Den rückläufigen Entwicklungen um das Jahr 2030 steht ein wachsender Einsatz von Biomasse in der Industrie bis zum Jahr 2040 gegenüber. Die positiven Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt

zeigen sich auch bei der **Wirtschaftsleistung** durch erneuerbare Energien. Diese entwickelt sich ebenfalls dynamisch und steigt **bis zum Jahr 2040** um rund 75 % auf knapp **2,2 Mrd. Euro**.

Abbildung 32: Direkte und indirekte Beschäftigte sowie Wertschöpfung im Land Brandenburg in den erneuerbaren Energien bis ins Jahr 2040



Quelle: Fortschreibung auf Basis eigener Annahmen

10 Schlussfolgerungen

Die Ausführungen haben gezeigt, dass die Energieversorgung Brandenburgs im Leitszenario bis zum Jahr 2040 einen tiefgreifenden **Wandel** durchlaufen wird. Sowohl die Energienachfrage als auch ihre Deckung werden sich verändern und die Bedeutung Brandenburgs als Stromexporteur nimmt ab. Gleichwohl behält Brandenburg eine wichtige Rolle bei der Stromproduktion über den Eigenbedarf hinaus. Die Erzeugung von Wasserstoff kann im gewissen Umfang aus eigenen Stromressourcen im Land erzeugt werden aber auch Importe sollten erwogen werden. Ob die Raffinerie einen Platz in der zukünftigen Energieversorgung hat, kann noch nicht beantwortet werden.

Die nachfolgende Tabelle stellt die Zielerreichung im Leitszenario in Bezug auf die Energiestrategie 2030 im Überblick dar.

Tabelle 9: Zielerreichung im Leitszenario (Vergleich mit 2007)*

Zielkategorie	Ziel Energiestrategie 2030	Ergebnisse Leitszenario für 2030	Ergebnisse Leitszenario für 2040
Primärenergieverbrauch*	-20 %	rd. -24 %	rd. -40 %
Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch	32 %	rd. 38 %	rd. 68 %
Endenergieverbrauch*	-23 %	+/0 %	15 %

| Eigene Berechnungen der Prognos AG

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Land Brandenburg mit seinem Primärenergieziel und beim Anteil erneuerbarer Energien „gut gefahren“ ist und sich auf Zielkurs befindet. Das Endenergieverbrauchsziel war hingegen offenkundig zu ambitioniert.

Es stellt sich die Frage, ob die anstehende Neuformulierung der Energiestrategie dazu genutzt werden soll, um eine **Neuausrichtung der Ziele** vorzunehmen. Die strukturellen Änderungen in den nächsten beiden Dekaden erfordert eine aktive Gestaltung der Rahmenbedingungen.

Aus Sicht der Prognos AG könnte sich ein strategisches Zielviereck aus Energieeffizienz, Wasserstoff, Energieexport und Klimaschutz anbieten.

Energieeffizienz: Die Zeit seit Inkraftsetzung der Energiestrategie 2030 hat gezeigt, dass die Erreichung der Einsparziele auf lange Sicht von übergeordneten Entwicklungen abhängen kann, die in absoluten Zielvorgaben nicht ausreichend abbildbar sind. Aus diesem Grund könnte sich ein

auf die Bevölkerung oder die Wertschöpfung bezogenes Effizienzziel anbieten (oder eine Kombination aus beidem). Diese wären auch erreichbar, wenn die Wirtschaft oder die Bevölkerung stärker wachsen.

Wasserstoff: Das Land Brandenburg erarbeitet eine Wasserstoffstrategie. Die Ziele wurden und werden zukünftig mit der Energiestrategie und auch mit dem Klimaplan abgestimmt. Es besteht die Chance, dass eine signifikante Menge Wasserstoff in Brandenburg erzeugt und genutzt werden kann. Mit dem Leitszenario wäre das Ziel konsistent, bis 2040 5 TWh (H₂) Wasserstoff aus erneuerbarer Stromerzeugung im Land Brandenburg zu erzeugen.

Exportpotenzial: Das Exportpotenzial Brandenburgs wird sich verändern. Die hohe Stromerzeugung der Braunkohlenkraftwerke geht verloren. Es wird eine neue Orientierung gebraucht, in welchem Umfang Brandenburg Exportland bleiben will. Zusammen mit dem Wasserstoff-Erzeugungsziel und dem Endenergieverbrauch wären die Eckdaten der Strombilanz „festgezurr“.

Schließlich der **Klimaschutz**. Brandenburg hat sich zum Ziel gesetzt, klimaneutral zu leben und zu arbeiten. Der Klimaplan wird hier Vorgaben zur THG-Intensität machen. Das Tempo beim Klimaschutz hat wiederum Auswirkungen auf den Ausbaubedarf erneuerbarer Energien.

Aus diesen strategischen Zielstellungen lassen sich Kennziffern und Strukturen der künftigen Energieversorgung Brandenburgs ableiten.

11 Literaturverzeichnis

AGFW. (2018). *AGFW - Hauptbericht*. Berlin: AGFW. Von <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht/> abgerufen

Agora Energiewende und Wuppertal Institut. (2019). *Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement*. Berlin, November 2019. Berlin, Wuppertal: Agora Energiewende. Von https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf abgerufen

BCG, Prognos. (2018). *Klimapfade für Deutschland*. Von : <https://web-assets.bcg.com/e3/06/1c25c60944a09983526ff173c969/klimapfade-fuer-deutschland.pdf>. abgerufen

BDEW. (2021). *Interaktive Karte "Gas kann grün"*. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Abgerufen am 29. 04 2021 von <https://gkg.bdew.de/>

Berlin-Brandenburg, A. f. (kein Datum). Von <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/> abgerufen

Borderstep. (2018). *Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen. Studie im Auftrag der Hessen Trade & Invest GmbH*. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. Von https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/04/TLH-Studie_Colocation_Hessen_final-screen.pdf abgerufen

BTU. (2018). *Brandenburgische Technische Universität: Betrachtungen zur Mindestenerzeugung von Braunkohlekraftwerken im Kontext des Netzbetriebs*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Studie_konventionelle_Mindestenerzeugung_Endbericht.pdf abgerufen

BWE, VKU. (2021). *Gemeinsames VKU-BWE-Positionspapier zur Stärkung des Windkraftausbaus*. Von https://windkraft-brandenburg.de/wp-content/uploads/2021/03/210322_VKU_BWE_Positionspapier_Windkraft_final.pdf abgerufen

dena. (2018). *dena-Leitstudie*. Berlin: Deutsche Energie Agentur. Von <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/energiesysteme/dena-leitstudie-integrierte-energiewende/> abgerufen

DIW Econ. (2016). *Die wirtschaftliche Bedeutung der Windenergiebranche in Brandenburg. Eine Kurzepertise von DIW Econ*.

DWV. (2019). *Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.: H2-Industrie Potenzialstudie Brandenburg*. Berlin: im Auftrag des MWAE. Von

- https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoff_Industrie_Potenzialstudie_Brandenburg.pdf abgerufen
- E-Bridge. (2018). *Synchronisierung von EE-und Netzausbau in Brandenburg*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Synchronisierung_EE_und_Netzausbau_BB_Abschlussbericht.pdf abgerufen
- e-mobilBW. (2016). *Wasserstoff-Infrastruktur für eine nachhaltige Mobilität*. Stuttgart: e-mobilBW. Von <https://www.e-mobilbw.de/themen/brennstoffzellentechnologie> abgerufen
- energiate-messenger. (2021). *Windenergie: Brandenburg verfehlt Ausbauziele 2030*. Von <https://www.energiate-messenger.de/news/210711/windenergie-brandenburg-verfehlt-ausbauziele-2030> abgerufen
- energiezukunft. (2021). *Preis für Solarstrom fällt auf Rekordtief*. Von <https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/solar/preis-fuer-solarstrom-faellt-auf-rekordtief/> abgerufen
- FNB Gas. (2019). *Szenariorahmen Netzentwicklungsplan Gas*. Berlin: FNB Gas. Von <https://www.fnb-gas.de/netzentwicklungsplan/szenariorahmen/szenariorahmen-2020/> abgerufen
- GWS. (2017). *Beschäftigung durch Erneuerbare Energien in den Bundesländern. Analyse und Ausarbeitung im Auftrag eines Konsortiums aus acht Bundesländern (Berlin, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein)*. Osnabrück.
- GWS. (2018). *Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern – Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2016 in den Bundesländern*. Von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erneuerbar-beschaeftigt-in-den-bundeslaendern.pdf?__blob=publicationFile&v=8 abgerufen
- Hölling, M., Weng, M., & Gellert, S. (2017). *Bewertung der Herstellung von Eisenschwamm unter Verwendung von Wasserstoff*. Hamburg: Arcelor Mittal. Abgerufen am 29. 4 2021 von <https://germany.arcelormittal.com/icc/arcelor/med/b8e/b8e0c15a-102c-d51d-b2a9-147d7b2f25d3,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf>>
- IEA. (2016). *World Energy Outlook 2016*.
- IFEU, IREES, Prognos AG. (2021). *Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung*. Dessau-Roslau: Umweltbundesamt. Von https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/de_ca_2020_de.pdf abgerufen
- KBA. (2020). *Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken*. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt. Von https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1_b_uebersicht.html?nn=1146130 abgerufen
- LAK. (2018). *Umwandlungsausstoß aus Fernwärmeerzeugung*. Bremen: Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Von <https://www.lak-energiebilanzen.de/ergebnisse-des->

- datenabrufs/?a=e300&j=2018&l=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16&v=anm,agg_waererz_netto_insg,agg_waererz_netto_kwk,agg_erneuer_waerme,Stand abgerufen
- LEAG. (2021). *Tagebau Welzow-Süd*. Von <https://www.leag.de/de/geschaeftsfelder/bergbau/tagebau-welzow-sued/> abgerufen
- LEAG. (2021b). *Umsiedlung von Mühlrose ist rechtskräftig*. Von <https://www.leag.de/de/news/details/umsiedlung-von-muehlrose-ist-rechtskraeftig/> abgerufen
- MWAE. (2012). *Energiestrategie 2030 des Land Brandenburg*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Energiestrategie2030_2012.pdf abgerufen
- MWAE. (2018). *Energiestrategie 2030 - Katalog der strategischen Maßnahmen*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030_Massnahmenkatlog_final.pdf abgerufen
- MWAE. (2018). *Machbarkeitsstudie Sperenberg*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Machbarkeitsstudie_Sperenberg_Abschlussbericht.pdf abgerufen
- MWV. (2020). *MWV-Jahresbericht*. Berlin: Mineralölwirtschaftsverband e.V. Von https://www.mwv.de/wp-content/uploads/2020/09/MWV_Mineraloelwirtschaftsverband-e.V.-Jahresbericht-2020-Webversion.pdf abgerufen
- NEP Strom. (2020). *Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021. Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber*. Berlin, Dortmund, Bayreuth, Stuttgart: 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH.
- Prognos. (2011). *Bedeutung der Braunkohle in Ostdeutschland*.
- Prognos. (2012). *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050*. Von <https://www.prognos.com/publikationen/alle-publikationen/292/show/7f9a4382d75cc40032147306d423aaca/> abgerufen
- Prognos. (2017). *Evaluation und Weiterentwicklung des Leitszenarios sowie Abschätzung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte*. Von https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos_Studie_Energieszenarien_ES2030_BB_2017_07_13.pdf abgerufen
- Prognos. (2020b). *Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger*. Von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformationspfade-fuer-strombasierte-energietraeger.pdf?__blob=publicationFile abgerufen
- Prognos, GWS, IINAS, Fraunhofer ISI. (2021). *Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050*. Von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/energiewirtschaftliche-projektionen-und-folgeabschaetzungen-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=22 abgerufen

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. (2020). *Klimaneutrales Deutschland*. Im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Stiftung Klimaneutralität.

Prognos, Sphera, LBST. (2021). *POSEIDON - Lkw-Fahrleistung in Deutschland (in Veröffentlichung)*. Düsseldorf, Stuttgart: Daimler AG.

prometheus. (2021). *OVG erklärt Regionalplan Uckermark-Barnim für unwirksam*. Von <https://www.prometheus-recht.de/rp-uckermark-barnim-unwirksam/> abgerufen

Statistische Ämter der Länder. (2017). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Reihe 1 Band 1*.

UBA. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität*.

VCI. (2019). *Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland*. München, Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie e.V. Von <https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-dechema-futurecamp-studie-roadmap-2050-treibhausgasneutralitaet-chemieindustrie-deutschland-langfassung.jsp> abgerufen

WFBB, Energieagentur Brandenburg. (2020). *10. Monitoringbericht zur Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg*.

WSB. (2018). *Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ – Abschlussbericht*. Von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile abgerufen

WV Stahl. (2017). *Fakten zur Stahlindustrie*. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl.

12 Abkürzungsverzeichnis und Glossar

BB	Brandenburg (Land)
BECCS	Bioenergy with carbon capture and storage (deutsch: Biomasseverbrennung mit anschließender CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
BER	Flughafen Berlin Brandenburg
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BWS	Bruttowertschöpfung
CCS	CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DACCS	Direct air carbon capture and storage (deutsch: Direkte CO ₂ -Abscheidung aus der Atmosphäre mit anschließender geologischer Speicherung)
DE	Deutschland
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EffSTRA	Energieeffizienzstrategie 2050
EnEV	Energieeinsparverordnung
ETS	Emission Trading System
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GW	Gigawatt
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH
Heizgradtage	Maßstab zur Messung des Bedarfs an Heizenergie.
Ho	oberer Heizwert oder Brennwert
Hu	unterer Heizwert oder Heizwert
IEA	International Energy Agency
IND	Industrie (Synonym für verarbeitendes Gewerbe)
inkl.	inklusive
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
KUP	Kurzumtriebsplantagen (z. B. Pappeln)

kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Merit Order	Reihenfolge der Stromerzeugungskapazitäten nach ihren kurzfristigen Grenzkosten der Stromerzeugung.
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde = 1.000 kWh
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NawaRo	Nachwachsender Rohstoff
NECP	Nationalen Energie- und Klimaplan (National Energy and Climate Plan)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
p. a.	per annum (pro Jahr)
PEV	Primärenergieverbrauch
PHH	Private Haushalte
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
Regelenergie	Energie, in Netzen zum Ausgleich zwischen Prognosen und tatsächlichem Aufkommen benötigt wird. Je nachdem, ob die Prognose nach oben oder unten abweicht, wird positive oder negative Regelenergie benötigt.
t	Tonne
Thermische Kraftwerke	Kraftwerke, in denen durch Verbrennung oder Kernspaltung Wärme gewonnen wird, die dann in Turbinen und Generatoren in Strom umgewandelt wird. Thermische Kraftwerke sind innerhalb gewisser Bandbreiten regelbar, Sofern sie noch nicht mit Maximalleistung betrieben werden, können sie positive oder negative Regelenergie bereitstellen.
THG	Treibhausgase
TWh	Terawattstunde = 1.000.000.000 (1 Mrd.) kWh
VER	Verkehr
VLH	Volllaststunden. Der Wert ergibt sich als Quotient der jährlich erzeugten oder verbrauchten Energiemenge durch die maximale Leistung einer Anlage.

Impressum

Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040
Aktualisierung und Weiterentwicklung der
Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg

Erstellt im Auftrag von

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 107,
14473 Potsdam

Bearbeitet von

Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin
Telefon: +49 30 52 00 59-210
Fax: +49 30 52 00 59-201
E-Mail: info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/Prognos_AG

Autoren

Hanno Falkenberg
Jens Hobohm
Sebastian Lübbers
Fabian Malik
Stefan Mellahn
Ravi Srikandam

Kontakt

Jens Hobohm (Projektleitung)
Telefon: +49 30 52 00 59-242
E-Mail: jens.hobohm@prognos.com

Satz und Layout: Prognos AG
Stand: April 2021
Copyright: 2021, Prognos AG

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG.

Zitate im Sinne von § 51 UrhG sollen mit folgender Quellenangabe versehen sein: Prognos AG/Weitere Bearbeiter (Erscheinungsjahr): Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040.